

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования

**«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ» (ТУСУР)**

Факультет электронной техники (ФЭТ)

Н. С. Легостаев

МИКРОСХЕМОТЕХНИКА

**Методические указания
по выполнению курсового проекта**

Томск 2022

Корректор: А. Н. Миронова

Легостаев Н. С.

Микросхемотехника : методические указания по выполнению курсового проекта / Н. С. Легостаев. – Томск : Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2022. – 58 с.

Представлены общие методические указания по курсовому проектированию, определена тематика и порядок выполнения курсовых проектов, приведены требования к их содержанию и оформлению.

Для студентов направления подготовки 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника» с профилями «Промышленная электроника», «Программирование микропроцессорной техники», «Медицинская электроника».

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	4
1 Общие указания по курсовому проектированию.....	5
2 План выполнения курсового проекта.....	6
3 Требования к содержанию курсового проекта.....	7
4 Требования к оформлению курсового проекта.....	12
5 Тематика курсовых проектов	18
Литература	37
Приложение А Пример выполнения курсового проекта	38
Приложение Б Образец титульного листа	57
Приложение В Образец задания на курсовое проектирование	58

ВВЕДЕНИЕ

Курсовое проектирование по дисциплине «Микросхемотехника» является важным видом учебной работы, направленным на формирование у обучающихся знаний основных приемов синтеза микроэлектронных структур, методик расчета основных статических параметров и характеристик функциональных узлов микроэлектронных структур, умений анализировать и систематизировать результаты исследований аналоговых, цифровых и аналого-цифровых микроэлектронных структур, представлять материалы в требуемом формате в области схемотехники цифровых и аналоговых интегральных схем.

1 ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ ПО КУРСОВОМУ ПРОЕКТИРОВАНИЮ

В соответствии с Образовательным стандартом ТУСУР 01-2021 «Работы студенческие по направлениям подготовки и специальностям технического профиля. Общие требования и правила оформления» курсовой проект (КП) – это учебная работа, содержащая решения поставленной задачи по отдельной учебной дисциплине, оформленная в виде конструкторских, технологических, программных и других проектных документов.

Тематика курсового проектирования по дисциплине «Микросхемотехника» посвящена математическому моделированию, расчету и анализу цифровых и аналоговых составляющих микросхемотехники, которые обладают внутренним единством, так как совместно используются в микроэлектронных структурах и имеют единую технологическую базу. Выполнение проекта базируется на знании теоретического материала курса «Микросхемотехника», а также на знаниях и умениях, полученных обучающимися при освоении предшествующих дисциплин: «Цифровая и микропроцессорная техника», «Материалы электронной техники», «Твердотельная электроника».

2 ПЛАН ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Основные этапы выполнения курсового проекта:

1. Разработка методики определения основных статических параметров интегральной микросхемы.
2. Расчет статических параметров интегральной микросхемы.
3. Проверка полученных результатов путем имитационного моделирования с использованием стандартных программных пакетов.
4. Оформление результатов выполнения курсового проекта.

3 ТРЕБОВАНИЯ К СОДЕРЖАНИЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Структура и содержание курсового проекта устанавливаются в соответствии с требованиями Образовательного стандарта ТУСУР 01-2021 «Работы студенческие по направлениям подготовки и специальностям технического профиля. Общие требования и правила оформления».

Проект должен содержать текстовый документ и графический материал. Текстовый документ именуется «Пояснительная записка к курсовому проекту» и включает в указанной ниже последовательности:

- **титульный лист;**
- **задание (техническое задание);**
- реферат на русском языке;
- реферат на английском языке;
- сокращения, обозначения, термины и определения;
- **оглавление;**
- **введение;**
- **основную часть;**
- **заключение;**
- **список использованных источников;**
- приложения.

Обязательные структурные элементы выделены полужирным шрифтом.

К графическому материалу относят чертежи и схемы, которые представляют в составе пояснительной записки к курсовому проекту.

Образец титульного листа приведен в приложении Б. Образец задания (технического задания) представлен в приложении В.

Содержание представляет собой элемент пояснительной записки, включающий упорядоченный перечень всех материалов курсового проекта, представляемых к защите. В содержании перечисляют введение, порядковые

номера и заголовки разделов и подразделов, заключение, список использованных источников, обозначения и заголовки приложений пояснительной записки и указывают номера страниц, на которых начинаются соответствующие структурные элементы записки. При наличии самостоятельных конструкторских, технологических, программных и иных документов, помещаемых в пояснительную записку, их перечисляют в содержании с указанием обозначений и наименований.

В конце содержания перечисляют графический материал, представляемый к публичной защите, с указанием: «На отдельных листах». После обозначений приложений в скобках указывают их статус (обязательное, рекомендуемое, справочное). Номера подразделов приводят после абзацного отступа, равного двум знакам, относительно номеров разделов. При необходимости продолжения записи заголовок раздела или подраздела на второй (последующей) строке его начинают на уровне начала этого заголовка на первой строке, а при продолжении записи заголовок приложения – на уровне записи обозначения этого приложения. Размещают содержание после технического задания, в рамке формы 2 – первый лист и в рамках формы 2а – второй и последующие листы. Заголовок «СОДЕРЖАНИЕ» записывают в верхней части страницы, симметрично тексту прописными буквами обычным шрифтом и его увеличенным размером (кегель 16). Пример оформления содержания приведен в приложении А.

Во введении раскрывается актуальность темы курсового проекта, делается оценка современного состояния соответствующей научно-технической области, формулируется цель проекта, указывается область применения получаемых результатов, их научно-техническое значение. Введение не должно содержать требований, которые представлены в техническом задании. Не допускается деление текста введения на структурные элементы (пункты, подпункты и т. п.). Введение начинают на следующей странице после содержания. Заголовок «ВВЕДЕНИЕ» записывают в верхней части страницы

симметрично тексту прописными буквами обычным шрифтом и его увеличенным размером (кегель 16).

Структура и содержание основной части пояснительной записки должны отвечать требованиям технического задания. Основная часть делится на разделы и подразделы, указанные в задании на проектирование.

Заключение должно содержать выводы по результатам выполненного проекта, оценку полноты решения поставленных задач, рекомендации по использованию результатов проектирования. Выводы целесообразно формулировать в виде кратких тезисов с нумерацией отдельных пунктов, количество которых соответствует перечню поставленных задач.

В список использованных источников включают все источники, на которые имеются ссылки в пояснительной записке. Источники в списке *нумеруют в порядке их упоминания в тексте*. Каждая библиографическая запись нумеруется арабскими цифрами без точки и начинается с абзацного отступа. Заголовок «СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ» записывают в верхней части страницы симметрично тексту прописными буквами обычным шрифтом и его увеличенным размером (кегель 16). Примеры библиографических описаний источников приведены в приложении А.

В приложения рекомендуется включать материал, дополняющий основную часть пояснительной записки. В приложениях целесообразно приводить графический материал большого объема или формата, таблицы большого формата, дополнительные расчеты, описания аппаратуры и приборов, описания алгоритмов и программ, задач, решаемых с использованием программного обеспечения персональных компьютеров, и т. д. На все приложения в тексте пояснительной записки должны быть даны ссылки. Приложения располагают после списка использованных источников в порядке ссылок на них в тексте. Приложения обозначают заглавными буквами русского алфавита, начиная с А, за исключением букв Ё, З, И, О, Ч, Ъ, Ы, Ь, которые

приводят после слова «ПРИЛОЖЕНИЕ». Если в документе одно приложение, оно обозначается «ПРИЛОЖЕНИЕ А».

По статусу приложения могут быть обязательными (предусмотренные техническим заданием), рекомендуемыми или справочными. Каждое приложение начинают с новой страницы. В верхней части страницы, симметрично тексту, приводят слово «ПРИЛОЖЕНИЕ», записанное прописными буквами обычным шрифтом и его увеличенным размером (кегель 16), и обозначение приложения. Под ними в скобках указывают статус приложения, используя слова: «обязательное», «рекомендуемое» или «справочное», записанные обычным шрифтом строчными буквами (кегель 14). Допускается размещение на одной странице двух (и более) последовательно расположенных приложений, если их можно полностью изложить на этой странице. Содержание приложения указывают в его заголовке, который располагают симметрично тексту, приводят в виде отдельной строки (или строк), печатают строчными буквами с первой прописной и выделяют полужирным шрифтом и увеличенным размером (кегель 16). Приложения имеют общую с основной частью пояснительной записки сквозную нумерацию страниц. В тексте записки при ссылках на обязательные приложения используют слова: «...в соответствии с приложением...», а при ссылках на рекомендуемые и справочные – слова: «...приведен в приложении...».

Основная часть пояснительной записки должна содержать:

- описание назначения и функциональных особенностей схемотехнической реализации комбинационного цифрового устройства;
- аналитические соотношения для расчета статических параметров анализируемой схемы;
- параметрический синтез схемы заданной структуры и определение параметров элементов как элементов полупроводниковой интегральной схемы.

Графическая часть курсового проекта должна содержать схему электрическую принципиальную исследуемой электронной цепи (с перечнем элементов), графики рассчитанных характеристик.

4 ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Работа должна быть выполнена с использованием компьютера. При создании текстового файла страницы работы должны соответствовать формату А4 (210x297 мм) и иметь следующие размеры полей: левое – 30 мм, правое – 15 мм, верхнее и нижнее – 20 мм. Абзацный отступ должен быть одинаковым по всему тексту работы (в том числе и в маркированных и нумерованных списках перечислений) и равен 1,25 см. Выравнивание текста производится по ширине страницы.

Тип шрифта для всего текста работы – Times New Roman черного цвета размером 14 пт. Междустрочный интервал – 1,5 строки (в таблицах и рисунках используется одинарный междустрочный интервал).

Графический материал может быть подготовлен в других редакторах и вставлен в текст пояснительной записки.

В пояснительной записке должна применяться стандартная терминология.

В тексте пояснительной записки перед обозначением параметра дают его наименование, например: «коэффициент разветвления включенного логического элемента $k_{\text{раз}}^0$ ». Следует применять стандартизованные единицы физических величин, их наименования и обозначения.

Текст пояснительной записки разделяют на разделы, подразделы, пункты. Каждый раздел рекомендуется начинать с новой страницы. Разделы должны иметь порядковые номера в пределах пояснительной записки, обозначенные арабскими цифрами и записанные с абзацного отступа. Подразделы и пункты должны иметь нумерацию в пределах каждого раздела или подраздела. Отдельные разделы могут не иметь подразделов и состоять непосредственно из пунктов. Если раздел или подраздел состоит из одного пункта, этот пункт также нумеруется. Точка в конце номеров разделов, подразделов, пунктов не ставится. Разделы и подразделы должны иметь

заголовки; пункты, как правило, заголовков не имеют. Заголовки следует выполнять с абзацного отступа с прописной буквы без точки в конце и без подчеркивания. В начале заголовка помещают номер соответствующего раздела, подраздела, пункта. Переносы слов в заголовках не допускаются. Если заголовок состоит из двух предложений, их разделяют точкой. Расстояние между заголовком и текстом должно быть равно удвоенному межстрочному расстоянию: между заголовками раздела и подраздела – одному межстрочному расстоянию.

