МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ

ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«ИЖЕВСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ»

|  |
| --- |
| Утверждаю:  Проректор по учебной работе  профессор \_\_\_\_\_\_П.Б. Акмаров  «\_\_\_\_»\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_2014 г. |

**ЭЛЕКТРОНИКА**

**РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОННЫХ СХЕМ**

практикум для студентов, обучающихся

по направлениям «Агроинженерия» и «Теплоэнергетика и теплотехника»

(квалификация бакалавр)

Составитель:

П.Н. Покоев

Ижевск

ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА

2014

УДК 621.38(084.2)

ББК З2.85яб

Э 45

практикум составлен на основе Федерального государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования и программы дисциплины «Электроника».

Рассмотрен и рекомендован к изданию редакционно-издательским советом ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА, протокол № от 2014 г.

Рецензент:

С.И. Юран - доктор техн. наук, профессор кафедры

автоматизированного электропривода, ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА

Составитель:

П.Н. Покоев - ст. преподаватель кафедры электротехника,

электрооборудование, электроснабжение

**Э 45 Электроника. Расчет электронных схем:** практикум/ сост. П.Н. Покоев – Ижевск: ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА, 2014. – 69 с.

Практикум содержит теоретические материалы и примеры расчета и задания по расчету схем электронной техники. Приведены задания для выполнения расчетно-графической и самостоятельной работы студентов.

Предназначены для бакалавров, обучаюшихся по направлениям «Агроинженерия» и «Теплоэнергетика и теплотехника».

|  |
| --- |
| © Покоев П.Н., сост., 2014 |
| © ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА 2014 |

**СОДЕРЖАНИЕ**

|  |  |
| --- | --- |
|  | Стр |
| Введение ………………………………………………………………… | .. ..4 |
| 1 Расчет схем с нелинейными элементами………………………..   * 1. Краткая теория………………………………………………...   2. Примеры расчета схем с диодами……………………………   3. Варианты заданий для самостоятельной работы…………… | ….5  ….5  ….5  ….9 |
| 2 Стабилизаторы напряжения………………………………………   * 1. Параметрические стабилизаторы……………………………   2. Компенсационные стабилизаторы…………………………   3. Примеры расчета стабилизаторов……………………………   4. Варианты заданий для самостоятельной работы…………… | …10  …10  …12  …15  …19 |
| 3 Методика расчета усилителя напряжения переменного тока на  биполярном транзисторе……………………………………………..  3.1 Исходные данные…………………………………………………  3.2 Назначение элементов……………………………………………  3.3 Методика расчета схемы…………………………………………  3.4 Пример расчета усилителя напряжения ……………………… | ... 20  ... 20  . ..20  …20  …25 |
| 4 Методика расчета схем на операционном усилителе………………  4.1 Схемы на операционных усилителя………………………………  4.2 Назначение элементов схем……………………………………….  4.3 Методика расчета схем ……………………………………………..  4.4 Пример расчета сумматора …………………………………….. | …28  …28  …29  …29  …33 |
| 5 Синтез логической функциональной схемы ……………………….  5.1 Способы задания булевых функций ……………………………...  5.2 Представление булевых функций на картах Карно……………  5.3 Переход от булевых выражений к функциональным схемам.  Минимизация схемы………………………………………………….  5.4 Факторизация покрытий …………………………………………  5.5 Схемная реализация факторизованного покрытия …………  5.6 Переход в универсальный базис ………………………………. | …36  …36  …38  …39  …42  …46  …47 |
| 6 Релаксационные генераторы…………………………………………  6.1 Мультивибраторы на транзисторах …………………………….  6.2 Мультивибраторы на интегральных микросхемах……………..  6.3 Примеры…………………………………………………………  6.4 Варианты заданий для самостоятельной работы……………… | …52  …52  …53  …55  …58 |
| 7 Задание на расчетно-графическую работу…………………………. | …60 |
| Список литературы…………………………………………………………  Приложения………………………………………………………………. | …61  …62 |

**Введение**

Учебно-методическое пособие к практическим занятиям по электронике предназначено для студентов изучающих дисциплину «Электроника» и «Электроника и микропроцессорная техника.

Целью освоения дисциплины «Электроника» является – формирование у студентов системы знаний для проектирования, монтажа и эксплуатации электронных устройств и приборов

Основными задачами изучения дисциплины являются:

- изучение элементной базы электроники, электронных устройств аналоговых и цифровых сигналов, включая электронные средства вычислительной и микропроцессорной техники

- изучение принципов действия, режимных характеристик, областей применения и потенциальных возможностей основных электротехнических, электронных устройств

В результате изучения дисциплины студент должен:

*знать*: устройство, принцип действия, области применения основных аналоговых и цифровых электронных устройств и приборов;

*уметь*: понимать электронные схемы, определять по условным обозначениям и справочникам параметры электронных элементов, строить и рассчитывать устройства, выполненные на этих элементах;

*владеть*: методиками проектирования и расчета простейших электронных схем и устройств;

Процесс изучения дисциплины «Электроника» направлен на формирование следующих компетенций:

стремлению к саморазвитию, повышению своей квалификации и мастерства, владение навыками самостоятельной работы;

способность решать инженерные задачи с использованием основных законов механики, электротехники, гидравлики, термодинамики и тепломассообмена;

способностью использовать технические средства для определения параметров технологических процессов и качества продукции.

1 РАСЧЕТ СХЕМ С НЕЛИНЕЙНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

1.1 Краткая теория

Основным нелинейным элементом в электронике является полупроводниковый диод (р-n – переход), теоретическая вольт-амперная характеристика (ВАХ) которого имеет вид

(1.1)

где *I*Д, UД - ток диода и напряжение на диоде; I0- тепловой ток перехода;

т = 1...3- поправочный коэффициент;Т =26 мВ –температурный потенциал.  
 График теоретической ВАХ представлен на рис. 1 (линия 1).

\



Рисунок 1.1–**ВАХ диода**

Теоретическая ВАХ диода неудобна для выполнения практических расчетов, поэтому ее аппроксимируют более простыми функциями (линии 2 и 3 на рис. 1.1). Переход к кусочно-линейным функциям позволяет существенно упростить схему за счет ее линеаризации. Наиболее часто используется аппроксимация ВАХ линией 3. При этом ВАХ определяется только одним параметром UДОТ (падение напряжения на открытом диоде), значение которого для кремниевых диодов находится в пределах 0,6...0,8 В. Обычно используют значение 0,7 В.

При использовании аппроксимирующей функции применяют правила: если напряжение на диоде UД<UДОТ, то ток диода равен нулю (IД = 0), диод закрыт и не оказывает влияния на работу схемы; если ток диода не равен нулю (IД ≠ 0), то есть диод открыт, то напряжение на нем UД = UДОТ

1.2 Примеры расчета схем с диодами

В дальнейшем будем полагать, что диод является кремниевым.

**Пример 1**. Необходимо рассчитать напряжение в точке «а» схемы, изображенной на рис. 1.2,а. Для упрощения описания схем здесь и далее

будем полагать, что напряжения, токи, сопротивления и емкости определяются номерами соответствующих величин, указываемых на схемах, (напряжения – в вольтах (В); токи – в миллиамперах (мА); сопротивления – в килоомах (кОм); емкости – в микрофарадах (мкФ)). Так в схеме на рис. 1.2 *U1*, = 1B; U2= 2В; R1=1кОм. Следует также помнить, что в электрических схемах все напряжения указываются относительно общего провода, который, если нет непосредственного соединения с ним ни одного элемента кроме источников, принято не указывать.



Рисунок 1.2 – **Расчетная схема (а) и его схема замещения (б) к задаче 1**

***Порядок расчета***

1. Первоначально, исходя из принципа работы схемы, определяется состояние диода (открыт или закрыт).

2. В зависимости от состояния диод заменяется разрывом цепи (если закрыт) или источником напряжения *UДОТ* (если открыт). На схемах источник напряжения можно обозначать по рис. 1.3,а, либо по рис.1.3,б.



Рисунок 1.3–**Варианты условно-графических обозначений источника**

**напряжения**

3. Выполняется расчет напряжения в точке «а».

***Расчет***

Предполагаем, что диод закрыт, тогда все напряжение в цепи падает на диоде. При этом катод диода оказывается положительнее анода. Следовательно, он действительно закрыт.

1. Заменяем диод разрывом цепи (рис.1.3,б).

2. Поскольку цепь разорвана, то ток в ней отсутствует и падение напряжения на резисторе *R1*, равно нулю. Отсюда потенциал правого вывода резистора будет равен потенциалу левого, то есть напряжение *Uа* в точке «а» равно напряжению *U1*. Таким образом*Uа*=1 В.

**Пример 2**. Рассчитать напряжение в точке «а» в схеме на рис. 1.4, а.



Рисунок 1.4– **Расчетная схема (а) и его схема замещения (б) к задаче 2**

***Расчет***

1. Предполагаем, что диод закрыт, тогда напряжение на нем (*UД = U2-U1*) будет составлять 1 вольт, причем в прямом смещении, чего достаточно для его открывания. Следовательно, диод открыт.

2. Заменяем диод источником напряжения величиной 0,7 В (рис. 1.4,б).

3. Тогда напряжение в точке «а» может быть рассчитано от источника U2 по формуле Uа = U2–UДОТ= 2 – 0,7 = 1,3 В.

***Примечание***. Знак вклада источника *UДОТ* в напряжение *Uа* определяется полярностью его включения: напряжение Ua отрицательнее напряжения U2,поэтому в расчетной формуле *UДОТ* учитывается со знаком «минус».

***Пример 3***. Рассчитать напряжение в точке «а» в схеме рис. 1.5,а



Рисунок 1.5– **Расчетная схема (а) и его схема замещения (б) к задаче 3**

***Расчет***

1. Предполагаем, что диод закрыт, тогда напряжение на нем (напряжение в точке «а») можно найти, рассчитав делитель напряжения от двух источников:

Это напряжение приложено к диоду в прямом смещении, и его достаточно для открывания диода. Следовательно, диод открыт.

1. Заменяем диод источником напряжения *UДОТ* (рис. 1.5, б).
2. Напряжение в точке «а» рассчитываем от нулевого потенциала схемы с учетом полярности включения диода: Uа = UДОТ = 0,7 В.

**Примечание**. Использованная выше запись формулы, исходных данных и результата называется полной записью расчета. Рекомендуется во всех технических расчетах использовать полную запись, что при необходимости позволяет проконтролировать правильность расчетов.

**Пример 4**. Рассчитать напряжение на выходе схемы на рис. 1.6, а.

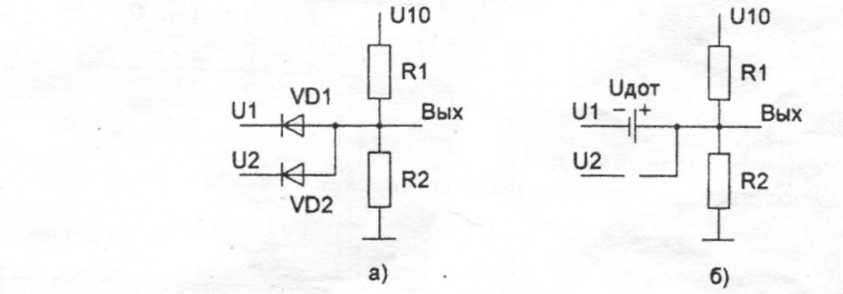


Рисунок 1.6 – **Расчетная схема (а) и его схема замещения (б) к задаче 4**

***Расчет***

1. Полагаем, что диоды VD1, и VD2 закрыты. Тогда напряжение на выходе схемы можно найти по формуле для расчета делителя напряжения от одного источника:

Этого напряжения достаточно для открывания каждого в отдельности диода в схеме. Однако одновременно диоды не могут быть открыты, так как потенциалы их катодов не совпадают. Открыт будет тот диод, условия открывания которого выполняются лучше. Это диод VD1, на катоде которого меньшее напряжение. Тогда на выходе схемы будет напряжение Uвых=U1+UДОТ=1+0,7=1,7 В, которое поступает на анод диода VD2. Этот диод закрыт, так как условие его открывания не выполняется.

1. Заменяем диод VDl источником напряжения Um, а диод VD2 - разрывом цепи (рис. 1.6,б).
2. Напряжение на выходе схемы равно 1,7 В, что уже определено в п. 1.

*Комментарий к схеме*. Схема на рис. 6, а может выполнять логическую функцию. В табл. 1 представлены напряжения на входах во всех сочетаниях и расчетные значения соответствующих выходных напряжений. Видно, что если на входах низким уровнем напряжения (1 В) кодировать логический ноль, а вы­соким уровнем (2 В) – логическую единицу, и соответственно на выходе также низким уровнем (1,7 В) представлять ноль, а высоким(2,7 В) – единицу, то по­лучаемая таблица истинности будет соответствовать логическому элементу, выполняющему функцию И (см. табл. 2).

|  |  |
| --- | --- |
| Таблица 1 | Таблица 2 |
| |  |  |  | | --- | --- | --- | | **Uвх1, В** | **Uвх2, В** | **Uвых, В** | | 1 | 1 | 1,7 | | 1 | 2 | 1,7 | | 2 | 1 | 1,7 | | 2 | 2 | 1,7 | | |  |  |  | | --- | --- | --- | | **Вх 1** | **Вх 2** | **Вых** | | 0 | 0 | 0 | | 0 | 1 | 0 | | 1 | 0 | 0 | | 1 | 1 | 1 | |

**1.3 Варианты заданий для самостоятельной работы**

Рассчитать напряжение в точке «а» для схем в табл. 3.