Все таблицы нумеруют в пределах раздела арабскими цифрами. Над левым верхним углом таблицы помещают надпись «Таблица» с указанием номера таблицы, например: «Таблица 2.1» (первая таблица второго раздела). Таблица может иметь название. Название таблицы помещают после номера таблицы через тире с прописной буквы. На все таблицы должны быть ссылки в тексте пояснительной записки. Таблицу следует располагать непосредственно после абзаца, где она упоминается впервые, или на следующей странице.

Все иллюстрации в тексте пояснительной записки именуется рисунками. Рисунки нумеруются в пределах раздела (приложения) арабскими цифрами, например: «Рисунок 2.1» (первый рисунок второго раздела), «Рисунок В.3» (третий рисунок приложения В). Рисунок может иметь подрисуночный текст. Слово «рисунок», его номер и подрисуночную надпись помещают ниже изображения и пояснительных данных симметрично рисунку, например: «Рисунок 1.2 – Схема бистабильной ячейки с отдельными входами установки». На все рисунки должны быть ссылки в тексте пояснительной записки. Рисунки должны размещаться сразу после ссылки или на следующей странице.

Формулы следует выделять из текста в отдельную строку. Значения символов и числовых коэффициентов, входящих в формулу, должны быть приведены непосредственно под формулой. Значение каждого символа

дают с новой строки в той последовательности, в какой они приведены в формуле. Первая строка расшифровки должна начинаться со слова «где» без двоеточия после него. Формулы, следующие одна за другой и не разделенные текстом, отделяют запятой. Формулы должны нумероваться в пределах раздела (приложения) арабскими цифрами. Номер формулы должен состоять из номера раздела и порядкового номера формулы, разделенных точкой. Номер указывают с правой стороны листа на уровне формулы в круглых скобках, например: (3.1). Формулы следует набирать в редакторе формул MathType.

Пример

Средняя статическая потребляемая мощность определяется по формуле:

$$P_{\text{п.ср}} = \frac{P_{\text{п}}^0 + P_{\text{п}}^1}{2} = E \frac{I_{\text{п}}^0 + I_{\text{п}}^1}{2}, \quad (3.1)$$

где $I_{\text{п}}^0$, $I_{\text{п}}^1$ – токи; $P_{\text{п}}^0 = EI_{\text{п}}^0$, $P_{\text{п}}^1 = EI_{\text{п}}^1$ – мощности, потребляемые включенным и выключенным элементом соответственно.

При многократном упоминании устойчивых словосочетаний в тексте следует использовать аббревиатуры или сокращения. При первом упоминании должно быть приведено полное название с указанием в скобках сокращенного названия или аббревиатуры, например: «конъюнктивная нормальная форма (КНФ)». При последующих упоминаниях следует употреблять сокращенное название или аббревиатуру. Расшифровку аббревиатур и сокращений, установленных государственными стандартами и правилами русской орфографии, допускается не приводить, например: ТТЛ, МДП-транзистор, ПИНЧ-типа, ВАХ и др.

Запись числовых расчетов выполняют в следующем порядке:

- формула;
- знак «=» (равно);

- подстановка числовых величин и коэффициентов в последовательности буквенных обозначений в формуле и через пробел – обозначение единицы физической величины результата;

- знак «=» (равно);

- результат с единицей физической величины:

$$R = \frac{U}{I} = \frac{125}{16 \cdot 10^{-3}} = 7,8 \cdot 10^3 \text{ Ом.}$$

Нумерация страниц пояснительной записки должна быть сквозной, первой страницей является титульный лист. На титульном листе и в задании на проектирование номер страницы не проставляется. Номера страниц указываются в правом нижнем углу листа.

Требования к оформлению графического материала

Графический материал должен отвечать требованиям действующих стандартов. Схемы и чертежи следует выполнять на форматах, установленных ГОСТ 2.301-68.

Оформление электрических схем должно соответствовать требованиям комплекса отечественных государственных стандартов Единой системы конструкторской документации (ЕСКД).

Проектным документам в КП должны быть присвоены обозначения. В общем случае обозначения проектного документа имеют следующую структуру:

- код разработчика (аббревиатура факультета и двухбуквенная аббревиатура КП – для курсовых проектов);

- точка;

- код классификационной характеристики по классификатору ЕСКД;

- точка;

- порядковый номер варианта (три цифры от 001 до 050);

- код вида документа по ГОСТ 2.102-2013 (ПЗ – для пояснительной записки; ЭЗ – для схемы электрической принципиальной).

В качестве классификатора в рамках выполнения курсового проекта по дисциплине «Микросхемотехника» достаточно использовать класс классификатора ЕСКД: 43 «Микросхемы, приборы полупроводниковые, электровакуумные, пьезоэлектрические, квантовой электроники, резисторы соединители, преобразователи электроэнергии, средства вторичного электропитания» (<https://classinform.ru/ok-eskd/kod-43.html>).

Пример обозначения схемы электрической принципиальной в КП на тему «Логический элемент И-НЕ транзисторно-транзисторной логики с повышенной нагрузочной способностью», выполненном студентом очной формы обучения: ФЭТ КП.431271.001ЭЗ [согласно классификатору ЕСКД: 43: 431 – микросхемы интегральные; 4312 – средства вычислительные; 43127 – логические элементы; 431271 – И, ИЛИ, НЕ, И-НЕ, ИЛИ-НЕ].

Перечень элементов выполняют в виде самостоятельного документа. Перечень элементов оформляют в виде таблицы, заполняемой сверху вниз. В графах таблицы указывают следующие данные:

- в графе «Поз. обозначение» – позиционные обозначения элементов, устройств и функциональных групп;
- в графе «Наименование»: для элемента (устройства) – наименование в соответствии с документом, на основании которого этот элемент (устройство) применен, и обозначение этого документа (основной конструкторский документ, государственный стандарт, отраслевой стандарт, технические условия); для функциональной группы – наименование;
- в графе «Примечание» рекомендуется указывать технические данные элемента (устройства), не содержащиеся в его наименовании.

Код перечня должен состоять из буквы «П» и кода схемы, к которой выпускают перечень, например, код перечня элементов к электрической принципиальной схеме ПЭЗ. При этом в основной надписи (графа 1) указывают наименование изделия, а также наименование документа «Перечень элементов». Перечень элементов выполняют на формате А4. Основную

надпись и дополнительные графы к ней выполняют по ГОСТ 2.104-2006 (формы 2 и 2а).

Элементы в перечень записывают группами в алфавитном порядке буквенных позиционных обозначений. В пределах каждой группы, имеющей одинаковые буквенные позиционные обозначения, элементы располагают по возрастанию порядковых номеров. При выполнении на схеме цифровых обозначений в перечень их записывают в порядке возрастания. Элементы одного типа с одинаковыми параметрами, имеющие на схеме последовательные порядковые номера, допускается записывать в перечень в одну строку. В этом случае в графу «Поз. обозначение» вписывают только позиционные обозначения с наименьшим и наибольшим порядковыми номерами, например: R3, R4; C8...C12, а в графу «Кол.» – общее количество таких элементов.

5 ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ

Тематика курсового проектирования связана с методами расчета и проектирования схемотехнических решений, используемых при разработке цифровых полупроводниковых интегральных схем на основе биполярных и МДП-транзисторов.

Технические характеристики и режимы эксплуатации современных микроэлектронных структур в значительной степени определяются параметрами логических элементов.

Технические требования на разработку логических элементов транзисторно-транзисторной логики, транзисторно-транзисторной логики с диодами Шоттки, на переключателях тока и логических элементов на МДП-транзисторах представлены в таблицах 5.1–5.4.

Задание на выполнение курсового проекта и варианта схемы комбинационного цифрового устройства для выполнения курсового проекта осуществляется по общим правилам.

Тема курсового проекта (для всех вариантов)

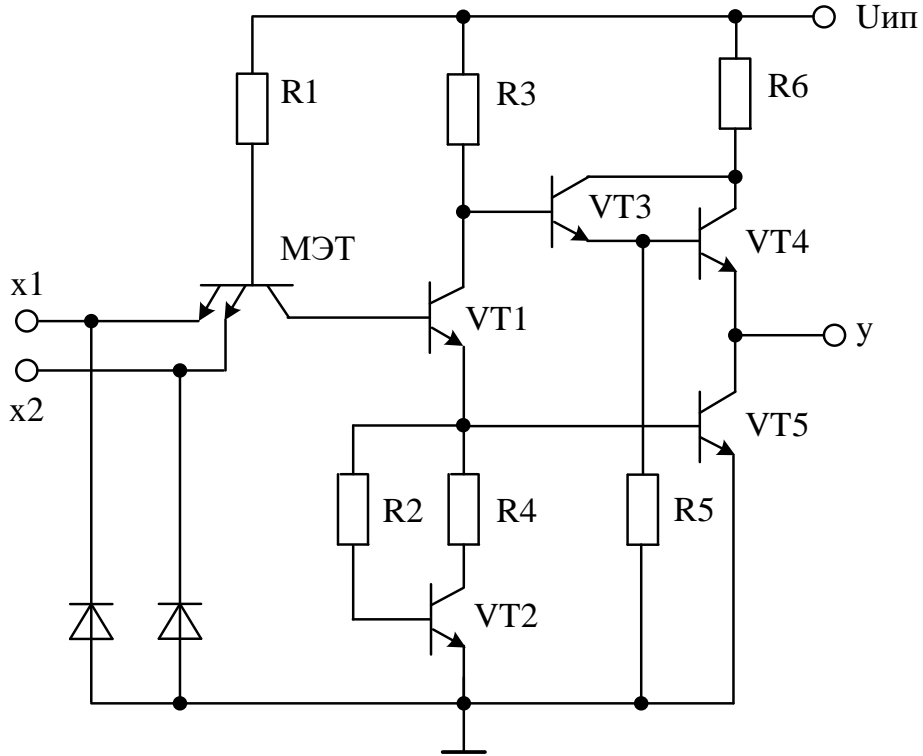
«Полупроводниковая интегральная схема комбинационного цифрового устройства».

Задание на курсовой проект (для всех вариантов)

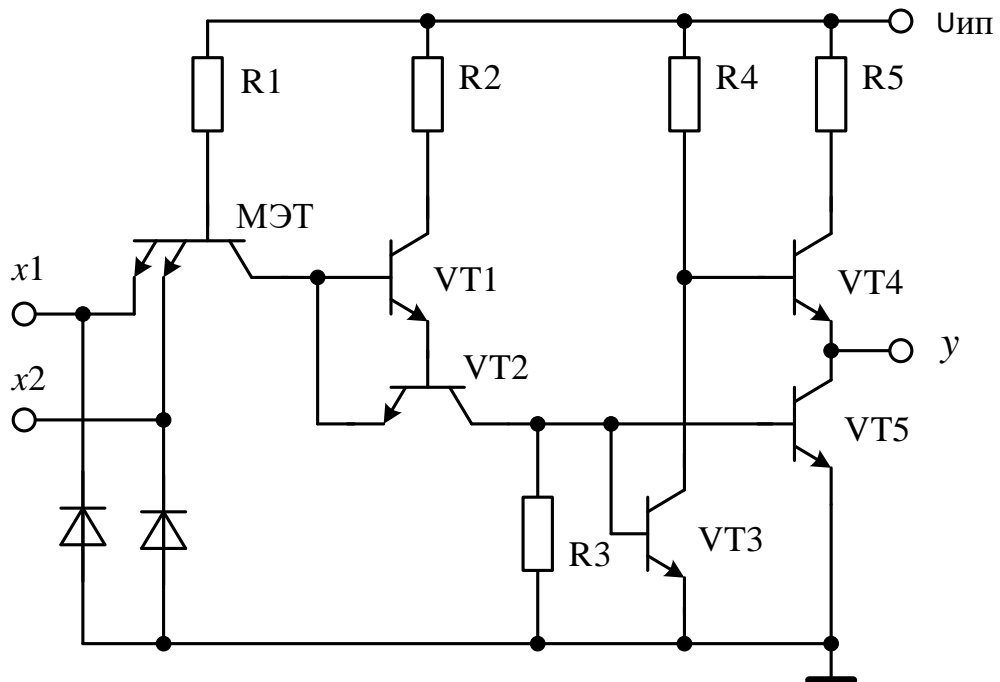
Для комбинационного цифрового устройства выполнить анализ схемы, получить аналитические соотношения для расчета статических параметров анализируемой схемы, выполнить численные расчеты.