Таблица 3– **Варианты заданий для самостоятельной работы**

|  |  |
| --- | --- |
| 1 | 2 |
| 3 | 4 |
| 5 | 6 |
| 7 | 8 |
| 9 | 10 |

**2 СТАБИЛИЗАТОРЫ НАПРЯЖЕНИЯ**

**2.1 Параметрические стабилизаторы**

При проектировании источников питания для радиоэлектронной аппаратуры предъявляются высокие требования к стабильности выходного напряжения.

Простейшими стабилизаторами напряжения являются схемы, использующие нелинейные элементы, вольтамперная характеристика которых содержит участок, где напряжение почти не зависит от тока. Такую вольтамперную характеристику имеет стабилитрон, работающий при обратном напряжении в области пробоя (рис. 2.1, б).

Схема простейшего стабилизатора напряжения, называемого параметрическим, приведена на рис. 2.1, а.



Рисунок 2.1 – **Параметрический стабилизатор напряжения а), и его ВАХ б)**

В этой схеме стабильность выходного напряжения, определяемая в основном параметрами стабилитрона. Колебания входного напряжения иль тока нагрузки приводят к изменению тока через стабилитрон, однако напряжение на стабилитроне, подключенном параллельно нагрузке, изменяется незначительно.

Действительно, входное напряжение распределяется между балластным резистором и стабилитроном (рис. 2.1, б):

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (2.1) |

где — падение напряжения на балластном резисторе *Rб* от протекания токов стабилитрона и нагрузки;

Так как напряжение на стабилитроне *Uст* в соответствии с вольтамперной характеристикой почти не зависит от тока стабилитрона в пределах участка от *Iстmin* до *Iстmax*, то приращение входного напряжения *ΔUвх* равно приращению напряжения *ΔURб* на резисторе *Rб*

Так как ток нагрузки остается при этом неизменным, то

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | , | (2.2) |

т.е. при изменении входного напряжения на значение *ΔUвх* ток стабилитрона изменится на значение

Предположим, что нагрузка изменилась, например, уменьшилось сопротивление резистора *Rн*, что привело к увеличению тока нагрузки. Так как при неизменном входном напряжении должно сохраняться постоянство входного тока , то увеличение тока *Iн* влечет за собой уменьшение на такое же значение тока стабилитрона.

Основными параметрами стабилизаторов напряжения являются:

коэффициент полезного действия, равный отношению мощности, выделяемой в нагрузке к входной мощности, т. е.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (2.3) |

коэффициент стабилизации, определяемый как отношение относительного приращения напряжения на входе стабилизатора к относительному приращению напряжения на выходе при постоянной нагрузке:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (2.4) |

выходное сопротивление, равное отношению приращения напряжения на выходе стабилизатора к приращению тока нагрузки :

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (2.5) |

При питании усилителей выходное сопротивление стабилизатора создает паразитные обратные связи через источник, приводящие к изменению параметров усилителей и даже к самовозбуждению усилителей. Поэтому выходное сопротивление стабилизатора желательно снижать.

Выходное сопротивление параметрического стабилизатора (рис. 2.1, а) определяется дифференциальным сопротивлением стабилитрона *Rд* на рабочем участке вольтамперной характеристики:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (2.6) |

поскольку выходным напряжением стабилизатора является напряжение на стабилитроне , а изменение тока в нагрузке равно изменению тока через стабилитрон .

Записав и учтя выражение (2.2), найдем в соответствии с формулой (2.4) коэффициент стабилизации параметрического стабилизатора:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (2.7) |

Из формулы (2.7) следует, что с ростом сопротивления Rб увеличивается коэффициент стабилизации. Однако при заданных параметрах , ,, сопротивление Rб однозначно определяется из выражения

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (2.8) |

где номинальный ток стабилитрона (рис. 2.1, б):

Увеличить сопротивление *Rб* можно лишь повысив напряжение *Uвх*, а это, в свою очередь, приводит к уменьшению величины *Кст*. Поэтому коэффициент стабилизации параметрических стабилизаторов напряжения не превышает 50. Для повышения величины *Кст* можно применять каскадное включение стабилитронов.

Параметрические стабилизаторы напряжения просты и надежны, однако обладают существенными недостатками, главными из которых являются невозможность регулировки выходного напряжения и малое значение коэффициента стабилизации, особенно при больших токах нагрузки

**2.2 Компенсационные стабилизаторы**

Высокое качество стабилизации напряжения можно получить при использовании компенсационных стабилизаторов, представляющих собой автоматические регуляторы, в которых фактическое выходное напряжение сравнивается с эталонным (опорным) напряжением. Возникающий при этом сигнал рассогласования усиливается и воздействует на регулирующий элемент стабилизатора таким образом, чтобы выходное напряжение стремилось достичь эталонного уровня. В качестве источника опорного напряжения обычно используют параметрический стабилизатор, работающий с малыми токами нагрузки, реже — гальванические батареи.

Рассмотрим структурную схему стабилизатора последовательного типа (рис. 2.2, а), в которой регулирующий элемент РЭ включен последовательно с нагрузкой и играет роль управляемого балластного сопротивления. Разностный сигнал рассогласования , формируемый источником опорного напряжения ИОН и нагрузкой, поступает на вход усилителя постоянного тока У, усиливается и воздействует на регулирующий элемент РЭ.

При положительном сигнале рассогласования внутреннее сопротивление РЭ возрастает и падение напряжения *Uрэ*, на нем увеличивается. Поскольку РЭ и нагрузка включены последовательно, при увеличении *Uрэ* выходное напряжение уменьшается, стремясь к значению *Uоп*.

При отрицательном сигнале рассогласования , наоборот, внутреннее сопротивление РЭ и падение напряжения на нем уменьшаются, что приводит к возрастанию выходного напряжения напряжения Uн.

Принципиальная схема транзисторного компенсационного стабилизатора последовательного типа приведена на рис. 2.2, б. Роль регулирующего элемента в этой схеме играет транзистор VТ1. С ростом величины выходное напряжение возрастает по абсолютному значению, создавая сигнал рассогласования Uбэ на входе усилителя постоянного тока, выполненного на транзисторе VТ2. Ток коллектора транзистора VТ2 возрастает, а потенциал его коллектора уменьшается. Напряжение база-эмиттер транзистора V*Т1* также уменьшается, что приводит к возрастанию  внутреннего сопротивления

 Рисунок 2.2 – **Структурная схема** **а) и принципиальная б) схемы**

**компенсационного стабилизатора напряжения**

этого транзистора и падению напряжения на нем. Выходное напряжение при этом уменьшается, стремясь к прежнему значению.

Ступенчатую регулировку выходного напряжения можно осуществить, используя опорное напряжение, снимаемое с цепочки последовательно включенных стабилитронов. Плавная регулировка обычно производится с помощью делителя напряжения *R2, R3,R4,* включенного в выходную цепь стабилизатора, таким образом, как показано на рис 2.2, б.

При оценке коэффициента стабилизации будем полагать, что изменения входного напряжения проходят на выход СН следующим образом. Изменение  входного напряжения создает изменение тока  через резистор . На такое же значение изменяются ток коллектора  и ток стабилитрона . При этом изменяются опорное и выходное напряжения СН: ; . Производя подстановки последних выражений в выражение для коэффициента стабилизации, получаем

. (2.9)

Как видно из формулы (5.1.8), коэффициент стабилизации может быть увеличен за счет увеличения  и уменьшения дифференциального сопротивления стабилитрона . Первое может быть достигнуто при уменьшении тока базы  . Поскольку этот ток связан с током нагрузки выражением , то при фиксированном токе нагрузки уменьшение  достигается за счет увеличения коэффициента В . По этой причине в качестве регулирующего БТ в схеме СН часто используют составные транзисторы с большим коэффициентом В.

Выходное сопротивление СН найдем, используя выражение для выходного сопротивления схемы, охваченной отрицательной обратной связью по напряжению:

. (2.10)

Здесь  - выходное сопротивление без обратной связи, которое в данном случае является выходным сопротивление  со стороны эмиттера ;  - петлевое усиление в контуре, образованном регулирующим элементом и цепью обратной связи. Для компенсационного СН петлевое усиление можно найти в виде произведения , где  - коэффициент передачи согласующего делителя напряжения;  - коэффициент усиления УС;  - коэффициент усиления РЭ.

Для уменьшения выходного сопротивления СН необходимо увеличивать коэффициент усиления УС. Это достигается за счет увеличения коэффициента В  и далее за счет увеличения .

В настоящее время получили распространение схемы стабилизаторов напряжения, выполненные на основе операционных усилителей (ОУ) [8].

В настоящее время выпускают также интегральные стабилизаторы напряжения компенсационного типа. В качестве источника опорного напряжения в схемах интегральных стабилизаторов кроме стабилитронов используется транзистор, включенный по схеме каскада ОБ и работающий как генератор стабильного тока.

Регулирующий элемент обычно представляет собой составной транзистор, состоящий из двух или нескольких отдельных транзисторов, число которых определяется требованиями, предъявляемыми к стабилизатору.

Усилительным элементом схемы интегрального стабилизатора является операционный усилитель или в некоторых случаях просто дифференциальный каскад.

* 1. **Примеры расчета стабилизаторов**

***Пример 1.*** Рассчитать компенсационный стабилизатор напряжения последовательного типа (см. рис. 2.1,б), удовлетворяющий следующим условиям: входное напряжение максимальный ток нагрузки коэффициент стабилизации Предусмотреть плавную регулировку выходного напряжения в пределах от 12 до 16 В.

***Решение***

1. Определим максимальное напряжение коллектор-эмиттер регулирующего транзистора V*Т1*:
2. Определим максимальную мощность, рассеиваемую на транзисторе V*Т1*:
3. По данным расчета п. 1 и 2 выбираем транзистор V*Т1*, для которого

Этим условиям удовлетворяет транзистор типа КТ817А с параметрами:

1. Для создания опорного напряжения Uоп выбираем стабилитрон типа Д814А с параметрами:
2. Определяем максимальное напряжение коллектор-эмиттер усилительного транзистора *Т2*:
3. Исходя из условия выбираем в качестве усилительного элемента транзистор n-p-n типа КТ503Б с параметрами:

β2 = 80 ÷ 240

= 40 В

Iк2 мах = 150 мА

1. Полагая, что найдем сопротивление балластного резистора:

где

1. Учитывая, что определим сопротивление

Примем стандартное значение 150 Ом, обеспечивающее нормальную работу схемы при полном токе нагрузки

1. Определим сопротивление резисторов делителя *R2, R3,R4.* Условимся считать, что если движок потенциометра R3 стоит в крайнем верхнем положении, то выходное напряжение стабилизатора имеет заданное по условию минимальное значение *Uнmin*. В крайнем нижнем положении движка выходное напряжение максимально. Тогда можно записать уравнения

Полагая

Получим

1. Записав формулу (13.13) в виде



Полученное значение коэффициента стабилизации не удовлетворяет условию задания, поэтому в схему стабилизатора для реализации составного транзистора добавим элемент VT3 (рис. 2.3)



Рисунок 2.3– **Схема стабилизатора с составным транзистором**

Рассчитываем параметры составного транзистора VT3:

максимальное значение коллекторного тока

*Ik3>IH/h21э1мин=1,5/25=0,06 А;*

напряжение коллектор-эмиттер

*Uкэ3>Uвх.мах=24В;*

рассеиваемая мощность

Рк3>Рк1мах/h21мин=7,5/25=0,3 Вт.

Выбираем транзистор КТ603Б с параметрами:

Ik3мах=0.3A; Pk3мах=0,4 Вт; Uкэмах=30 В; h213мин=60.

Тогда коэффициент стабилизации увеличится примерно в h213мин=60 раз.

Кст=32,2·60=1932

Полученное значение коэффициента стабилизации удовлетворяет условию задания.

***Пример 2.*** Выбрать и рассчитать схему последовательного стабилизатора напряжения с параметрами Исходные данные для расчета:

***Решение***

1. Выбираем тип регулирующего транзистора из условий:

Этим условиям удовлетворяет транзистор типа КТ908А с параметрами:

1. Рассмотрим возможность получения заданных параметров схемы при использовании в качестве усилительного элемента операционного усилителя (см. рис. 13.4).

Из условий

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (2.16) |
|  |  | (2.17) |

где , - предельные значения выходных напряжений и тока операционного усилителя, выбираем операционный усилитель типа К157УД1, для которого

Если условие (13.16) не выполняется, то в качестве усилительного элемента следует использовать транзистор. В этом случае расчет проводится по методике, аналогичной той, которая применена в примере 2.1. При невыполнении условия (13.17) в качестве регулирующего элемента используют составной транзистор. Тогда

где – коэффициенты усиления по току отдельных транзисторов.

1. Для создания опорного напряжения выбираем стабилитрон КС133А с параметрами:
2. Определяем сопротивление балластного резистора *Rб* полагая, что
3. Для расчета сопротивлений резисторов *R1, R2,R3* предположим, что движок в потенциометре *R2* стоит в крайнем верхнем положении. Тогда выходное напряжение стабилизатора имеет заданное по условию минимальное значение. При крайнем нижнем положении движка выходное напряжение максимально.

В первом случае

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (2.18) |

Во втором случае

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (2.19) |

Полагая *R3 = 1 кОм*, из системы уравнений (2.18) и (2.19) находим

*R1 = 0,5 кОм, R2 = 0,5 кОм.*

1. Определим коэффициент стабилизации схемы, применив общую формулу [8]

Так как – внутреннее сопротивление регулирующего транзистора, , то

где *KОУ* – коэффициент усиления ОУ без обратной связи.