Варианты схем комбинационного цифрового устройства

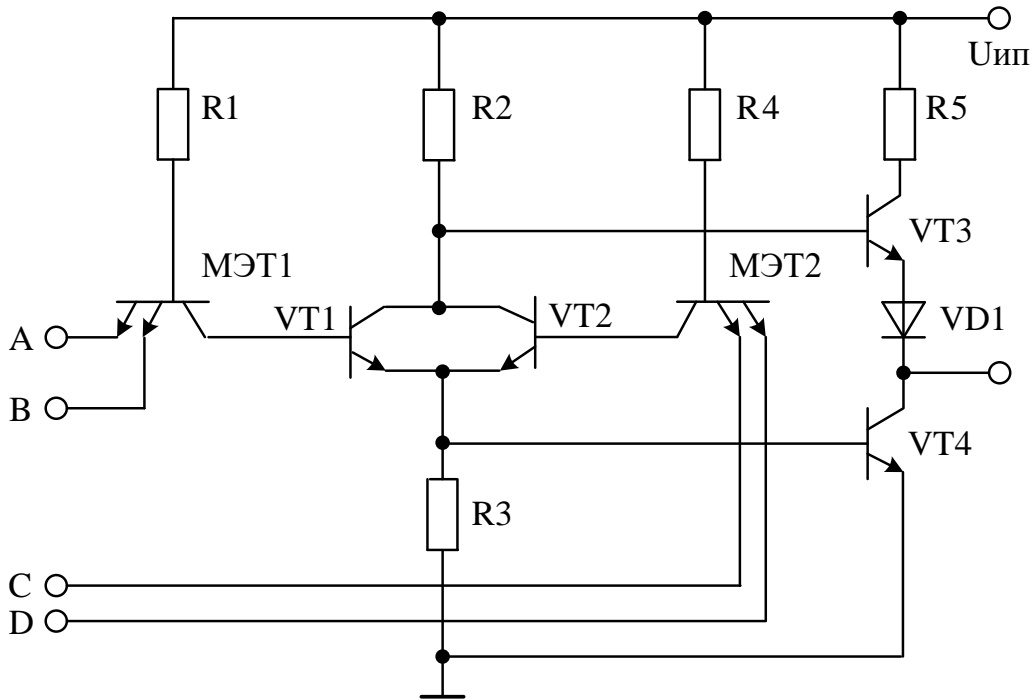
Вариант 1



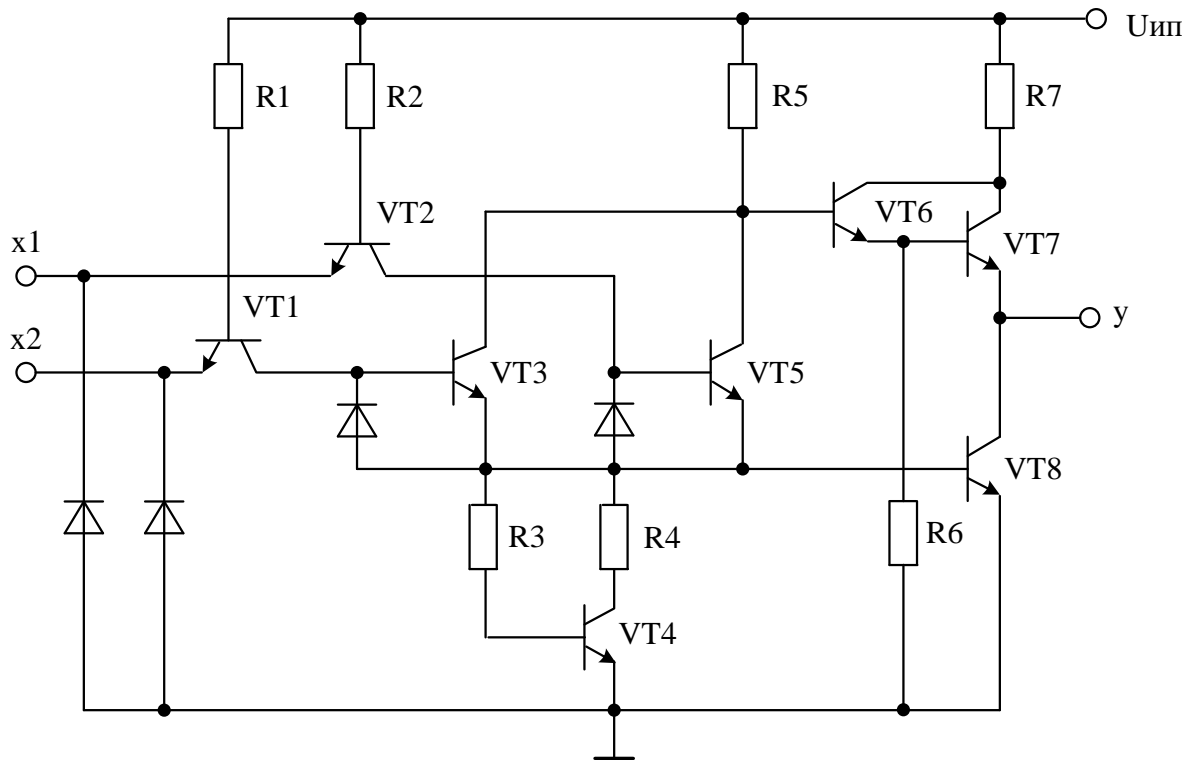
Вариант 2



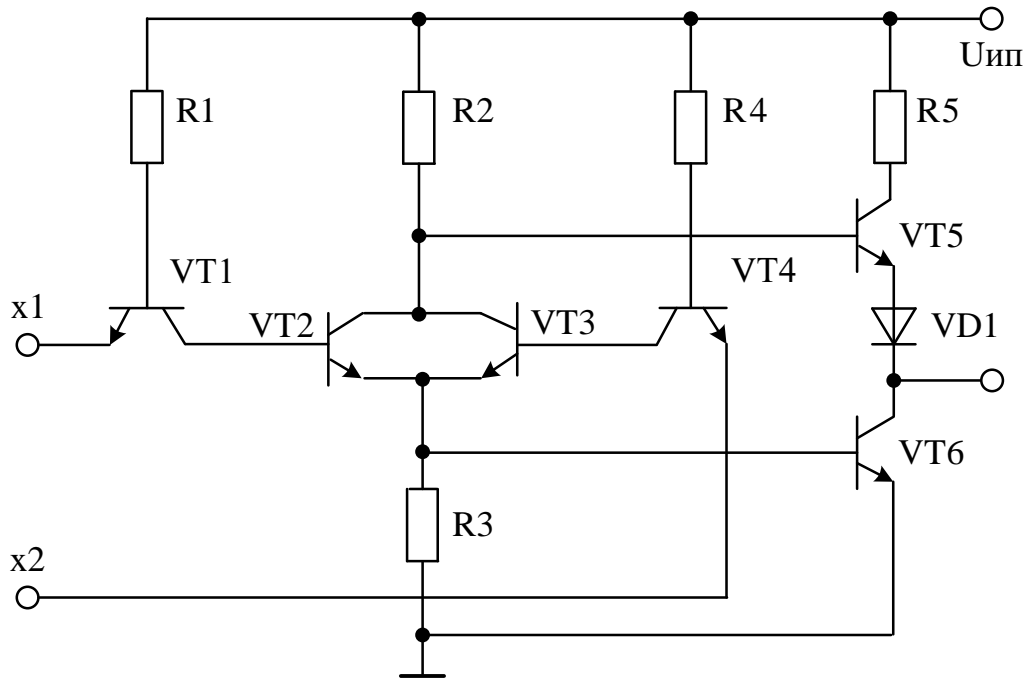
Вариант 3



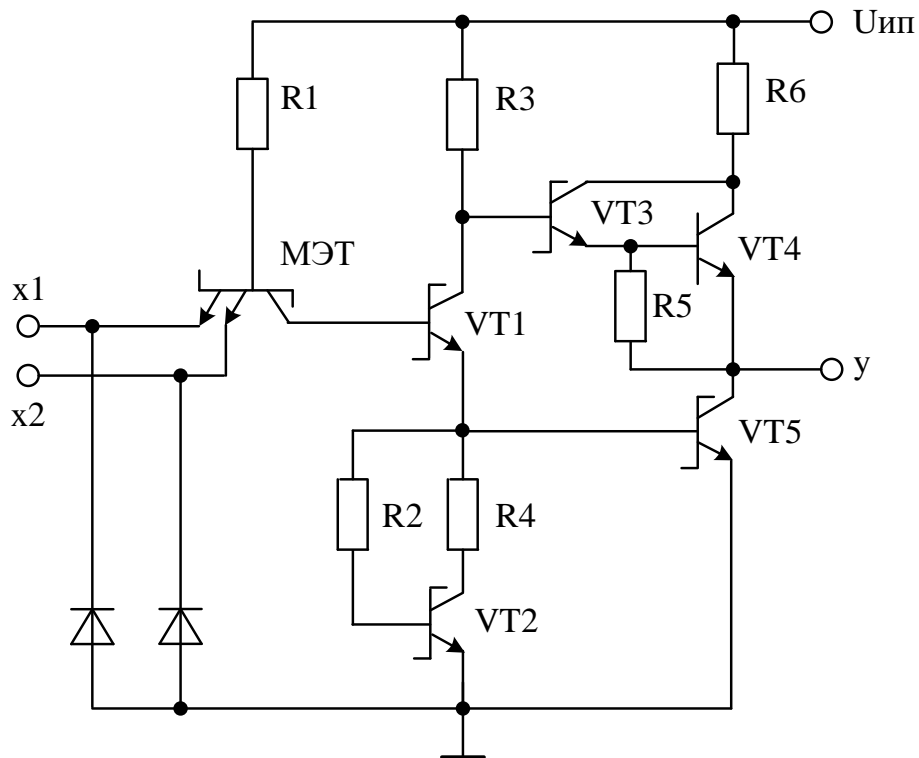
Вариант 4



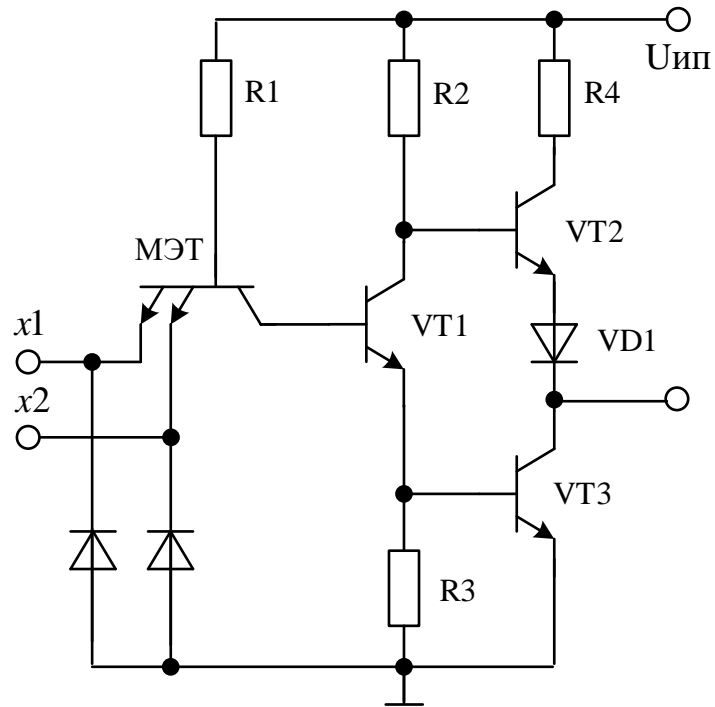
Вариант 5



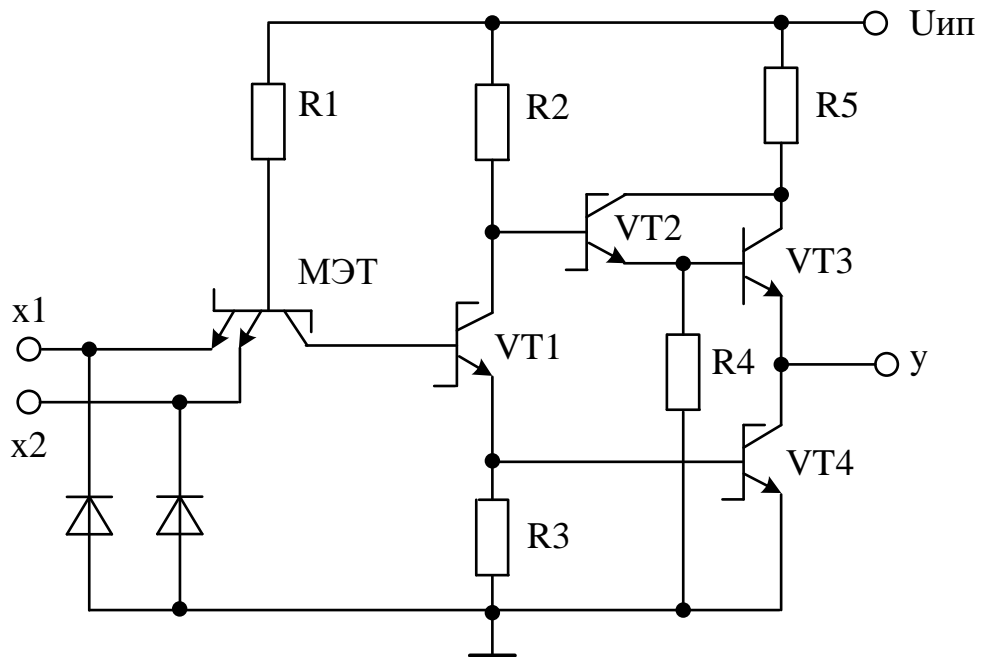
Вариант 6



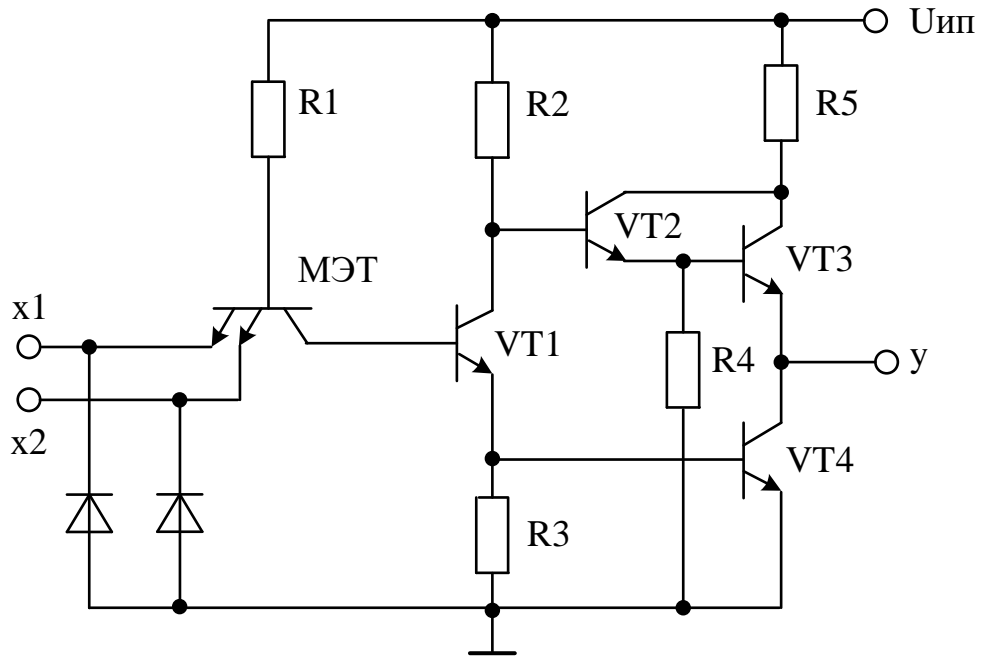
Вариант 7



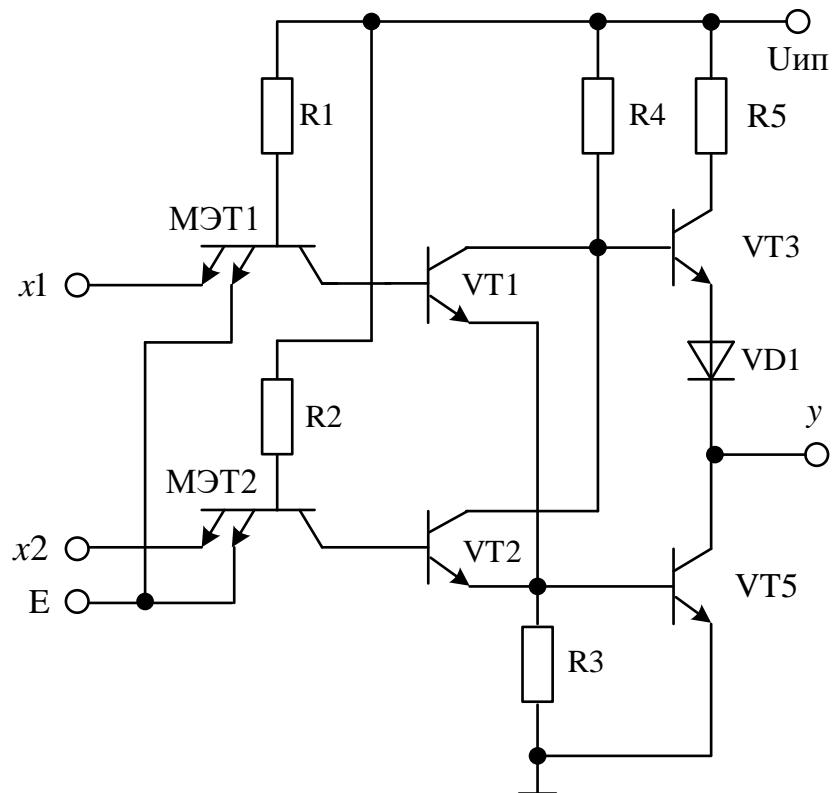
Вариант 8



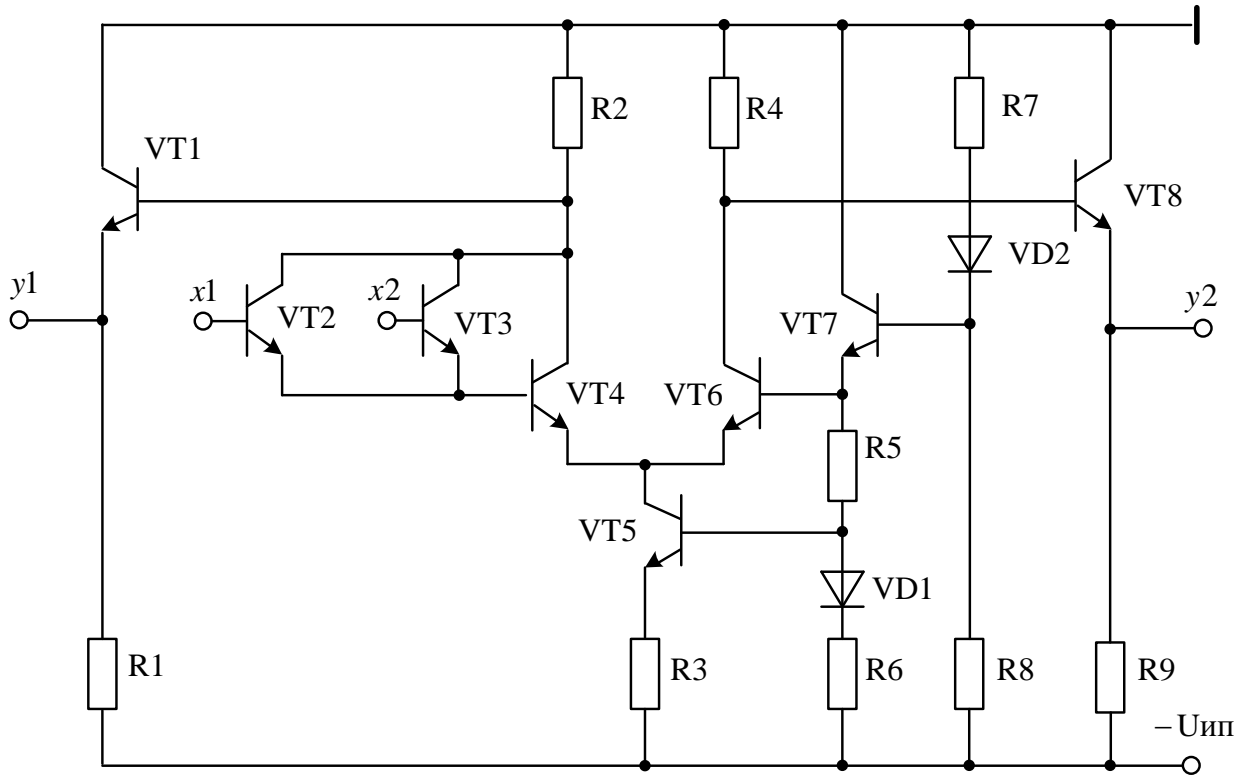
Вариант 9



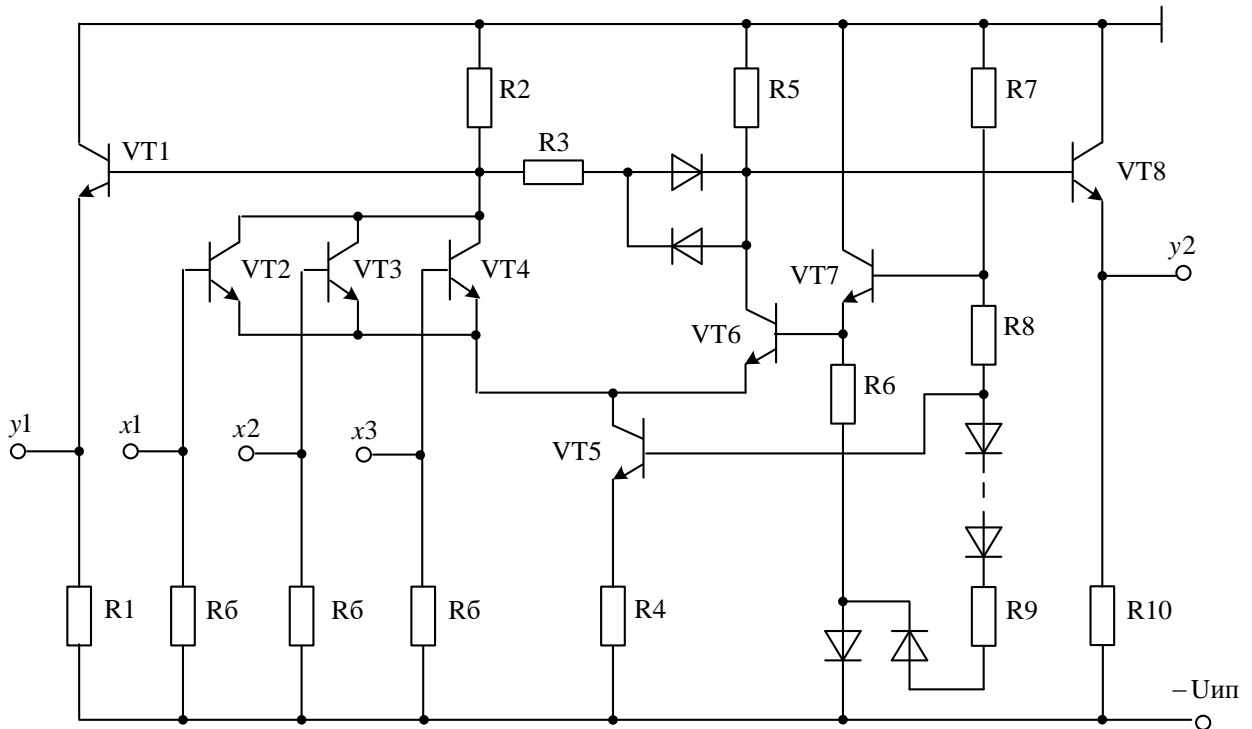
Вариант 10



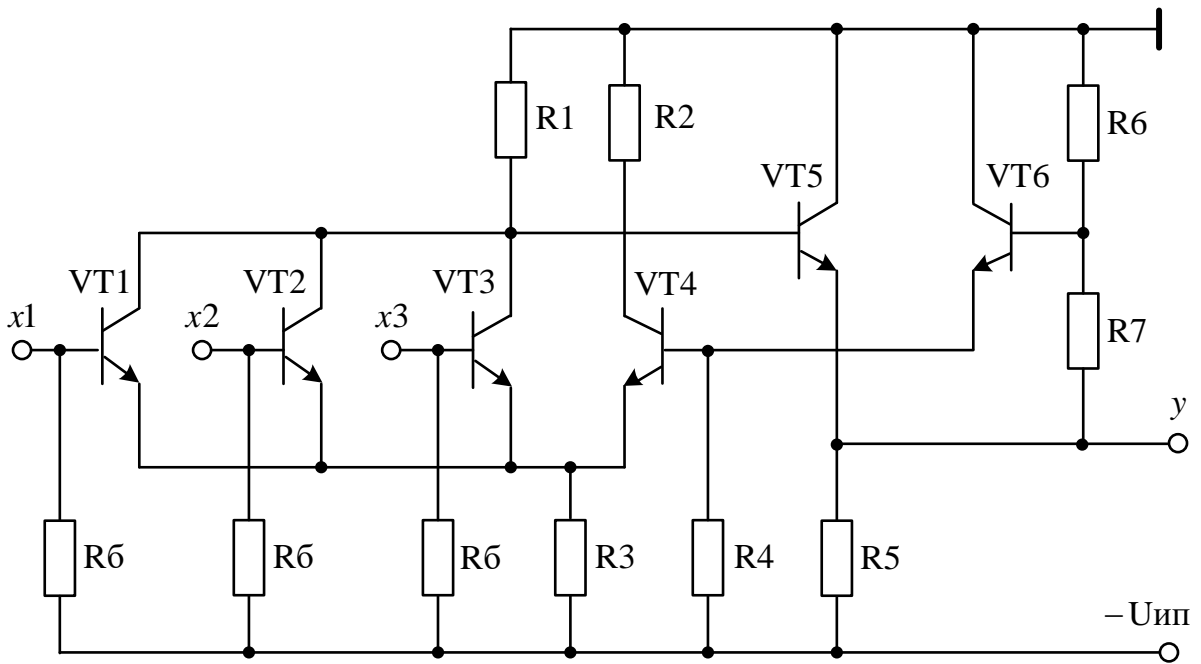
Вариант 11



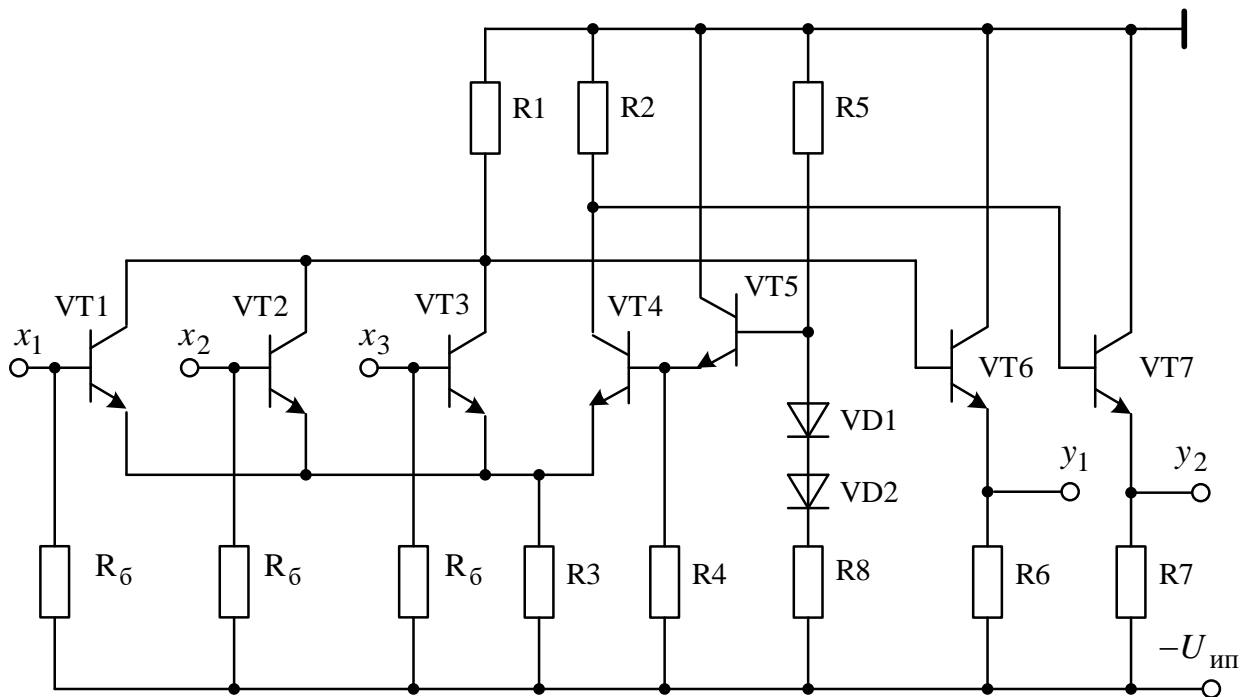