* 1. **Варианты заданий для самостоятельной работы**

1. Рассчитать параметрический стабилизатор напряжения с параметрами:
2. Рассчитать параметрический стабилизатор напряжения с параметрами:
3. Рассчитать параметрический стабилизатор напряжения с параметрами:
4. Рассчитать параметрический стабилизатор напряжения с параметрами:
5. Выбрать и рассчитать схему последовательного стабилизатора напряжения с параметрами Исходные данные для расчета:
6. Выбрать и рассчитать схему последовательного стабилизатора напряжения с параметрами Исходные данные для расчета:
7. Выбрать и рассчитать схему последовательного стабилизатора напряжения с параметрами Исходные данные для расчета:
8. Рассчитать компенсационный стабилизатор напряжения последовательного типа (см. рис. 2.1,б), удовлетворяющий следующим условиям: входное напряжение максимальный ток нагрузки коэффициент стабилизации Предусмотреть плавную регулировку выходного напряжения в пределах от 10 до 12 В.
9. Рассчитать компенсационный стабилизатор напряжения последовательного типа (см. рис. 2.1,б), удовлетворяющий следующим условиям: входное напряжение максимальный ток нагрузки коэффициент стабилизации Выходное напряжение 9 В.
10. Рассчитать компенсационный стабилизатор напряжения последовательного типа (см. рис. 2.1,б), удовлетворяющий следующим условиям: входное напряжение максимальный ток нагрузки коэффициент стабилизации Выходное напряжение 24 В.

3 МЕТОДИКА РАСЧЕТА УСИЛИТЕЛЯ НАПРЯЖЕНИЯ

ПЕРЕМЕННОГО ТОКА НА БИПОЛЯРНОМ ТРАНЗИСТОРЕ

3.1 Исходные данные

* Источник сигнала представлен эквивалентным генератором напряжения с параметрами: *ЕГm* – максимальная амплитуда напряжения холостого хода; *RГm*– внутреннее сопротивление.
* Максимальная амплитуда напряжения на нагрузке – *Uнm*.
* Эквивалентное сопротивление нагрузки – *Rн*.
* Нижняя частота усиления – ƒн.
* Коэффициент частотных искажений *Мн* на частоте ƒн.



# 3.2 Назначение элементов

Назначение элементов усилителя:

*ЕГ , RГ* – эквивалент источника сигнала;

*Rб1, Rб2* – цепь смещения начальной рабочей точки (точки покоя);

*Rк* – нагрузка транзистора по постоянному току;

*Rэ* – резистор отрицательной обратной связи (ООС) по току;

*Rн* – эквивалент нагрузки;

*С1, С2* – разделительные конденсаторы.

Принцип работы схемы изложен в лекциях.

# 3.3 Методика расчета схемы

1. Определение заданного коэффициента усиления по напряжению:



1. Расчет сопротивления резистора коллекторной цепи транзистора:

,

где *КR* – коэффициент соотношения сопротивлений *RK* и *RH* ,

*КR* = 1,2 ···1,5 при *RH* ≤ 1 кОм;

*КR* = 1,5 ···5,0 при *RH* > 1 кОм.

Рекомендуется выбирать *КR* = 1,5. После расчета номинал *RК* выбрать из ряда Е24 (см. часть 2 методических указаний).

1. Расчет сопротивления нагрузки транзистора по переменному току:



1. Расчет максимальной амплитуды переменного тока коллектора:



1. Ток коллектора в начальной рабочей точке (ток покоя):



где *КЗ* = 0,7 ··· 0,95 – коэффициент запаса.

Рекомендуется выбирать *КЗ* = 0,7, что соответствует минимальным искажениям сигнала.

1. Минимальное напряжение коллектор-эмиттер в точке покоя:

,

где *U0* – граничное напряжение коллектор-эмиттер между активным режимом и насыщением.

Выбирается: *U0* = 1 В для транзисторов с *Рк* ≤ 150 мВт (маломощные); *U0* = 2 В - для других.

1. Напряжение коллектор-эмиттер в начальной рабочей точке (точке покоя) *UКЭП*:

если *UКЭmin* < 5 В, то принять *UКЭП*= 5 В;

если *UКЭmin* ≥ 5 В, то принять *UКЭП* = *UКЭmin.*

1. Расчет сопротивления резистора ООС:



RЭ – округлять в меньшую сторону.

1. Расчет напряжения источника питания:

.

Округляется до целого числа в большую сторону.

1. Выбор транзистора по предельным параметрам из условий:

,

,

,

где *UКЭ max – максимальное*  обратное постоянное напряжение коллектор-эмиттер; *I K max –* максимальный постоянный ток коллектора; *PK max* – максимальная мощность на коллекторе транзистора.

В большинстве случаев подходят транзисторы малой мощности (*РК* ≤ 150мВт). Рекомендуется брать транзисторы с h21Э ≥ 50.

1. Ток базы покоя транзистора:



1. Определение напряжения покоя *Uбэп*. Используем выражение для ВАХ эмиттерного перехода:



где *IЭ0* – обратный ток перехода; *m* – поправочный коэффициент;

*m* = 1,2 ― 3, рекомендуется m = 2.

Для *Uбэ > 3 mφТ* = 150 мВ единицей можно пренебречь. Тогда с учетом зависимости



можно получить



где *φТ* = 26 мВ.

Напряжение *Uбэп*  может быть определено по входной характеристике транзистора для активного режима работы в схеме с ОЭ по значению .

1. Ток делителя цепи смещения:

.

1. Расчет сопротивления цепи смещения производится по формулам:





1. Эквивалентное сопротивление цепи смещения:



1. Расчет входного сопротивления усилителя:

где

,



1. Расчет разделительных конденсаторов.

Принимаем вклады *С1* и *С2* в частотные искажения на частоте ƒН равными:

;

тогда





1. Проверка усилителя на соответствие заданному значению коэффициента усиления по напряжению *Кu*. Используем для расчета действительного коэффициента усиления точную формулу:

,

где 

Если *Кu∂* и *Кu* расходятся не более, чем на 10%, расчет удовлетворяет заданию.

1. Проверка режима по постоянному току:

UКП = ЕП – IКП ּRК

UЭП = IКП ּRЭ

Uбп = Uэп + Uбэп

20. Проверка работоспособности схемы по условиям:

1. Uкп > Uбп - активный режим работы;
2. Uкп – Uбп > Uнm класс
3. Iк усиления А.

21. Построение нагрузочных характеристик по постоянному и переменному токам.

## 3.5 Пример расчета усилителя напряжения

Исходные данные: *RГ* = 150 *Ом*

*ЕГm* = 0,2 *В*

*Uнm* = 2,2 *В*

*Rн* = 1 *кОм*

*Мн*= 1,4

*fн* = 20 *Гц.*

Расчет:

1)  .

2) .

.

Выберем из ряда Е24 Rк = 2,4 *кОм.*

3) .

4) .

5) .

6) .

7) .

8) .

Выбираем 62 *Ом.*

9) 

Выбираем *ЕП* = 16 *В*

*.*

10) Используем транзистор КТ315Г с параметрами:

*h21Э* = 50…350.

.

 .

.

.

11) .

12)  13) .

14) .

Выбираем *Rб1* = 1,5 *кОм.*

.

Выбираем Rб1 = 33 *кОм.*

15) .

16) .



.

17) .



Выбираем *С1*=10 *мкФ.*



Выбираем *С2*=2 *мкФ*.

18) .

.

.

19) Режим по постоянному току:

*ЕП*=16 *В*; ; ;

.

20) Проверка работоспособности схемы:

*а) *

- активный режим транзистора выполняется;

*б); *

- класс усиления А обеспечивается.

21) Строим нагрузочные характеристики транзистора по постоянному и переменному токам (рис.2).



Рисунок 3.2 - **Нагрузочные характеристики транзистора**

**4 МЕТОДИКА РАСЧЕТА СХЕМ**

**НА ОПЕРАЦИОННЫХ УСИЛИТЕЛЯХ**

**4.1 Схемы на операционных усилителях**

В зависимости от варианта задания для расчета предлагается одна из пяти схем, представленных на рис.4.1 а, б, рис.4 а, б и рис. 5. Поскольку схемы имеют разное назначение, исходные данные задаются индивидуально для каждой из них.







**4.2 Назначение элементов схем**

Во всех схемах источники усиливаемого входного сигнала представлены в виде эквивалентных генераторов напряжения с параметрами *Ug*, *Rg*; операционный усилитель (ОУ) *DA1* во всех схемах является элементом, обеспечивающим усиление сигнала; резистор *R1* в схемах на рис. 4.1 а и рис. 4.2 а, б задает входное сопротивление схемы и определяет коэффициент усиления по напряжению, в схемах на рис. 4.1 б и рис. 4.3 задает коэффициент усиления по напряжению; резистор *R2* в схемах на рис. 4.1 а, б, рис. 4.2 б и рис. 4.3 предназначен для компенсации ошибки ОУ, возникающей в результате протекания входного тока смещения ОУ через резисторы, подключенные к инвертирующему входу, в схеме на рис. 4.2 а – задает входное сопротивление усилителя и коэффициент усиления по напряжению; резистор *R3* в схемах на рис. 4.1 а, б, рис. 4.2 б и рис. 4.3 является элементом цепи обратной отрицательной связи и задает коэффициент усиления по напряжению, в схеме на рис. 4.2 а – имеет такое же назначение, что и *R2* на рис. 4.2 б; конденсаторы *С1* в схемах на рис. 4.2 б и рис. 4.3 являются разделительными для исключения взаимного влияния источника сигнала и схемы по постоянному току.

**4.3 Методика расчета схем**

1. Вычертить заданную принципиальную электрическую схему усилителя и обозначить все элементы.

Рассчитать сопротивления резисторов и конденсаторов (при наличии их в схеме). При этом расчет значений величин элементов схемы производить в порядке, приведенном в таблице 4.1, для усилителей переменного и постоянного тока (рис. 4.1 а, 4.1 б, 4.2 б, 4.3 ) или в таблице 4.2, для сумматора (рис. 4.2, а).

После расчета каждого значения величины следует выбирать номинал резисторов и конденсаторов по параметрическому ряду Е24.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Таблица 4.1– **Расчетные соотношения для усилителей постоянного и переменного тока** | **Неинвертирующий**  **усилитель переменного тока**  **(рис. 4.3)** | R1=(5―10)RG1 | R2 = R1 | R3 = (KU 1-1) R1 |  |
| **Инвертирующий**  **усилитель переменного тока**  **(рис. 4.2 б)** | R1=(5―10)RG1 | R2 = R1 | R3 = KU 1 R1 |  |
| **Неинверти-рующий усилитель постоянного тока**  **(рис. 4.1 б)** | R1=(5―10)RG1 | R2 = R1 | R3 = (KU 1-1) R1 | - |
| **Инвертирую-**  **щий усилитель постоянного тока**  **(рис. 4.1 а)** | R1=(5―10)RG1 | R2 = R1 | R3 = KU 1 R1 | - |
| **Расчетные**  **величины** | Сопротивление  резистора R1 | Сопротивление  резистора R2 | Сопротивление  резистора цепи  обратной связи R3 | Емкость разделительного конденсатора C1 |

Таблица 2 – **Расчетные соотношения для суммирующего усилителя**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Расчетная**  **величина** | **Если KU1 RG1 ≥ KU2 RG2** | **Если KU1 RG1 < KU2 RG2** |
| Сопротивление  резистора R1 | R1=(5÷10)RG1 |  |
| Сопротивление резистора R2  Сопротивление резистора R3  Сопротивление резистора цепи обратной связи R4 | R4 = KU1 R1 | |

Таблица 3 – **Порядок проверки операционного усилителя**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Расчетная величина** | **Схема** | | | | |
| **рис. 4.1 а** | **рис. 4.1 б** | **рис. 4.2 а** | **рис. 4.2 б** | **рис. 4.3** |
| Сопротивление по постоянному току, подключенное между входом ОУ и нулевой точкой Rвхо | Rвхо=R2 | Rвхо=R2 | Rвхо=R3 | Rвхо=R2 | Rвхо=R2 |
| Допустимое напряжение смещения, приведенное к входу ОУ Uсм доп | Uсм Σ = UсмI + UсмU | | | | |
| Напряжение смещения ОУ, вызванное разностью входных токов и ее тепловым дрейфом Uсм I |
| Напряжение смещения, вызванное внутренним смещением ОУ и его тепловым дрейфом Uсм U |
| Суммарное напряжение смещения, приложенное между входами ОУ Uсм Σ |

Номиналы сопротивлений резисторов и емкостей конденсаторов (до 10 мкФ) выбирают из приложения второй части методических указаний. Если емкость конденсатора выше 10 мкФ, применять электролитические конденсаторы, номиналы которых указаны в приложении второй части методических указаний. Сопротивления резисторов на входе ОУ выбираются в 5 – 10 раз выше сопротивления источника сигнала, чтобы избежать значительного шунтирования источника. Для компенсации смещения нулевого напряжения на выходе ОУ, вызванное входными токами ОУ, общие сопротивления резисторов, подключенных к различным дифференциальным входам, равны (R2 = R1; рис. 4.1 а; 4.1 б; 4.2 б; 4.3; R3 = R1 || R2; рис. 4.2а).