Вариант 12



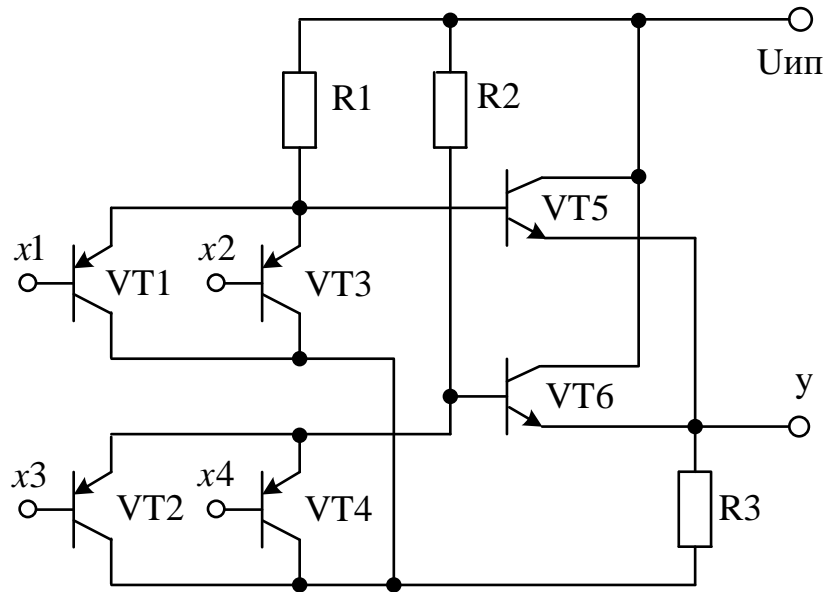
Вариант 13



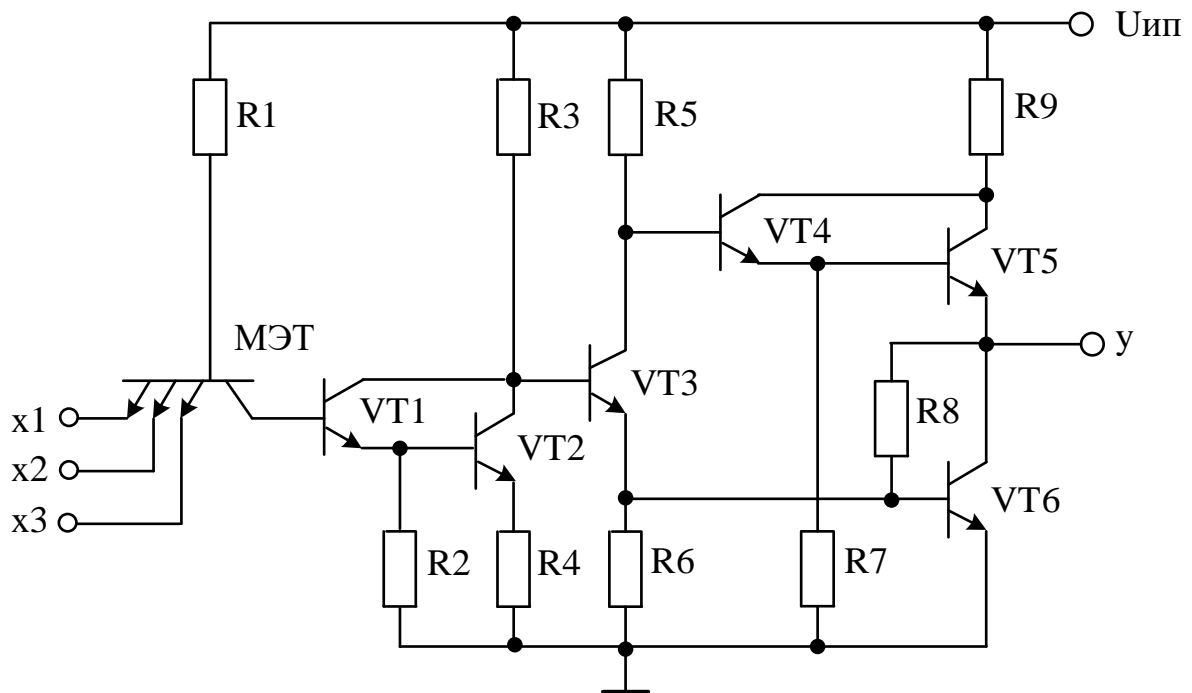
Вариант 14



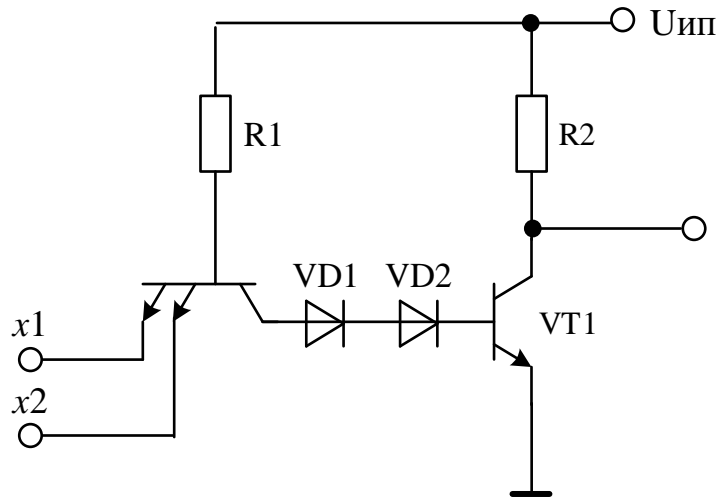
Вариант 15



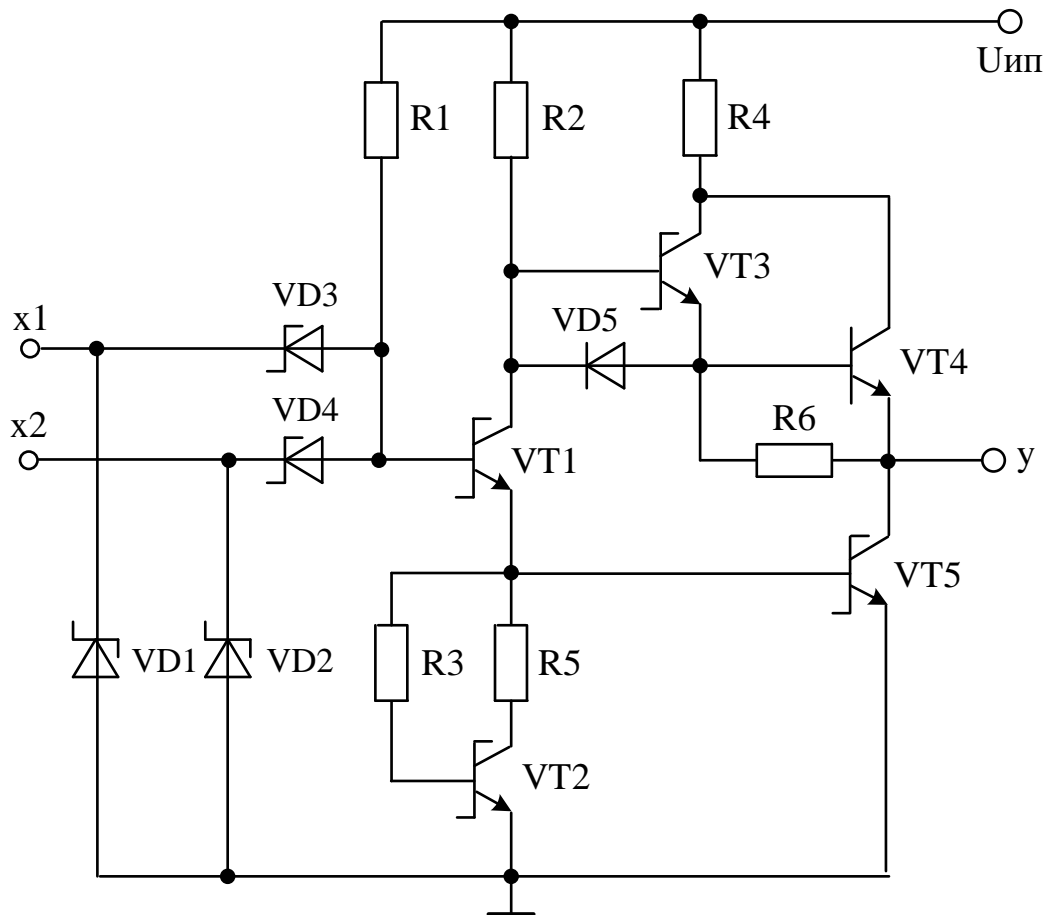
Вариант 16



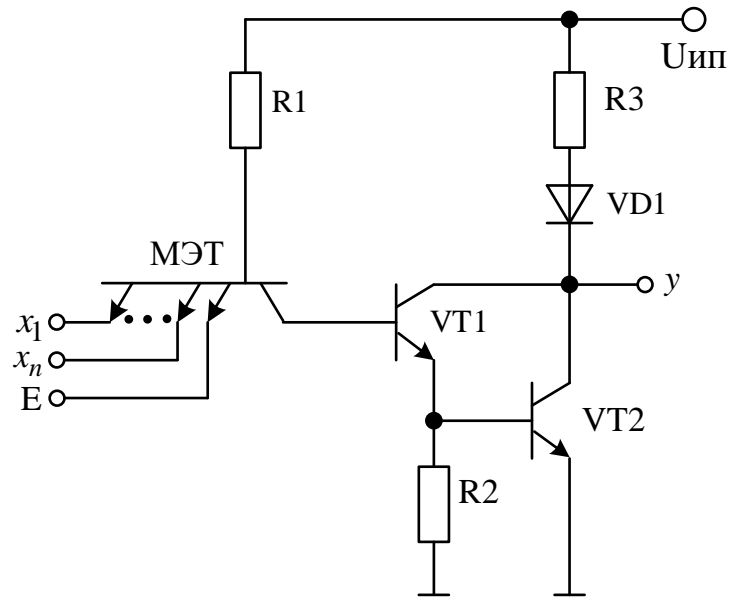
Вариант 17



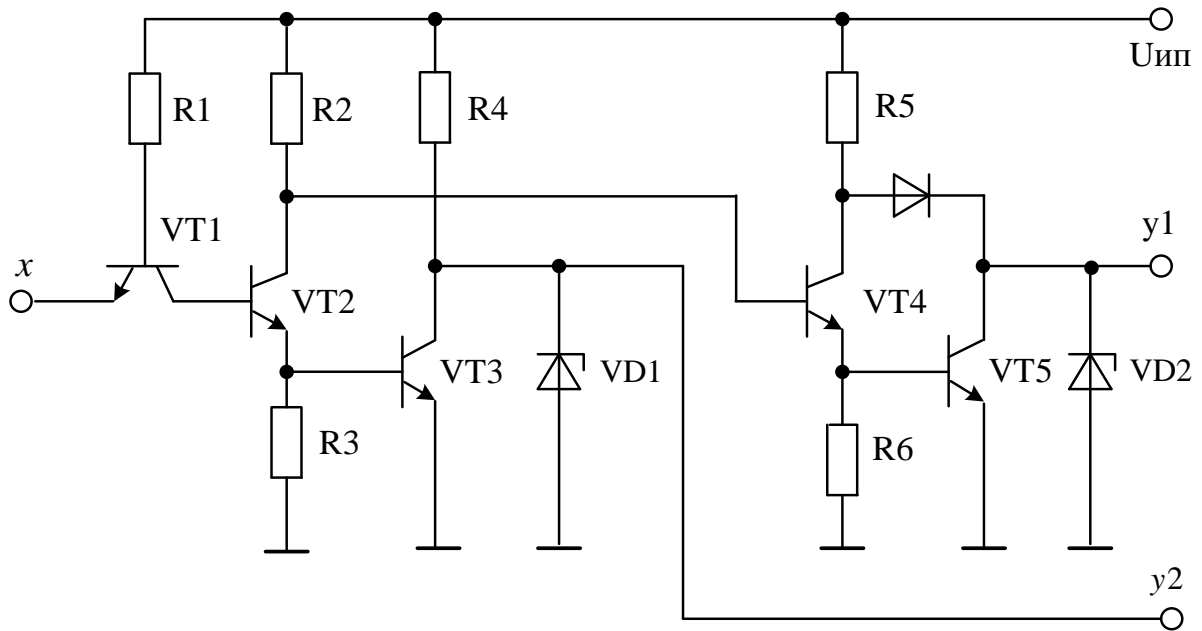
Вариант 18

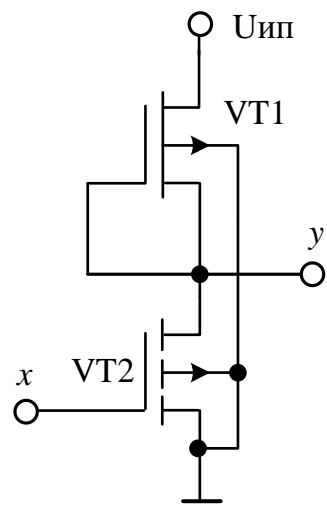
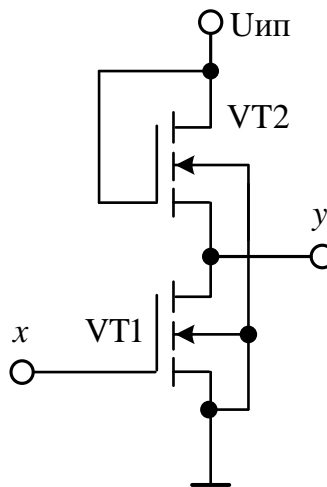


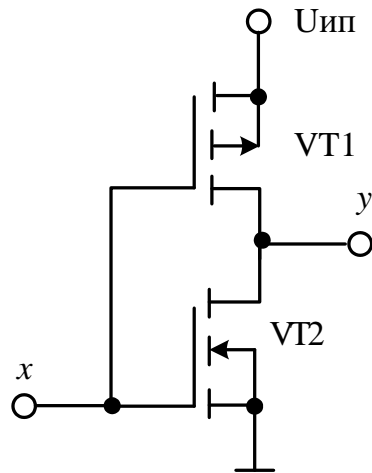
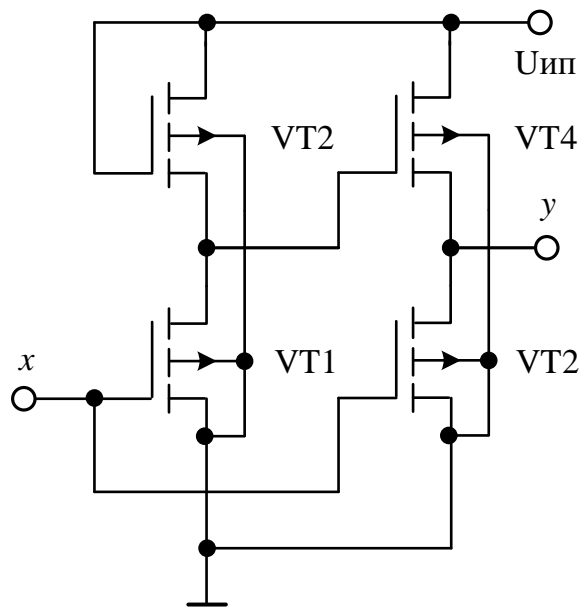
Вариант 19

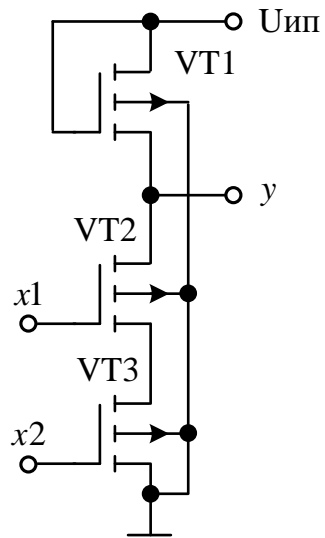
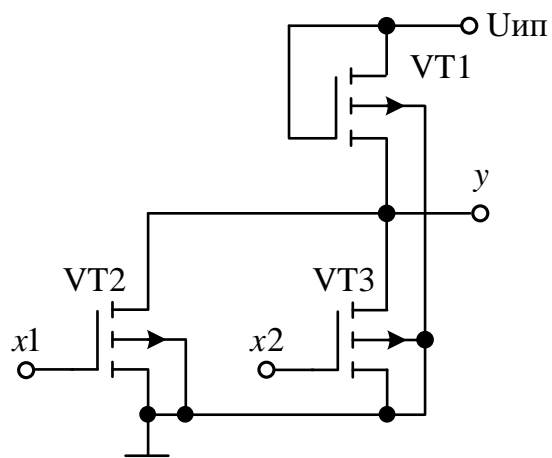


Вариант 20

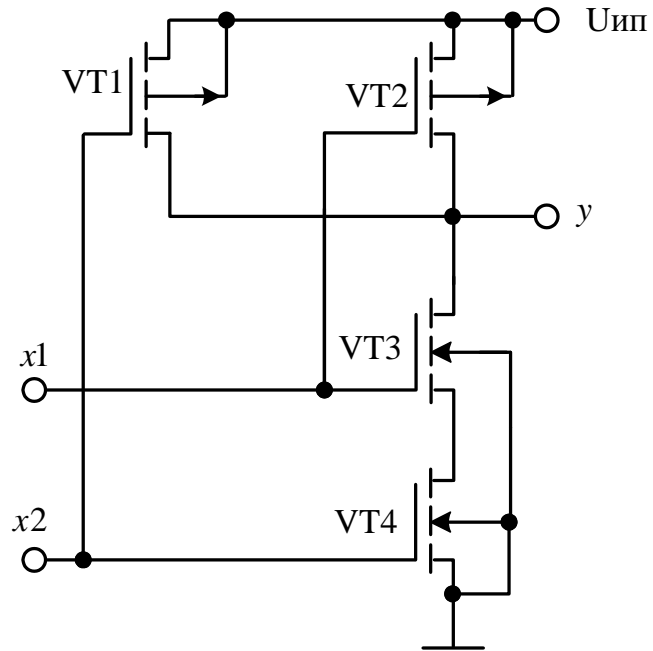


Вариант 21**Вариант 22**

Вариант 23**Вариант 24**