1. Выбрать операционный усилитель (ОУ). Выбор ОУ производится с учетом условий:



где  - входное, выходное сопротивление и максимальное суммарное, приведенное ко входу, смещение ОУ;  - допустимое, приведенное ко входу, смещение в схеме. Необходимо проверить выбранный ОУ.

Операционный усилитель должен обеспечить требуемый динамический диапазон выходных напряжений



где D – динамический диапазон, дБ;

U вых max – максимальное выходное напряжение, В;

Uвых min – минимальное выходное напряжение, В.

Минимальное выходное напряжение ОУ ограничено напряжением смещения нуля, вызванное разностью входных токов внутренним смещением ОУ и их тепловыми дрейфами.

Порядок проверки ОУ по напряжению смещения нуля приведен в таблице 4.3.

В формулах таблицы 4.3 использованы обозначения:

Δiвх – разность входных токов ОУ, А;

 – тепловой дрейф разности входных токов, А/°С;

Тm - наибольшая температура окружающей среды, °С;

Т0 - температура, при которой измеряются параметры ОУ, 25°С;

Uвых max ОУ - максимальное выходное напряжение ОУ при номинальном питании, В;

D - динамический диапазон выходного напряжения, дБ;

Uсмв – внутреннее смещение на входе ОУ, В;

 – тепловой дрейф внутреннего смещения на входе ОУ, В/°С.

Если Uсм доп ≥ Uсм Σ, то ОУ выбран правильно. В противном случае, необходимо выбрать другой ОУ из приложения 4 второй части методических указаний и выполнить вновь пункт 3 задания. Напряжение питания схемы типовое для ОУ.

4. Определить максимальные амплитуды напряжений источников сигнала. Максимальная амплитуда входного сигнала для усилителей постоянного и переменного токов (рис. 4.1 a, 6, рис. 4.2 б и рис. 4.3):

;

В суммирующем усилителе (рис. 4.2 а) предполагается одинаковое влияние входных напряжений на выходное:

;

.

### 4.4 Пример расчета сумматора на рис. 4.2 а

***Исходные данные:***

RG1 = 12 кОм; RG2 = 47 кОм; КU1 = 25; KU2 = 12; Тмакс = +40 °С;

D = 30 дБ.

***Расчет***:

1. Расчет входного резистора с максимальным значением сопротивления источника сигнала (в данном случае RG2).

Для обеспечения минимального влияния сопротивления источника сигнала на значение коэффициента усиления KU2 необходимо, чтобы входное сопротивление схемы, которое определяется сопротивлением резистора на входе ОУ, было много больше сопротивления источника сигнала. Отсюда выбираем



и округляем до стандартного значения 

1. Расчет резистора цепи обратной отрицательной связи:



выбираем .

1. Расчет сопротивления резистора на первом входе ОУ:



выбираем 

1. Расчет компенсирующего резистора на втором входе ОУ:



выбираем 

1. Выбор ОУ производится с учетом условий:

,

где  - входное, выходное сопротивление и максимальное суммарное, приведенное ко входу, смещение ОУ;  - допустимое, приведенное ко входу, смещение в схеме сумматора. Для сумматора  рассчитывается по эквивалентному коэффициенту усиления



и заданному динамическому диапазону *D* :

,

где  - допустимое смещение на выходе сумматора;  - максимальное выходное напряжение ОУ.

Таким образом, в рассматриваемом примере должны выполняться условия:

;

.

При этом  .

Из приложения второй части методических указаний выбираем ОУ типа К140УД6 с параметрами: Rвх=109 Ом; Rвых =1 кОм; ΔIвх=10 нА; ; Uсм=5 мВ; . Условия пригодности ОУ по входному и выходному сопротивлению выполняются. Проверим условие по напряжению смещения.

Суммарное, приведенное ко входу, смещение ОУ рассчитывается по формуле

.

Компоненты в правой части формулы:



* от разницы входных токов;



* от температурного дрейфа разницы входных токов;



* от напряжения смещения;



* от температурного дрейфа напряжения смещения.

Таким образом, суммарное напряжение смещения ОУ составляет

.

Это значение меньше *Uсмдоп* , поэтому ОУ удовлетворяет требованию применения в схеме сумматора.

1. Найдем максимально допустимую амплитуду напряжений источников сигнала, полагая, что напряжение *Uвыхmax* формируется входными сигналами поровну:

. .

# 5 СИНТЕЗ ЛОГИЧЕСКОЙ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ

* 1. **Способы задания булевых функций**

Функцией Буля *F=F(X1,…Xn)* называется такая функция, у которой независимые переменные *X1,…Xn* могут принимать значения 0 или 1 и сама функция *F* в зависимости от комбинации *X1,…Xn* принимает значения 0 или 1.

Для частично определённой функции некоторые переменные и сама функция на некоторых комбинациях переменных могут принимать неопределённые значения *d*, т.е. при синтезе логической схемы *d* можно доопределить произвольным образом до 0 или 1 (для лучшей минимизации схемы).

Любая функция *F=F(Х1*,*Х2 …Хп)*, имеющая область определения *2п* двоичных наборов, может быть задана одним из трёх способов:

1. Задание булевой функции в виде алгебраического выражения (в дизъюнктивной или конъюнктивной нормальной форме, канонической, смешанной и т.д.).

Пример задания в дизъюнктивной нормальной форме (ДНФ).

терммм

терм



В этом случае переменные, объединённые знаком конъюнкции & или без знака, как в приведённом выше примере), образуют терм. Термы объединяются знаком дизъюнкции (V).

Пример задания в конъюнктивной нормальной форме (КНФ).



терм

терм

В этом случае переменные объединяются в терме знаком дизъюнкции, а термы между собой объединяются знаком конъюнкции.

Булева функция *F* для указанных в правой части комбинаций переменных принимает значение 1, функция - значение 0.

2. Задание булевой функции в виде таблицы истинности, в которой указаны все наборы входных переменных и значений функций на этих наборах.

Пример таблицы истинности дан на рис.5.1.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| ***Х1*** | ***Х2*** | ***F*** |
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 0 |

Рисунок 5.1 - **Таблица истинности для функции **

00 01 11 10



Рисунок 5.2 - **Карта Карно для функции** 

Компактной формой задания таблицы истинности являются карты Карно (карты Вейча), в которых значения функции указываются в клетках для всех комбинаций переменных. Карты Карно позволяют выполнить минимизацию схемы для небольшого числа переменных (*п≤6).* Пример карты Карно для функции с двумя переменными представлен на рис. 5.2.

3. Задание булевой функции *F=F(Х1*,*Х2 …Хп)* в виде кубического комплекса *к(F)* . Этот способ является машинно-ориентированным и фактически представляет из себя расширение метода карт Карно для больших *п*. Использование кубической формы представления булевых функций позволило создать машинные методы минимизации для функций от 100 переменных и более.

Кубический комплекс может быть записан в аналитической форме. Рассмотрим примеры записи для функции

.

Кубический комплекс нулевой размерности -

,

первой размерности – ,

второй размерности – .

Каждая строка в комплексе называется кубом. *X* показывает, что переменная может принимать значения 0 или 1.

Все представленные записи кубических комплексов эквивалентны. Чем выше размерность куба, тем компактнее запись. Кубы более высокой размерности являются покрытием кубов более низкой размерности. В дальнейшем под покрытием будем понимать куб максимальной размерности, который можно записать для данной функции, и обозначать покрытия *с(F).*

* 1. **Представление булевых функций на картах Карно**

Для функции *F=F(Х1*,*Х2 …Хп)* выбирается карта на *n* переменных. При этом функция *F=F(Х1*,*Х2 …Хп)* на некоторых покрытиях может принимать значения 1, на некоторых -неопределен­ное *d*, а на остальные 0. В соответствующих клетках Карно в этом случае проставляется 1 или d, 0 обычно не ставится.

Примеры.

1. Пусть задана функция *F=F(Х1*,*Х2,Х3)* наборами:



.

Дизъюнктивная нормальная форма такой функции:

.

При представлении в алгебраической форме все кубы покрытия *с(F)* объединяются знаком дизъюнкции (каждый куб соответствует одному терму), нулевое значение переменной обозначается знаком отрицания или инверсии.

На картах Карно кубам 100 и 001 соответствуют клетки с такими же кодами. Кубу 11Х соответствуют две клетки столбика 11, так как значение третьей перемен­ной безразлично и она может принимать значения 0 и 1 (т.е. клетки 110 и 111). Во всех этих клетках проставляем 1 (см . рис. 5.3).

1. Пусть задана функция *F=F(Х1*,*Х2,Х3,Х4)*, равная 1 на кубе:

.

Карта Карно для этой функции показана на рис. 5.4. Поскольку вторая и четвёртая координата куба Х0Х0 равны 0, а остальные безразличны, то проставляем единицы во всех клетках с 0 на второй и четвертой позиции (всего будет четыре клетки).

Для куба XIXX должна быть равна 1 только вторая координата, поэтому ставим 1 во всех клетках с кодом 1 на второй координате (всего будет 8 таких клеток).

Соответствующим образом осуществляется обратный переход от карты Карно к кубической форме представления функции.

* 1. **Переход от булевых выражений к функциональным схемам.**

# Минимизация схемы

При переходе от кубической записи булевой функции к функциональной схеме переменные одного куба объединяются знаком конъюнкции, т.e. являются входами одной схемы И, все кубы объединяются друг с другом знаком дизъюнкции, т.е. выходы схем И являются входами одной схемы ИЛИ. При этом около соответствующего входа схемы И ставится переменная без инверсии, если на соответствующем месте в кубе стоит 1, с инверсией, если на соответствующем месте в кубе стоит нуль, и вход остается пустым (отсутствует), если на соответствующем месте стоит X.

***Пример.***Составить функциональную схему для функции, равной единице на наборе:

.

Функциональная схема представлена на рис. 5.5.

При построении схем возникает задача минимизации стоимости схемы, которая реализует заданную функцию. В качестве меры стоимости схемы будем использовать суммарное число входов W всех схем И и ИЛИ, причём число входов элемента И равно числу букв, не равных X, соответствующего терма, а число входов схемы ИЛИ равно числу термов.



Рисунок 5.5 - **Функциональная схема, реализующая функцию**

Для кубической формы представления функции стоимость определятся следующим образом. Некоторый куб размерности *r* имеет стоимость:

*W(cr)= n-r*,

где n - общее число координат.

Как мы уже отмечали, размерность куба равна числу его коор­динат, равных *X*. Полная стоимость всего покрытия равна:

,

где *k* - число кубов, на которых функция равна 1.

***Пример.*** Для функции, реализованной на рис.5.5, имеем:

*W(c(F))=*(3-0)+(3-1)+(3-0)+3=11.

В соответствии с полученной мерой стоимости получаем следующий принцип минимизации:

1. На картах Карно, там, где функция равна 1, нужно строить кубы максимальной размерности, так как чем выше размерность куба, тем меньше он стоит и тем большее число точек он покрывает.

2. Минимально возможное число кубов максимальной размерности должно покрывать все клетки карт Карно, где функция равна 1.

***Пример.*** Рассмотрим функцию, реализованную схемой рис.5,5.

Карта Карно для этой функции представлена на рис. 5.3. После минимизации полу­чим карту, представленную на рис.5.6.

Как видно из рис. 11., для того чтобы все единицы были покрыты, достаточно взять два куба первой размерности: .

Схема, реализующая это покрытие, показана на рис. 5.7.

Стоимость схемы, приведённой на рис.5,7:

*С*=(2+2)+2=6.



Таким образом, после минимизации стоимость схемы уменьшилась на 5 единиц.

Эвристический алгоритм минимизации можно записать следующим образом:

1. Построить максимальные кубы на клетках, где функция равна 1.

2. Найти клетки, которые покрываются только одним кубом (обособленные клетки или вершины куба).

3. Включить в минимальное покрытие все кубы, покрывающие обособленные клетки.



4. Удалить из рассмотрения покрытые клетки. Выбросить из рассмотрения кубы, которые покрывали что-то из выброшенных клеток, если клетки, покрываемые отбрасываемыми кубами, имеют покрытие в виде другого куба равной или большей размерности по cравнению с отбрасываемым кубом.

5. Продолжить процесс поиска.

***Пример.*** Рассмотрим карту Карно для пяти переменных (рис.5.8).

На этом рисунке сплошными и пунктирными линиями показаны все возможные варианты покрытий кубами максимальной размерности для заданной логической функции.

Обособленными клетками будут клетки 10001, 10101, 11101 и 00100. Они покрываются двумя кубами второй размерности: 1ХХ01 (для клеток 10001, 10101 и 11101) и 0Х1Х0 (для клеток 00100). Включим эти клетки в минимальное покрытие. Отбросим из дальнейшего рассмотрения кубы парной размерности 01Х00, Х1110 и 0011Х, как удовлетворяющие п.4 алгоритма. Отбрасываемые кубы показаны на рис. 13 пунктиром. После этой операции обособленными станут клетки 01000, 11110 и 00111. Эти метки покрываются кубами первой размерности 0100Х, 11Х10 и 00Х11. Отбросим из дальнейшего рассмотрения одномерные кубы 1101Х и 0Х011 и для покрытия оставшихся меток используем куб второй размерности Х10Х1. Кубы, вошедшие в минимальное покрытие, показаны на рис.13 сплошной линией.

Окончательно минимальное покрытие запишется следующим образом:

.

Таким образом, при построении кубов максимальной размерности на картах Карно следует объединять клетки, образующие симметричные формы оносительно каких-либо линий сетки карт, при этом общее число объединенных клеток должно быть кратно 2n, т.е. 2, 4, 8, 16 и т.д.



**5.4** **Факторизация покрытий**

Минимизация по картам Карно даёт минимальное покрытие и двухступенчатую схему. При этом в алгоритме не учитывается два фактора:

1. Возможна другая схемная реализация в виде многоступенчатой схемы, имеющая меньшую стоимость.

2. В алгоритме не учитывается коэффициент объединения по входу – максимальное число входов логического элемента, которое в реальных схемах не может превышать некоторое конечное значение.

Преодоление этих затруднений производится с помощью алгоритма факторизации.

***Пример.*** Пусть задана функция *F(Х1,Х2,Х3)*, равная единице на покрытии:

.

Эта функция в ДНФ запишется как  и реализуется схемой, показанной на рис.5.9.

Стоимость схемы: *W=(2+2)+2=6.*

Однако дизъюнктивные члены (и, соответственно, кубы *с(F)*) имеют общую часть *Х*2: .



Вынесем общую часть, и в кубическом покрытии обозначим координаты, имеющие различное вхождение, в исходные кубы, через μ. Те координаты в кубах, которые вошли в общую часть, заменим прочерками:

.



Далее при построении функциональной схемы учитываем, что отмаскированные (покрытые) кубы с прочерками так же как и ранее, входят в схему как элементы «И», при этом их входы образуют только координаты с нулями и единицами. Элементы «И» объединяются элементом «ИЛИ», который с маскирующим кубом (общей частью) объединяется элементом «И». Реализация функции *F(Х1,Х2,Х3)* и соответственно по­крытия с *сF(F)* показана на рис.5.10. Здесь и в дальнейшем инверсию входных переменных будем обозначать кружком на входе схемы. Инверсию выходного сигнала –кружком на выходе схемы.

Стоимость факторизованной схемы: *W=2+2=4.*

В основе алгоритма факторизации (μ - алгоритма) лежит μ –произведение, которое обозначается *аμВ*, слагается из результатов покоординатных произведений:

*аμВ=( а1μВ),( а2μВ), …( аnμВ)*,

и находится в соответствии со следующей таблицей:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| ai  вi | 0 | 1 | Х | μ |
| 0 | 0 | μ | μ | μ |
| 1 | μ | 1 | μ | μ |
| Х | μ | μ | μ | μ |
| μ | μ | μ | μ | μ |

Как видно из таблицы, μ – произведение двух координат равно нулю, если обе координаты равны нулю; равно единице, если обе координаты равны единице; равно μ во всех остальных случаях.

Рассмотрим порядок выполнения алгоритма на примере.

Пусть задано покрытие *С(F)*:

.

2. Находятся μ – произведения всех кубов из *C(F)*. Это удоб­нее проделать при помощи следующей таблицы. По вертикали в первой слева колонке размещены кубы покрытия *C(F)*, по горизонтали в первой сверху строчке размещены те же кубы, без последнего. На месте пересечения кубов самих с собой становятся прочерки. Поскольку таблица получится симметричной, то μ – произведения соответствующих кубов заполняются только в нижней части таблицы.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | 0ХХ11 | 000ХХ | 0Х11Х |
| 0ХХ11 | - |  |  |
| 000ХХ | 0 μ μ μ μ | - |  |
| 0Х11Х | 0 μ μ 1 μ | 0 μ μ μ μ | - |
| 00Х1Х | 0 μ μ 1 μ | 0 0 μ μ μ | 0 μ μ 1 μ |

3. Выбирается маскирующий куб *Сμ*, имеющий максимальную стои­мость. Стоимость куба определяется по формуле:

*W(Cμ)=rμ ,*

где *r*μ - общее число координат куба, не равных μ.

Для нашего случая кубами, имеющими максимальную стоимость, будут кубы:

*Сμ1=*0*μμ*1*μ ,*

*Сμ2=*00*μμμ .*

Для дальнейшей работы можно взять любой из этих кубов. Возьмем куб *Сμ1*, так как он входит в вышеприведенную таблицу большее число раз.

4. В таблице отмечаются кубы, отмаскированные выбранным маски­рующим кубом. Таковыми в нашем случае будут 0ХХ11, 0Х11Х и 00Х1Х.

5. Покрытие *C(F)* разбивается на три части. Вверху располагаются кубы, которые не покрываются маскирующим кубом. Затем записывается маскирующий куб. Под ним записываются отмаскированные ку­бы с прочерками на тех координатах, которые не

1 часть

2 часть

3 часть



равны μ в маскирующем кубе.

6. Отмаскированные кубы исключаются из рассмотрения. В дальнейшем они будут представлены в последующих шагах алгоритма своим маскирующим кубом и перемещаются во всех последующих записях вместе со своим маскирующим кубом. После исключения отмаскированных кубов алгоритм повторяется.

7. Вновь строится таблица

|  |  |
| --- | --- |
|  | 000ХХ |
| 000ХХ | - |
| 0 μ μ 1 μ | 0 μ μ μ μ |

8. Выбирается маскирующий куб максимальной стоимости. В данном случае таким будет единственный куб: *Сμ3=0μμμμ.*

9. Отмечаются кубы, отмаскированные *Сμ3.* В данном случае таковыми будут 000хх и 0μμ1μ.

10. Покрытие *С1(F)* разбивается вновь на три части. Поскольку неотмаскированных кубов не осталось, то первая часть будет пустой:

.

11. Алгоритм заканчивается, когда не останется неотмаскированных кубов, либо маскирующий куб максимальной стоимости будет состоять только из одних μ (нулевая стоимость).

**5.5 Схемная реализация факторизованного покрытия**

При построении схемы факторизованного покрытия следуют правилам.

1. Построение схемы удобно вести по факторизованному покрытию снизу вверх.
2. Любой куб, находящийся под маскирующим, реализуется в виде элемента «И», входы которого соответствуют координатам куба, равным нулю или единице.
3. Элементы «И», соотвествующие отмаскированным кубам, объединяются элементом «ИЛИ».
4. Маскирующий куб соответствует элементу «И». Его входы образуются координатами маскирующего куба, равными нулю или единице, и выходом элемента «ИЛИ», объединяющего отмаскированные им кубы.
5. Маскирующий куб сам может объединяться с другими кубами элементом «ИЛИ», если вместе с другими кубами он покрывается маскирующим кубом более высокого уровня.

***Пример.***

Реализуем в виде схемы факторизованное покрытие, полученное в предыдущем параграфе (рис. 5.11).



***Пример.*** Реализовать в виде схемы факторизованное покрытие:

.

Соответствующая схема представлена на рис. 5.12.



Рисунок 5.12– **Реализация факторизованного покрытия**

**5.6 Переход в универсальный базис**

Как правило, системы элементов реализуют не булев базис, а базис, удобный для схемной реализации. Основой для этих базисов являются базисы И-НЕ и ИЛИ-НЕ (штрих Шеффера, стрелка Пирса). Рассмотрим переход от булева базиса к универсальным базисам И-НЕ и ИЛИ-НЕ по схемам, построенным на основе факторизованного покрытия.

1. ***Базис И-НЕ***

Элемент базиса И-НЕ, обозначается так, как показано на рис. 5.13.



А. Операция инвертирования (НЕ) реализуется при помощи элемента И-НЕ с одним входом:



Рисунок 5.14 – **Реализация операции НЕ (а) на элементе И-НЕ (б)**

Б. Для реализации операции И используется два элемента, поскольку 



В. Операция ИЛИ реализуется на основе соотношения: ,

т.е. путём подачи инвертированных значений переменных на входы элемента И-НЕ.



***Пример.*** Перевести в универсальный базис И-НЕ схему, приведённую на рис. 5.11. заменяя элементы И, ИЛИ по приведённым выше правилам, получим схему показанную на рис. 5.17.



Поскольку двойное инвертирование эквивалентно отсутствию этой операции, то схему (рис.5.17) можно упростить (рис.5.18).



Сравнивая схемы рис.5.11 и 5.18, можно сформировать следующее правило перехода из булева базиса И, ИЛИ, НЕ в универсальный базис И-НЕ.

1. Заменять все элементы булева базиса на элементы И-НE.

2. Все независимые входы, которые поступали на элементы типа ИЛИ, заменить на инверсные значения, а входы элементов типа И оставить без изменения.

3. Если выход снимался со схемы типа И, то на выходе установить инвертор; если со схемы типа ИЛИ, то инвертор не ставить.

Поскольку факторизованная схема представляет из себя чере­дование схем И и ИЛИ, то лишние инверторы не появляются.

***2. Универсальный базис ИЛИ-НЕ.***

Обозначение базисного элемента ИЛИ-НЕ показано на рис. 5.19.



Операция инвертирования НЕ реализуется при помощи элемента ИЛИ-НЕ с одним входом (рис.5.20).



Операция И реализуется на основе соотношения:

,

т.е. путём подачи инвертированных значений переменных на входы элемента ИЛИ-НЕ (рис.5.21).



Для реализации операции ИЛИ используются два элемента, поскольку  (рис. 5.22).



***Пример.*** Перевести в универсальный базис ИЛИ-НЕ схему, приведенную на рис.5.11. Заменяя элементы И, ИЛИ по приведенным выше правилам и устраняя двойное инвертирование, получим схему, показанную на рис. 5.23.

Сравнивая схемы рис. 5.11 и 5.23, можно сформулировать следующее правило перехода из булева базиса И, ИЛИ, НЕ в универсальный ИЛИ-НЕ.

1. При переходе в базис ИЛИ-НЕ все логические элементы заменяются на ИЛИ-НЕ.

2. Независимые входы элементов И инвертируются, а у элементов ИЛИ остаются без изменения.

3. На выходе схемы устанавливается инвертор, если выход сни­мался со схемы ИЛИ.



**6. РЕЛАКСАЦИОННЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ**

**6.1 Мультивибраторы на транзисторах**

Принципиальная схема симметричного автоколебательного мультивибратора на биполярных транзисторах приведена на рис. 6.1, а. Работа мультивибратора в течение одного периода колебаний представлена на временных диаграммах рис. 6.1,б. Для наглядности предполагается, что переход схемы из одного состояния в другое осуществляется мгновенно.



Из рис 6.1,б видно, что время нахождения схемы в одном из квазиустойчивых состояний определяется временем разряда соответствующего конденсатора через открытый транзистор и базовый резистор. Основные расчетные формулы см. в [1].

Длительность выходного импульса

Длительность паузы между двумя соседними импульсами

При выполнении условий будем иметь:

Длительность положительного фронта выходного импульса при запирании транзистора VТ2

. (6.5)

Условие насыщения открытого транзистора

Обычно принимают (6.6)

Максимальная скважность последовательности выходных импульсов

**6.2 Мультивибраторы на интегральных микросхемах**

Схема несимметричного МВ на ОУ приведена на рис. 6.2,а. Автоколебательный режим работы создается благодаря подключению к инвертирующему воду ОУ времязадающей цепи, состоящей из конденсатора С и двух параллельных ветвей: R1, VD1 и R2, VD2.

Предположим, что в момент времени t1 на ОУ подали напряжение питания. Выходное напряжение Uвых=+Uвых.м (случайный процесс).Тогда на неинвертирующем входе ОУ благодаря положительной обратной связи напряжение Uн= Uoc=U+=+γ·Uвых.м (рис.6.2,б), где γ=R3/(R3+R4) – коэффициент передачи цепи положительной обратной связи. Напряжение на инвертирующем входе Uи=Uc=0. Напряжение между входами ОУ U0= Uи - Uн = Uc -U+ < 0. Наличие на выходе напряжения - +Uвых.м обуславливает процесс заряда конденсатора С через резистор R1 (диод VD1- открыт, а VD2-заперт). В момент времени t2 экспотенциально изменяющееся напряжение на инвертирующем входе ОУ (рис. 6.2,б) достигает напряжения на неинвертирующем входе – U+. Напряжение U0 становится равным нулю, что вызывает изменение полярности напряжения на выходе ОУ: Uвых=-Uвых.м. Напряжение на неинвертирующем входе благодаря положительной обратной связи меняет свой знак: Uoc=U-=- γ·Uвых.м, что соответствует U0> 0.

С момента времени t2 диод VD1 закрывается, а VD2- открывается. Начинает перезаряжаться конденсатор С через R2 от уровня напряжения – U+. Конденсатор стремится перезарядиться до уровня –Uвых.м. В момент времени t3 напряжение на конденсаторе достигает значения U-. Напряжение U0 становится равным нулю, что вызывает переключение ОУ в противоположное состояние. Далее процессы в схеме протекают аналогично.

В схеме мультивибратора на ОУ (рис. 6.2) время импульса определяется:  *tи = R1· C ln (1 + 2R4/R3),* (6.8)

а время паузы: *tп= R2· C ln (1+ 2R4/R3).* (6.9)



**Мультивибратор, работающий в ждущем режиме (одновибратор)**, является формирователем одиночного импульса прямоугольной формы и фиксированной длительности, возникающего на выходе при поступлении на вход запускающего короткого импульса. Одновибратор применяется либо в качестве формирователя прямоугольных импульсов, либо в качестве узла задержки импульсов на заданное время.