Вариант 25**Вариант 26**

Вариант 27



Вариант 28

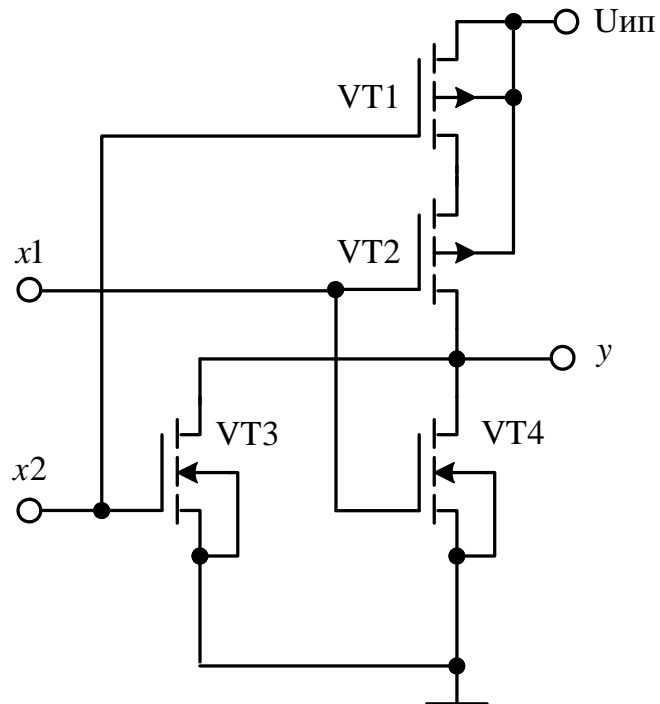


Таблица 5.1 – Технические требования на разработку полупроводниковой интегральной схемы комбинационного цифрового устройства

Параметр интегральной микросхемы		Значение параметра для вариантов						
Наименование	Обозначение, единица измерения	Вариант № 1	Вариант № 2	Вариант № 3	Вариант № 4	Вариант № 5	Вариант № 6	Вариант № 7
Напряжение питания	$U_{\text{ип}}$, В	$5 \pm 10\%$	$5 \pm 10\%$	$5 \pm 10\%$	$5 \pm 10\%$	$5 \pm 10\%$	$5 \pm 10\%$	$5 \pm 10\%$
Входной ток лог. «0»	$I_{\text{вх}}^0$, мА	$\leq 1,6$	$\leq 1,6$	$\leq 1,6$	$\leq 1,4$	$\leq 1,8$	$\leq 1,5$	$\leq 1,6$
Входной ток лог. «1»	$I_{\text{вх}}^1$, мА	$\leq 0,04$	$\leq 0,04$	$\leq 0,04$	$\leq 0,02$	$\leq 0,04$	$\leq 0,04$	$\leq 0,04$
Напряжение лог. «0»	U^0 , В	$\leq 0,4$	$\leq 0,4$	$\leq 0,4$	$\leq 0,4$	$\leq 0,6$	$\leq 0,4$	$\leq 0,4$
Напряжение лог. «1»	U^1 , В	$\geq 2,4$	$\geq 2,4$	$\geq 2,4$	$\geq 3,0$	$\geq 2,4$	$\geq 3,0$	$\geq 3,2$
Коэффициент объединения по входу И (ИЛИ)	$k_{\text{об И(ИЛИ)}}$	2	2	2 (2)	2	2	4	2
Коэффициент разветвления по выходу	$k_{\text{раз}}$	8	8	8	10	8	10	4
Средняя статическая потребляемая мощность	$P_{\text{пср}}$, мВт	≤ 22	≤ 22	≤ 55	≤ 50	≤ 85	≤ 18	≤ 40

Таблица 5.2 – Технические требования на разработку полупроводниковой интегральной схемы комбинационного цифрового устройства