Схема одновибратора на ОУ приведена на рис. 6.3. Схема содержит конденсатор С1, связанный с выходом компаратора на ОУ через резистор R1. В качестве компаратора использована хорошо знакомая схема с положительной обратной связью через цепочку R3R4. Микросхема ОУ выполняет в одновибраторе несколько функций: компаратора, источника напряжения для заряда конденсатора и ключа, так как коммутация цепей заряда и разряда конденсатора осуществляется при переключении компаратора. Диод VD1 служит для фиксации начального напряжения на конденсаторе *Uc*(0). Элементы C2, R4, R5, VD2 составляют цепь запуска, через них на схему поступает запускающий импульс Uвх. Цепочка C2R2 является дифференцирующей.

Временные диаграммы напряжений схемы одновибратора приведены на рис. 6.3 б. С работой схемы подробнее можно озакомиться в [1].



Для схемы одновибратора на ОУ (рис.6.3) время импульса

определяется:  *tи = R1C1ln (1+ R4/R3 )* (6.10)

а время восстановления:  *tвос = R1C1ln(( 2R4+ R3) /(R3 + R4* (6.11)

* 1. **Примеры**

***Пример 1.*** Рассчитать схему автоколебательного мультивибратора, генерирующего прямоугольные импульсы с амплитудой Uвых=10 В, длительностью tи = 100 мкс и частотой F = 1,2 кГц. Нагрузка Rн с сопротивлением 10 кОм включена между коллекторами транзисторов и «землей». Диапазон температур окружающей среды 20 … 60 0С. Нестабильность рабочей частоты при изменении температуры не должна превышать 12%.

***Решение***

1. Определяем скважность выходного сигнала:
2. По формуле (6.6) находим минимальный коэффициент усиления транзистора по току:
3. Полагая ориентировочно, что Ek=1.2Uвых, из условия Uкб.доп>2Ек, (см. временные диаграммы рис. 6.1,6) найдем максимально допустимое коллекторное напряжение закрытого транзистора

Uкб.доп≥2(1,2Uвых)=2∙1,2∙10=24 В

1. На основании п. 2 и 3 выбираем транзистор типа КТ315Г, имеющий следующие параметры: β=50–350, Uкб.доп= 35 В, Iк.доп = 100 мА, Iок= 1 мкА при Т = +250С, Fгр = 250 МГц.
2. Выбираем ток коллектора насыщения Iкн открытого транзистора. Из условия Iкн ≤ Iк.доп . Выбираем Iкн=50 мА. Следует заметить, что задание мощности потребления схемы P0 = Ек∙ Iкн накладывает дополнительное ограничение на ток.
3. Определяем сопротивление резистора в коллекторной цепи:
4. Уточняем напряжение источника питания:

Принимаем Ек=11 В.

1. Из формулы (6.6) находим сопротивление резисторов в базовых цепях транзисторов:

Принимаем R=0,8∙βminRk=0,8∙50∙0,24=9,6 кОм. Стандартное значениеR=10кОм

1. Определяем величину конденсаторов:

По ряду Е24 принимаем стандартное значение 150 нФ.

Принимаем стандартное значение С2=0,1 мкФ.

1. Скорость нарастания фронта импульса:

.

***Пример 2.*** Рассчитать автоколебательный мультивибратор на операционном усилителе (см. рис. 6.2,а) генерирующий знакопеременные импульсы, амплитуда, скважность и частота которых Uвых> 8 В, Q=2 и F =10 кГц соответственно. Сопротивление нагрузи Rн = 10 кОм.

***Решение***

1. Выбираем операционный усилитель типа К140УД7, параметры которого удовлетворяют условиям:

,

где ± 10,5 В — максимальное выходное напряжение операционного усилителя; = 10 В/мкс – скорость нарастания выходного напряжения;   =3,2 В/мкc – скорость нарастания выходного напряжения на значение за время 0,1∙ (Т/2) = 10(2F).

2. Из условий Q=2 вытекает что tи = tп, следовательно R1= R2 = R. Тогда: Rвых.оу >> R, γ= R4/(R3+R4)<<1 R4>>Rвых.оу [15] выбираем сопротивления резисторов: R = 10 кОм, R4  = 10 кОм, R3 = 100 кОм.

3. Определим максимальный выходной ток операционного усилителя в схеме мультивибратора. Ток времязадаюшего конденсатора изменяется по мере перезаряда конденсатора и достигает максимального значения

Ток цепи смешения через резисторы R3 и R2

Максимальный ток через нагрузку:

Максимальный выходной ток операционного усилителя в схеме мультивибратора не должен превышать максимально допустимого для данного типа ОУ значения Iвых.доп=5 мА, т.е Imax=0,872+0,073+0,8=1,75мА< Iвых.доп.

4. Используя формулу 6.8 и учитывая что tи = tп =Т/2 =2/F определим емкость времязадающего конденсатора:

Из условия: Iдоп>=0,872 мА, Uобр.мах>2Uвых.мах=2∙10,5=21 В выберем диоды VD1, VD2 марки 2Д502А с параметрами: Iдоп=20 мА, Uобр.мах=30 В.

**6.4 Варианты заданий для самостоятельной работы**

1. Рассчитать схему автоколебательного мультивибратора транзисторах, генерирующего прямоугольные импульсы с амплитудой Uвых= –10 В, длительностью tи = 3·10-4 с и периодом T= 10·10-4 c.

2. Рассчитать схему автоколебательного мультивибратора транзисторах, генерирующего прямоугольные импульсы с параметрами Uп= +12 В, длительностью tи = 2·10-3 с и периодом T= 12·10-3 c.

3. Рассчитать схему автоколебательного мультивибратора транзисторах, генерирующего прямоугольные импульсы с амплитудой Uвых= +5 В, длительностью tи = 10·10-4 с и частотой 500 Гц.

4. Рассчитать схему автоколебательного мультивибратора на операционном усилителе, генерирующего прямоугольные импульсы с амплитудой Uвых= ±10 В, длительностью tи = 10-4 с и периодом T= 3·10·10-4 c.

5. Рассчитать схему автоколебательного мультивибратора на операционном усилителе с параметрами:  напряжение питания Uп= ±15 В, tи = 3·10-5с и частотой 12,5 кГц.

6. Рассчитать схему автоколебательного симметричного мультивибратора транзисторах, генерирующего прямоугольные импульсы с амплитудой Uвых= –5 В и периодом T= 10·10-3 c.

7. Составить схему и рассчитать схему ждущего мультивибратора на транзисторах с эмиттерной связью, генерирующего прямоугольные импульсы с амплитудой Uвых= –10 В, длительностью tи = 1·10-4 с и минимальным периодом повторения T= 50·10-4 c.

8 Составить схему и рассчитать схему ждущего мультивибратора на транзисторах с эмиттерной связью, генерирующего прямоугольные импульсы с амплитудой Uвых=10 В, длительностью tи = 20 мкс и минимальным периодом повторения T= 100 мкс.

9. Составить схему и рассчитать схему ждущего мультивибратора на операционном усилителе, генерирующего прямоугольные импульсы с амплитудой Uвых= –5 В, длительностью tи = 40·10-4 с и минимальным периодом повторения T= 150·10-4 c.

10. Составить схему и рассчитать схему ждущего мультивибратора на операционном усилителе, генерирующего прямоугольные импульсы с амплитудой Uвых= +10 В, длительностью tи = 6 мкс и минимальным периодом повторения T=30 мкc.

### 7 ЗАДАНИЕ НА РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКУЮ РАБОТУ

Расчетно-графическая работа (РГР) состоит из трех разделов:

Раздел 1. Расчет усилителя напряжения на биполярном транзисторе.

1.1 Исходное задание.

1.2 Схема усилителя напряжения. Назначение элементов и принцип работы.

1.3 Расчет схемы.

Раздел 2. Расчет схемы на операционном усилителе

* 1. Исходное задание.
  2. Схема устройства на ОУ. Назначение элементов и принцип работы.
  3. Расчет схемы.

Раздел 3. Синтез логической функциональной схемы

3.1 Исходное задание.

3.2 Минимизация функции.

3.3 Факторизация минимизированной функции.

3.4 Построение функциональной схемы в булевом базисе.

3.5 Перевод схемы в универсальный базис.

3.6 Построение схемы в универсальном базисе.

Пояснительная записка РГР оформляется на листах формата А4 с записью с одной стороны. Каждый раздел записки начинается с нового листа. Текст РГР и графика должны быть оформлены аккуратно и разборчиво.

В разделах «**Схема усилителя (устройства). Назначение элементов и принцип работы схемы**» приводится рисунок схемы, выполненный чертежными инструментами с соблюдением правил построения чертежей электрических схем, подробно излагается конкретное для данной схемы назначение каждого элемента. Принцип работы описывается на уровне токов и напряжений. При этом указываются режимы работы и схемы включения активных элементов.

Разделы «**Расчет схемы**» являются основными в записке. Их изложение целесообразно вести по пунктам. Все пункты расчета должны содержать подробные текстовые обоснования и пояснения. Формулы должны быть пронумерованы, численные значения параметров рассчитанных величин должны сопровождаться обозначениями размерностей. Список литературы должен содержать названия источников, которые были использованы при выполнении работы. На все использованные источники должны быть ссылки в тексте записки.

**Исходные данные и варианты заданий РГР приведены в приложениях А, Б, В.**

**Список рекомендуемой литературы**

1.Глудкин О.П. Аналоговая и цифровая электроника. (Полный курс): учебник для вузов. Ю.Ф Опадчий [и др},– М.: Горячая линия – Телеком, 2005. – 768 с.

2. Лачин, В.И. Электроника: учеб. пособие. 3-е изд., перераб. и доп. В.И. Лачин, Н.С. Савелов.– Ростов на Дону: «Феникс», 2002. – 576 с.

3. Волович, Г.И. Схемотехника аналоговых и аналого-ци-фровых электронных устройств. – М.: ДОДЕКА-XXI, 2005. – 528 с.

4. Степаненко, И.П. Основы микроэлектроники: учеб. пособие для вузов. – М.: Лаборатория базовых знаний, 2001. – 488 c.

5. Расчет электронных схем: Примеры и задачи / Г.И. Изъюрова, Г.В.Королев [и др]. - М.: Высш. школа, 1987. - 335с.

6. Проектирование усилительных устройств на транзис­торах. / Под ред. Г.В. Войшилло. - М.: Связь, 1972. - 184 с.

7. Полупроводниковые приборы: Транзисторы. Справочник / Под ред. Н.Н. Горюнова. - М.: Энергоатомиздат, 1985. - 904с.

8. Интегральные микросхемы. Справочник. / Под ред. Б.В. Тарабрина. - M.: Радио и связь, 1984. -528 с.

9. Аналоговые и цифровые интегральные микросхемы. Справочное пособие / Под ред. С.В. Якубовского. - М.: Радио и связь, 1985. - 432 с.

**Приложение А**

### Таблица А.1– Варианты заданий по разделу 1

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **№ вар** | **Егm, В** | **Rr, Ом** | **Uнm, В** | **Rн, Ом** | **ƒн, Гц** | **Мн** |
| 1 | 0,2 | 50 | 1 | 500 | 20 | 1,4 |
| 2 | 0,25 | 75 | 1,2 | 750 | 30 | 1,5 |
| 3 | 0,3 | 100 | 1,4 | 1000 | 40 | 1,6 |
| 4 | 0,35 | 125 | 1,6 | 1250 | 50 | 1,4 |
| 5 | 0,4 | 150 | 1,8 | 1500 | 20 | 1,5 |
| 6 | 0,45 | 175 | 2,0 | 500 | 30 | 1,6 |
| 7 | 0,5 | 200 | 1 | 750 | 40 | 1,4 |
| 8 | 0,55 | 50 | 1,2 | 1000 | 50 | 1,5 |
| 9 | 0,2 | 75 | 1,4 | 1250 | 20 | 1,6 |
| 10 | 0,25 | 100 | 1,6 | 1500 | 30 | 1,4 |
| 11 | 0,3 | 125 | 1,8 | 500 | 40 | 1,5 |
| 12 | 0,35 | 150 | 2,0 | 750 | 50 | 1,6 |
| 13 | 0,4 | 175 | 1 | 1000 | 20 | 1,4 |
| 14 | 0,45 | 200 | 1,2 | 1250 | 30 | 1,5 |
| 15 | 0,5 | 50 | 1,4 | 1500 | 40 | 1,6 |
| 16 | 0,55 | 75 | 1,6 | 500 | 50 | 1,4 |
| 17 | 0,2 | 100 | 1,8 | 750 | 20 | 1,5 |
| 18 | 0,25 | 125 | 2,0 | 1000 | 30 | 1,6 |
| 19 | 0,3 | 150 | 1 | 1250 | 40 | 1,4 |
| 20 | 0,35 | 175 | 1,2 | 1500 | 50 | 1,5 |
| 21 | 0,4 | 200 | 1,4 | 500 | 20 | 1,6 |
| 22 | 0,45 | 50 | 1,6 | 750 | 30 | 1,4 |
| 23 | 0,5 | 75 | 1,8 | 1000 | 40 | 1,5 |
| 24 | 0,55 | 100 | 2,0 | 1250 | 50 | 1,6 |
| 25 | 0,2 | 125 | 1 | 1500 | 20 | 1,4 |
| 26 | 0,25 | 150 | 1,2 | 500 | 30 | 1,5 |
| 27 | 0,3 | 175 | 1,4 | 750 | 40 | 1,6 |
| 28 | 0,35 | 200 | 1,6 | 1000 | 50 | 1,4 |
| 29 | 0,4 | 50 | 1,8 | 1250 | 20 | 1,5 |
| 30 | 0,45 | 75 | 2,0 | 1500 | 30 | 1,6 |
| 31 | 0,5 | 100 | 1 | 500 | 40 | 1,4 |
| 32 | 0,55 | 125 | 1,2 | 750 | 50 | 1,5 |
| 33 | 0,2 | 150 | 1,4 | 1000 | 20 | 1,6 |
| 34 | 0,25 | 175 | 1,6 | 1250 | 30 | 1,4 |
| 35 | 0,3 | 200 | 1,8 | 1500 | 40 | 1,5 |
| 36 | 0,35 | 50 | 2,0 | 500 | 50 | 1,6 |
| 37 | 0,4 | 75 | 1 | 750 | 20 | 1,4 |
| 38 | 0,45 | 100 | 1,2 | 1000 | 30 | 1,5 |
| 39 | 0,5 | 125 | 1,4 | 1250 | 40 | 1,6 |
| 40 | 0,2 | 100 | 1 | 500 | 40 | 1,4 |
| 41 | 0,25 | 50 | 1,2 | 750 | 50 | 1,5 |
| 42 | 0,3 | 75 | 1 | 1000 | 20 | 1,6 |
| 43 | 0,35 | 100 | 1,2 | 500 | 30 | 1,4 |
| 44 | 0,4 | 125 | 1,4 | 750 | 20 | 1,5 |

Продолжение таблицы А1

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **№**  **вар** | **Егm, В** | **Rr, Ом** | **Uнm, В** | **Rн, Ом** | **ƒн, Гц** | **Мн** |
| 45 | 0,45 | 150 | 1,6 | 1000 | 30 | 1,4 |
| 46 | 0,5 | 175 | 1,8 | 1250 | 40 | 1,5 |
| 47 | 0,55 | 200 | 2,0 | 1500 | 50 | 1,6 |
| 48 | 0,2 | 50 | 1 | 500 | 20 | 1,4 |
| 49 | 0,25 | 75 | 1,2 | 750 | 30 | 1,5 |
| 50 | 0,3 | 100 | 1,4 | 1000 | 40 | 1,6 |
| 51 | 0,35 | 125 | 1,6 | 1250 | 50 | 1,4 |
| 52 | 0,4 | 150 | 1,8 | 1500 | 20 | 1,5 |
| 53 | 0,45 | 175 | 2,0 | 500 | 30 | 1,6 |
| 54 | 0,5 | 200 | 1 | 750 | 40 | 1,4 |
| 55 | 0,55 | 50 | 1,2 | 1000 | 50 | 1,5 |
| 56 | 0,2 | 75 | 1,4 | 1250 | 20 | 1,6 |
| 57 | 0,25 | 100 | 1,6 | 1500 | 30 | 1,4 |
| 58 | 0,3 | 125 | 1,8 | 500 | 40 | 1,5 |
| 59 | 0,35 | 150 | 2,0 | 750 | 50 | 1,6 |
| 60 | 0,4 | 175 | 1 | 1000 | 20 | 1,4 |
| 61 | 0,45 | 200 | 1,2 | 1250 | 30 | 1,5 |
| 62 | 0,5 | 50 | 1,4 | 1500 | 40 | 1,6 |
| 63 | 0,55 | 75 | 1,6 | 500 | 50 | 1,4 |
| 64 | 0,2 | 100 | 1,8 | 750 | 20 | 1,5 |
| 65 | 0,25 | 125 | 2,0 | 1000 | 30 | 1,6 |
| 66 | 0,3 | 150 | 1 | 1250 | 40 | 1,4 |
| 67 | 0,35 | 175 | 1,2 | 1500 | 50 | 1,5 |
| 68 | 0,4 | 200 | 1,4 | 500 | 20 | 1,6 |
| 69 | 0,45 | 50 | 1,6 | 750 | 30 | 1,4 |
| 70 | 0,5 | 75 | 1,8 | 1000 | 40 | 1,5 |
| 71 | 0,55 | 100 | 2,0 | 1250 | 50 | 1,6 |
| 72 | 0,2 | 125 | 1 | 1500 | 20 | 1,4 |
| 73 | 0,25 | 150 | 1,2 | 500 | 30 | 1,5 |
| 75 | 0,3 | 175 | 1,4 | 750 | 40 | 1,6 |
| 76 | 0,35 | 200 | 1,6 | 1000 | 50 | 1,4 |
| 77 | 0,4 | 50 | 1,8 | 1250 | 20 | 1,5 |
| 78 | 0,45 | 75 | 2,0 | 1500 | 30 | 1,6 |
| 79 | 0,5 | 100 | 1,0 | 500 | 40 | 1,4 |
| 80 | 0,2 | 75 | 1,8 | 500 | 20 | 1,4 |
| 81 | 0,25 | 100 | 2,0 | 750 | 30 | 1,5 |
| 82 | 0,3 | 50 | 1 | 1000 | 40 | 1,6 |
| 83 | 0,35 | 75 | 1,2 | 500 | 50 | 1,4 |
| 84 | 0,4 | 100 | 1 | 750 | 20 | 1,5 |
| 85 | 0,45 | 125 | 1,2 | 1000 | 30 | 1,4 |
| 86 | 0,5 | 150 | 1,4 | 1250 | 20 | 1,5 |
| 87 | 0,55 | 175 | 1,6 | 1500 | 30 | 1,6 |
| 88 | 0,2 | 200 | 1,8 | 500 | 40 | 1,4 |
| 89 | 0,25 | 50 | 2,0 | 750 | 50 | 1,5 |

Окончание таблицы А1

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **№** | **Егm, В** | **Rr, Ом** | **Uнm, В** | **Rн, Ом** | **ƒн, Гц** | **Мн** |
| 90 | 0,3 | 75 | 1 | 1000 | 20 | 1,6 |
| 91 | 0,35 | 100 | 1,2 | 1250 | 30 | 1,4 |
| 92 | 0,4 | 125 | 1,4 | 1500 | 40 | 1,5 |
| 93 | 0,45 | 150 | 1,6 | 500 | 50 | 1,6 |
| 94 | 0,5 | 175 | 1,8 | 750 | 20 | 1,4 |
| 95 | 0,55 | 200 | 2,0 | 1000 | 30 | 1,5 |
| 96 | 0,2 | 50 | 1 | 1250 | 40 | 1,6 |
| 97 | 0,25 | 75 | 1,2 | 1500 | 50 | 1,4 |
| 98 | 0,3 | 100 | 1,4 | 500 | 20 | 1,5 |
| 99 | 0,35 | 125 | 1,6 | 750 | 30 | 1,6 |
| 100 | 0,4 | 150 | 1,8 | 1000 | 40 | 1,4 |

**Приложение Б**

Таблица Б1– **Варианты заданий по разделу 2**

| **№**  **вар** | **Схема**  **рис.** | **RG1, кОм** | **RG2, кОм** | **КU1** | **КU2** | **Тmax,°С** | **D, дБ** | **Fн, Гц** | **Мн** |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 | 3,а | 5 | - | 5 | - | 30 | 24 | - | - |
| 2 | 3,б | 10 | - | 10 | - | 40 | 26 | - | - |
| 3 | 4,а | 15 | 5 | 12 | 5 | 50 | 28 | - | - |
| 4 | 4,б | 20 | - | 15 | - | 30 | 30 | 10 | 1,3 |
| 5 | 5 | 25 | - | 20 | - | 40 | 24 | 20 | 1,4 |
| 6 | 3,а | 30 | - | 25 | **-** | **50** | 26 | - | - |
| 7 | 3,б | 35 | - | 30 | - | 30 | 28 | - | - |
| 8 | 4,а | 40 | 10 | 5 | 10 | 40 | 30 | - | - |
| 9 | 4,б | 5 | - | 10 | - | 50 | 24 | 30 | 1,5 |
| 10 | 5 | 10 | - | 12 | - | 30 | 26 | 40 | 1,3 |
| 11 | 3,а | 15 | - | 15 | - | 40 | 28 | - | - |
| 12 | 3,б | 20 | - | 20 | - | 50 | 30 | - | - |
| 13 | 4,а | 25 | 15 | 25 | 12 | 30 | 24 | - | - |
| 14 | 4,б | 30 | - | 30 | - | 40 | 26 | 50 | 1,4 |
| 15 | 5 | 35 | - | 5 | - | 50 | 28 | 60 | 1,5 |
| 16 | 3,а | 40 | - | 10 | - | 30 | 30 | - | - |
| 17 | 3,б | 5 | - | 12 | - | 40 | 24 | - | - |
| 18 | 4,а | 10 | 20 | 15 | 15 | 50 | 26 | - | - |
| 19 | 4,б | 15 | - | 20 | - | 30 | 28 | 10 | 1,3 |
| 20 | 5 | 20 | - | 25 | - | 40 | 30 | 20 | 1,4 |
| 21 | 3,а | 25 | - | 30 | - | 50 | 24 | - | - |
| 22 | 3,б | 30 | - | 5 | - | 30 | 26 | - | - |
| 23 | 4,а | 35 | 25 | 10 | 20 | 40 | 28 | - | - |
| 24 | 4,б | 40 | - | 12 | - | 50 | 30 | 30 | 1,5 |
| 25 | 5 | 5 | - | 15 | - | 30 | 24 | 40 | 1,3 |
| 26 | 3,а | 10 | - | 20 | - | 40 | 26 | - | - |
| 27 | 3,б | 15 | - | 25 | - | 50 | 28 | - | - |
| 28 | 4,а | 20 | 30 | 30 | 22 | 30 | 30 | - | - |
| 29 | 4,б | 25 | - | 5 | - | 40 | 24 | 50 | 1,4 |

Продолжение таблицы Б1

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **№**  **вар** | **Схема**  **рис.** | **RG1, кОм** | **RG2, кОм** | **КU1** | **КU2** | **Тmax,°С** | **D, дБ** | **Fн, Гц** | **Мн** |
| 30 | 5 | 30 | - | 10 | - | 50 | 26 | 60 | 1,5 |
| 31 | 3,а | 35 | - | 12 | - | 30 | 28 | - | - |
| 32 | 3,б | 40 | - | 15 | - | 40 | 30 | - | - |
| 33 | 4,а | 5 | 35 | 20 | 25 | 50 | 24 | - | - |
| 34 | 4,б | 10 | - | 25 | - | 30 | 26 | 10 | 1,3 |
| 35 | 5 | 15 | - | 30 | - | 40 | 28 | 20 | 1,4 |
| 36 | 3,а | 20 | - | 5 | - | 50 | 30 | - | - |
| 37 | 3,б | 25 | - | 10 | - | 30 | 24 | - | - |
| 38 | 4,а | 30 | 40 | 12 | 30 | 40 | 26 | - | - |
| 39 | 4,б | 40 | - | 10 | - | 45 | 26 | 10 | 1,4 |
| 40 | 3,а | 35 | - | 10 | - | 30 | 24 | - | - |
| 41 | 3,б | 5 | - | 20 | - | 40 | 26 | - | - |
| 42 | 4,а | 10 | 5 | 5 | 5 | 50 | 28 | - | - |
| 43 | 4,б | 15 | - | 10 | - | 30 | 30 | 10 | 1,3 |
| 44 | 5 | 20 | - | 12 | - | 40 | 24 | 20 | 1,4 |
| 45 | 3,а | 25 | - | 15 | - | 50 | 26 | - | - |
| 46 | 3,б | 30 | - | 20 | - | 30 | 28 | - | - |
| 47 | 4,а | 35 | 10 | 25 | 10 | 40 | 30 | - | - |
| 48 | 4,б | 40 | - | 30 | - | 50 | 24 | 30 | 1,5 |
| 49 | 5 | 5 | - | 5 | - | 30 | 26 | 40 | 1,3 |
| 50 | 3,а | 10 | - | 10 | - | 40 | 28 | - | - |
| 51 | 3,б | 15 | - | 12 | - | 50 | 30 | - | - |
| 52 | 4,а | 20 | 15 | 15 | 12 | 30 | 24 | - | - |
| 53 | 4,б | 25 | - | 20 | - | 40 | 26 | 50 | 1,4 |
| 54 | 5 | 30 | - | 25 | - | 50 | 28 | 60 | 1,5 |
| 55 | 3,а | 35 | - | 30 | - | 30 | 30 | - | - |
| 56 | 3,б | 40 | - | 5 | - | 40 | 24 | - | - |
| 57 | 4,а | 5 | 20 | 10 | 15 | 50 | 26 | - | - |
| 58 | 4,б | 10 | - | 12 | - | 30 | 28 | 10 | 1,3 |
| 59 | 5 | 15 | - | 15 | - | 40 | 30 | 20 | 1,4 |
| 60 | 3,а | 20 | - | 20 | - | 50 | 24 | - | - |
| 61 | 3,б | 25 | - | 25 | - | 30 | 26 | - | - |
| 62 | 4,а | 30 | 25 | 30 | 20 | 40 | 28 | - | - |
| 63 | 4,б | 35 | - | 5 | - | 50 | 30 | 30 | 1,5 |
| 64 | 5 | 40 | - | 10 | - | 30 | 24 | 40 | 1,3 |
| 65 | 3,а | 5 | - | 12 | - | 40 | 26 | - | - |
| 66 | 3,б | 10 | - | 15 | - | 50 | 28 | - | - |
| 67 | 4,а | 15 | 30 | 20 | 22 | 30 | 30 | - | - |
| 68 | 4,б | 20 | - | 25 | - | 40 | 24 | 50 | 1,4 |
| 69 | 5 | 25 | - | 30 | - | 50 | 26 | 60 | 1,5 |
| 70 | 3,а | 30 | - | 5 | - | 30 | 28 | - | - |
| 71 | 3,б | 35 | - | 10 | - | 40 | 30 | - | - |
| 72 | 4,а | 40 | 35 | 12 | 25 | 50 | 24 | - | - |
| 73 | 4,б | 5 | - | 15 | - | 30 | 26 | 10 | 1,3 |
| 74 | 5 | 10 | - | 20 | - | 40 | 28 | 20 | 1,4 |

Продолжение таблицы Б1

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **№**  **вар** | **Схема**  **рис.** | **RG1, кОм** | **RG2, кОм** | **КU1** | **КU2** | **Тmax,°С** | **D, дБ** | **Fн, Гц** | **Мн** |
| 75 | 3,а | 15 | - | 25 | - | 50 | 30 | - | - |
| 76 | 3,б | 20 | - | 30 | - | 30 | 24 | - | - |
| 77 | 4,а | 25 | 40 | 5 | 30 | 40 | 26 | - | - |
| 78 | 4,б | 30 | - | 10 | - | 50 | 28 | 30 | 1,5 |
| 79 | 3,а | 20 | - | 15 | - | 30 | 26 | - | - |
| 80 | 3,а | 20 | - | 10 | - | 50 | 24 | - | - |
| 81 | 3,б | 35 | - | 20 | - | 30 | 26 | - | - |
| 82 | 4,а | 5 | 5 | 5 | 5 | 40 | 28 | - | - |
| 83 | 4,б | 10 | - | 10 | - | 50 | 30 | 10 | 1,3 |
| 84 | 5 | 15 | - | 12 | - | 30 | 24 | 20 | 1,4 |
| 85 | 3,а | 20 | - | 15 | - | 40 | 26 | - | - |
| 86 | 3,б | 25 | - | 20 | - | 50 | 28 | - | - |
| 87 | 4,а | 30 | 10 | 25 | 10 | 30 | 30 | - | - |
| 88 | 4,б | 35 | - | 30 | - | 40 | 24 | 30 | 1,5 |
| 89 | 5 | 40 | - | 5 | - | 50 | 26 | 40 | 1,3 |
| 90 | 3,а | 5 | - | 10 | - | 30 | 28 | - | - |
| 91 | 3,б | 10 | - | 12 | - | 40 | 30 | - | - |
| 92 | 4,а | 15 | 15 | 15 | 12 | 50 | 24 | - | - |
| 93 | 4,б | 20 | - | 20 | - | 30 | 26 | 50 | 1,4 |
| 94 | 5 | 25 | - | 25 | - | 40 | 28 | 60 | 1,5 |
| 95 | 3,а | 30 | - | 30 | - | 50 | 30 | - | - |
| 96 | 3,б | 35 | - | 5 | - | 30 | 24 | - | - |
| 97 | 4,а | 40 | 20 | 10 | 15 | 40 | 26 | - | - |
| 98 | 4,б | 5 | - | 12 | - | 50 | 28 | 10 | 1,3 |
| 99 | 5 | 10 | - | 15 | - | 30 | 30 | 20 | 1,4 |
| 100 | 3,а | 15 | - | 20 | - | 40 | 24 | - | - |

**Приложение В**

Таблица В1-**Наборы логических переменных**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **№** | **Набор** | **№** | **Набор** |
| 1 | 000Х1 | 41 | 0011Х |
| 2 | 00100 | 42 | 0Х1Х1 |
| 3 | 01000 | 43 | 1Х001 |
| 4 | 000Х0 | 44 | 001Х0 |
| 5 | 1Х011 | 45 | 10Х01 |
| 6 | 01100 | 46 | ХХ00Х |
| 7 | Х0110 | 47 | Х0Х10 |
| 8 | 11111 | 48 | 10000 |
| 9 | ХХ010 | 49 | 10010 |
| 10 | 10Х10 | 50 | 1ХХ00 |
| 11 | ХХ010 | 51 | 0100Х |
| 12 | 01Х01 | 52 | 100ХХ |
| 13 | 01111 | 53 | ХХ110 |
| 14 | 01ХХ0 | 54 | 0Х1Х1 |
| 15 | 1Х1Х1 | 55 | 0000Х |

Окончание таблицы В1

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 16 | 11Х01 | 56 | Х0Х00 |
| 17 | 01011 | 57 | 11ХХ1 |
| 18 | 111ХХ | 58 | 1ХХ10 |
| 19 | 0Х000 | 59 | 10001 |
| 20 | 00011 | 60 | 1111Х |
| 21 | Х100Х | 61 | Х10Х1 |
| 22 | Х110Х | 62 | Х011Х |
| 23 | 10Х01 | 63 | 10110 |
| 24 | 101ХХ | 64 | 000Х1 |
| 25 | Х11Х1 | 65 | 010Х0 |
| 26 | 00Х00 | 66 | Х1101 |
| 27 | 0101Х | 67 | 10101 |
| 28 | Х010Х | 68 | 1101Х |
| 29 | Х0110 | 69 | 1Х111 |
| 30 | 01Х01 | 70 | 1Х11Х |
| 31 | Х000Х | 71 | 1Х110 |
| 32 | ХХ000 | 72 | 011Х0 |
| 33 | ХХ101 | 73 | 0011Х |
| 34 | 0Х001 | 74 | 101Х1 |
| 35 | ХХ111 | 75 | 00Х0Х |
| 36 | Х0011 | 76 | 11ХХ0 |
| 37 | 11011 | 77 | 0Х010 |
| 38 | Х111Х | 78 | 01011 |
| 39 | 00ХХ0 | 79 | 01Х00 |
| 40 | 101Х0 | 80 | Х0Х01 |

Таблица В2- **Варианты заданий по разделу 3**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **№** | **№№ строк** | **Базис** | **№** | **№№ строк** | **Базис** |
| 1 | 10,9,73,25,33,56 | И-НЕ | 21 | 75,48,28,46,9,49 | ИЛИ-НЕ |
| 2 | 76,52,1,35, 34,5 | ИЛИ-НЕ | 22 | 12,56,21,73,79,64 | И-НЕ |
| 3 | 67,35,48,76,80,8 | И-НЕ | 23 | 57,53,3,52,47,78 | ИЛИ-НЕ |
| 4 | 17,39,29,27,49,37 | ИЛИ-НЕ | 24 | 35,80,42,60,52,3 | И-НЕ |
| 5 | 54,20,48,5,64,47 | И-НЕ | 25 | 44,35,27,38,70,52 | ИЛИ-НЕ |
| 6 | 42,94,80,52,40,37 | ИЛИ-НЕ | 26 | 1,77,67,14,56,22 | И-НЕ |
| 7 | 20,63,61,4,2,29 | И-НЕ | 27 | 10,5,58,60,9,34 | ИЛИ-НЕ |
| 8 | 16,65,8,42,26,53 | ИЛИ-НЕ | 28 | 33,50,7,37,11,80 | И-НЕ |
| 9 | 20,25,60,15,33,47 | И-НЕ | 29 | 50,54,31,39,80,77 | ИЛИ-НЕ |
| 10 | 64,35,8,3,36,6 | ИЛИ-НЕ | 30 | 32,50,72,56,48,29 | И-НЕ |
| 11 | 1,29,9,37,67,7 | И-НЕ | 31 | 40,52,42,1,77,56 | ИЛИ-НЕ |
| 12 | 15,38,31,13,11,65 | ИЛИ-НЕ | 32 | 78,51,45,20,34,6 | И-НЕ |
| 13 | 65,67,43,4,62,76 | И-НЕ | 33 | 28,18,74,67,78,47 | ИЛИ-НЕ |
| 14 | 59,12,80,79,70,15 | ИЛИ-НЕ | 34 | 54,6,10,68,71,16 | И-НЕ |
| 15 | 73,61,47,64,3,23 | И-НЕ | 35 | 78,17,68,54,2,50 | ИЛИ-НЕ |
| 16 | 66,53,11,68,77,12 | ИЛИ-НЕ | 36 | 75,1,36,76,66,79 | И-НЕ |
| 17 | 17,14,68,77,12,33 | И-НЕ | 37 | 51,36,47,64,29,60 | ИЛИ-НЕ |
| 18 | 66,6,57,47,17,34 | ИЛИ-НЕ | 38 | 10,62,59,46,73,48 | И-НЕ |
| 19 | 7,27,68,50,36,69 | И-НЕ | 39 | 37,51,76,49,69,60 | ИЛИ-НЕ |

Окончание таблицы В2

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **№** | **№№ строк** | **Базис** | **№** | **№№ строк** | **Базис** |
| 20 | 73,61,70,65,81,33 | ИЛИ-НЕ | 40 | 28,78,56,13,68,23 | И-НЕ |
| 41 | 72,14,43,23,60,2 | И-НЕ | 71 | 19,39,74,2,39,7 | И-НЕ |
| 42 | 10,45,52,16,42,37 | ИЛИ-НЕ | 72 | 55,73,22,70,79,1 | ИЛИ-НЕ |
| 43 | 28,60,26,55,69,62 | И-НЕ | 73 | 54,17,56,11,80,33 | И-НЕ |
| 44 | 68,3,66,25,22,1 | ИЛИ-НЕ | 74 | 51,29,69,56,12,71 | ИЛИ-НЕ |
| 45 | 48,36,68,72,3,76 | И-НЕ | 75 | 55,36,4,9,53,24 | И-НЕ |
| 46 | 62,11,39,40,5,64 | ИЛИ-НЕ | 76 | 11,66,44,52,07,48 | ИЛИ-НЕ |
| 47 | 18,9,32,5,14,22 | И-НЕ | 77 | 27,59,38,17,15,39 | И-НЕ |
| 48 | 56,14,46,42,75,67 | ИЛИ-НЕ | 78 | 9,33,34,40,46,12 | ИЛИ-НЕ |
| 49 | 29,77,22,54,38,21 | И-НЕ | 79 | 33,56,48,32,47,79 | И-НЕ |
| 50 | 45,49,23,47,76,46 | ИЛИ-НЕ | 80 | 28,31,24,47,10,42 | ИЛИ-НЕ |
| 51 | 16,28,35,54,75,8 | И-НЕ | 81 | 29,53,68,70,32,30 | И-НЕ |
| 52 | 32,37,8,48,80,33 | ИЛИ-НЕ | 82 | 75,46,15,2,69,7 | ИЛИ-НЕ |
| 53 | 69,45,26,3,68,58 | И-НЕ | 83 | 49,41,38,63,79,19 | И-НЕ |
| 54 | 70,29,73,41,35,53 | ИЛИ-НЕ | 84 | 76,35,58,40,44,1 | ИЛИ-НЕ |
| 55 | 14,3,33,40,42,5 | И-НЕ | 85 | 10,51,16,15,69,38 | И-НЕ |
| 56 | 8,23,41,44,10,48 | ИЛИ-НЕ | 86 | 9,18,53,27,4,22 | ИЛИ-НЕ |
| 57 | 19,49,15,74,70,54 | И-НЕ | 87 | 8,63,4,38,73,74 | И-НЕ |
| 58 | 32,65,75,57,60,4 | ИЛИ-НЕ | 88 | 64,27,44,4,58,54 | ИЛИ-НЕ |
| 59 | 8,21,22,20,64,13 | И-НЕ | 89 | 51,58,15,6,54,19 | И-НЕ |
| 60 | 12,55,7,37,42,11 | ИЛИ-НЕ | 90 | 7,61,60,68,47,66 | ИЛИ-НЕ |
| 61 | 55,72,73,67,43,54 | И-НЕ | 91 | 46,59,73,18,2,7 | И-НЕ |
| 62 | 62,24,44,31,19,4 | ИЛИ-НЕ | 92 | 47,67,72,62,69,52 | ИЛИ-НЕ |
| 63 | 25,74,59,73,42,48 | И-НЕ | 93 | 29,6,46,64,27,12 | И-НЕ |
| 64 | 11,62,13,34,40,21 | ИЛИ-НЕ | 94 | 46,70,18,41,36,27 | ИЛИ-НЕ |
| 65 | 45,15,51,49,38,19 | И-НЕ | 95 | 60,75,76,64,20,18 | И-НЕ |
| 66 | 47,60,72,46,43,66 | ИЛИ-НЕ | 96 | 17,49,42,22,72,37 | ИЛИ-НЕ |
| 67 | 79,45,43,59,4,33 | И-НЕ | 97 | 50,58,71,34,31,78 | И-НЕ |
| 68 | 43,19,36,16,8,51 | ИЛИ-НЕ | 98 | 8,35,10,73,64,24 | ИЛИ-НЕ |
| 69 | 34,15,53,1,54,3 | И-НЕ | 99 | 27,13,66,15,73,4 | И-НЕ |
| 70 | 54,56,5,51,45,11 | ИЛИ-НЕ | 100 | 61,68,75,53,31,22 | ИЛИ-НЕ |

Учебное издание

**ЭЛЕКТРОНИКА**

**РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОННЫХ СХЕМ**

практикум для студентов, обучающихся

по направлениям «Агроинженерия» и «Теплоэнергетика и теплотехника»

(квалификация бакалавр)

Составитель:

**Покоев** Петр Николаевич

Технический редактор Е.Ф. Николаева

Компьютерный набор П.Н. Покоев

Подписано в печать \_\_\_\_\_\_\_\_2014 г.

Формат 60х84/16.

Усл.печ. л. 4,0. Уч.-изд. л. –2,65.

Тираж 80 экз. Заказ №\_\_\_\_

ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА

426069, г. Ижевск, ул. Студенческая, 11