Параметр интегральной микросхемы		Значение параметра для вариантов						
Наименование	Обозначение, единица измерения	Вариант № 8	Вариант № 9	Вариант № 10	Вариант № 11	Вариант № 12	Вариант № 13	Вариант № 14
Напряжение питания	$U_{ип}$, В	$5 \pm 10\%$	$5 \pm 10\%$	$5 \pm 10\%$	$-4 \pm 5\%$	$-5 \pm 5\%$	$-5 \pm 5\%$	$-5 \pm 5\%$
Входной ток лог. «0»	$I_{вх}^0$, мА	$\leq 1,4$	$\leq 1,4$	$\leq 1,6$	–	–	–	–
Входной ток лог. «1»	$I_{вх}^1$, мА	$\leq 0,03$	$\leq 0,03$	$\leq 0,04$	–	–	–	–
Напряжение лог. «0»	U^0 , В	$\leq 0,5$	$\leq 0,4$	$\leq 0,4$	$\leq -1,8$	$\leq -1,6$	$\leq -1,6$	$\leq -1,92$
Напряжение лог. «1»	U^1 , В	$\geq 2,7$	$\geq 2,9$	$\geq 2,4$	$\geq -0,9$	$\geq -0,8$	$\geq -0,8$	$\geq -0,85$
Коэффициент объединения по входу И (ИЛИ)	$k_{об}$ И(ИЛИ)	3	2	2	2	4	3	2
Коэффициент разветвления по выходу	$k_{раз}$	8	8	8	12	15	10	12
Средняя статическая потребляемая мощность	$P_{ср}$, мВт	≤ 19	≤ 25	≤ 100	≤ 80	≤ 60	≤ 80	≤ 100

Таблица 5.3 – Технические требования на разработку полупроводниковой интегральной схемы комбинационного цифрового устройства

Параметр интегральной микросхемы		Значение параметра для вариантов						
Наименование	Обозначение, единица измерения	Вариант № 15	Вариант № 16	Вариант № 17	Вариант № 18	Вариант № 19	Вариант № 20	Вариант № 21
Напряжение питания	$U_{ип}$, В	$4 \pm 5\%$	$5 \pm 10\%$	$5 \pm 10\%$	$5 \pm 10\%$	$5 \pm 10\%$	$5 \pm 10\%$	$10 \pm 5\%$
Входной ток лог. «0»	$I_{вх}^0$, мА	$\leq 1,4$	$\leq 1,6$	$\leq 1,6$	$\leq 2,1$	$\leq 1,9$	$\leq 1,5$	–
Входной ток лог. «1»	$I_{вх}^1$, мА	$\leq 0,03$	$\leq 0,04$	$\leq 0,04$	$\leq 0,06$	$\leq 0,05$	$\leq 0,05$	–
Напряжение лог. «0»	U^0 , В	$\leq 1,0$	$\leq 0,4$	$\leq 0,4$	$\leq 0,4$	$\leq 0,4$	$\leq 0,5$	$\leq 0,2$
Напряжение лог. «1»	U^1 , В	$\geq 3,0$	$\geq 2,4$	$\geq 2,4$	$\geq 2,4$	$\geq 2,6$	$\geq 4,2$	$\geq 9,5$
Коэффициент объединения по входу И (ИЛИ)	$k_{об}$ И(ИЛИ)	2 (2)	3	2	2	4	1	1
Коэффициент разветвления по выходу	$k_{раз}$	10	10	4	8	6	4	30
Средняя статическая потребляемая мощность	$P_{пср}$, мВт	≤ 30	≤ 30	≤ 18	≤ 25	≤ 25	≤ 20	≤ 10

Таблица 5.4 – Технические требования на разработку полупроводниковой интегральной схемы комбинационного цифрового устройства

Параметр интегральной микросхемы		Значение параметра для вариантов						
Наименование	Обозначение, единица измерения	Вариант № 22	Вариант № 23	Вариант № 24	Вариант № 25	Вариант № 26	Вариант № 27	Вариант № 28
Напряжение питания	$U_{ип}$, В	10,0	10,0	15,0	10,0	15,0	15,0	15,0
Напряжение лог. «0»	U^0 , В	$\leq 0,5$	$\leq 0,5$	$\leq 0,5$	$\leq 0,4$	$\leq 0,45$	$\leq 0,5$	$\leq 0,45$
Напряжение лог. «1»	U^1 , В	$\geq 9,7$	$\geq 9,8$	$\geq 14,5$	$\geq 9,5$	$\geq 14,3$	$\geq 14,2$	$\geq 14,5$
Пороговое напряжение транзистора n -типа	$U_{порn}$, В	2,5	2,0	–	–	–	2,5	2,3
Пороговое напряжение транзистора p -типа	$U_{порp}$, В	–	–1,5	–1,5	–1,35	–1,5	–1,5	–1,3
Удельная крутизна транзистора n -типа	k_n , мА/В ²	0,3	0,3	–	–	–	0,3	0,35
Удельная крутизна транзистора p -типа	k_p , мА/В ²	–	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Средняя статическая потребляемая мощность	$P_{пср}$, мкВт	10	12	12	12	10	10	12
Коэффициент разветвления по выходу	$k_{раз}$	30	50	15	20	25	45	70

ЛИТЕРАТУРА

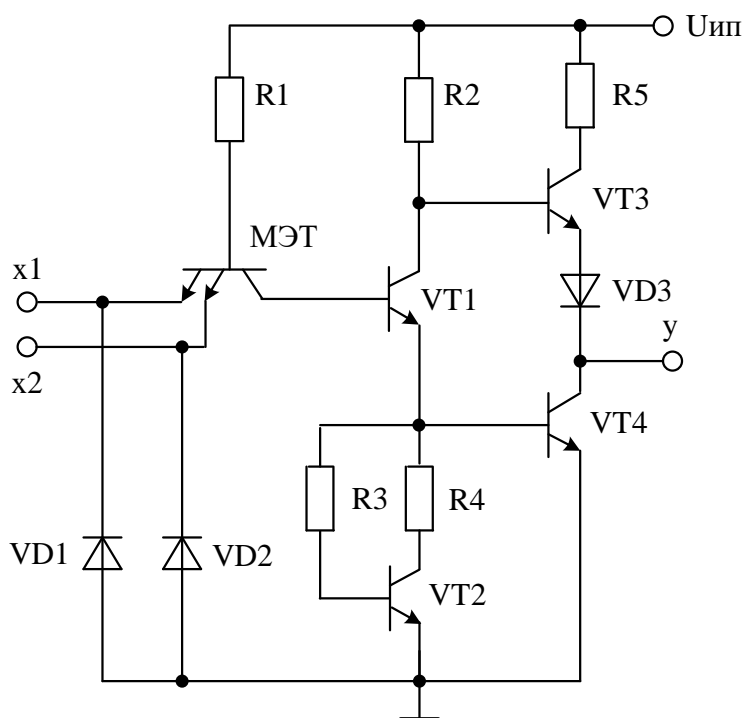
1. ОС ТУСУР 01-2021. Работы студенческие по направлениям подготовки и специальностям технического профиля. Общие требования и правила оформления (утвержден приказом ректора ТУСУРа от 25.11.2021 № 1100) [Электронный ресурс]. – URL: <https://regulations.tusur.ru/documents/70> (дата обращения: 27.04.2023).
2. Легостаев, Н. С. Микросхемотехника : учеб. пособие / Н. С. Легостаев. – Томск : ФДО, ТУСУР, 2023. – 246 с.
3. Преснухин, Л. Н. Расчет элементов цифровых устройств : учеб. пособие / Л. Н. Преснухин, Н. В. Воробьев, А. А. Шишкевич ; под ред. Л. Н. Преснухина. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Высш. шк., 1991. – 526 с.
4. Соломатин, Н. М. Логические элементы ЭВМ : практ. пособие для вузов / Н. М. Соломатин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Высш. шк., 1990. – 160 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Пример выполнения курсового проекта

Задание на курсовой проект

Для полупроводниковой интегральной схемы цифрового комбинационного устройства выполнить анализ схемы, получить аналитические соотношения для расчета статических параметров анализируемой схемы, выполнить численные расчеты параметров.



Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ» (ТУСУР)

Кафедра промышленной электроники (ПрЭ)

ЛОГИЧЕСКИЙ ЭЛЕМЕНТ И-НЕ ТРАНЗИСТОРНО-ТРАНЗИСТОРНОЙ
ЛОГИКИ С УЛУЧШЕННЫМИ СТАТИЧЕСКИМИ ПАРАМЕТРАМИ

Курсовой проект
по дисциплине
«Микросхемотехника»
Пояснительная записка
ФЭТ КП.431271.001ПЗ

Студент гр. 360-1
И. И. Иванов
«__» _____ 2022 г.

Руководитель
Профессор кафедры ПрЭ,
канд. техн. наук, ст. науч. сотр.
Н. С. Легостаев
«__» _____ 2022 г.

Томск 2022

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ» (ТУСУР)

Кафедра промышленной электроники (ПрЭ)

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой ПрЭ
д-р техн. наук, доцент
_____ С. Г. Михальченко

ЗАДАНИЕ

на курсовое проектирование по дисциплине
«Микросхемотехника»

студенту Иванову Ивану Ивановичу

группа 360-1

Тема проекта: Логический элемент И-НЕ транзисторно-транзисторной
логики с улучшенными статическими параметрами

ТРЕБОВАНИЯ К ПРОЕКТУ

1. Напряжение питания: $5\text{ В} \pm 10\%$.
2. Входной ток в состоянии логического «0»: $\leq 2,1\text{ мА}$.
3. Входной ток в состоянии логической «1»: $\leq 0,08\text{ мА}$.
4. Уровень напряжения логического «0»: $\leq 0,4\text{ В}$.
5. Уровень напряжения логической «1»: $\geq 3,3\text{ В}$.
6. Коэффициент объединения по входу: 2.
7. Коэффициент разветвления: 8.
8. Средняя статическая потребляемая мощность: $\leq 21\text{ мВт}$.

ПЕРЕЧЕНЬ ПОДЛЕЖАЩИХ РАЗРАБОТКЕ РАЗДЕЛОВ

1. Анализ схемотехнической реализации цифрового комбинационного
устройства
2. Аналитические соотношения для расчета статических параметров
3. Расчет статических параметров

ПЕРЕЧЕНЬ ГРАФИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА

1. Схема электрическая принципиальная логического элемента И-НЕ

Руководитель проектирования профессор кафедры ПрЭ Н. С. Легостаев

Задание принято к исполнению

« _____ » _____ 2022 г.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
1 АНАЛИЗ СХЕМОТЕХНИЧЕСКОЙ РЕАЛИЗАЦИИ КОМБИНАЦИОННОГО ЦИФРОВОГО УСТРОЙСТВА	5
2 АНАЛИТИЧЕСКИЕ СООТНОШЕНИЯ ДЛЯ РАСЧЕТА СТАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ	7
3 РАСЧЕТ СТАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ.....	12
Заключение	16
Список использованных источников	17
Приложение А	18

Перв. примен.	
Справ. №	

	Подп. и дата		Инв. №		Подп. и дата
--	--------------	--	--------	--	--------------

Инв. №					
--------	--	--	--	--	--

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Иванов И.И.		
Пров.		Легостаев		
Т. Контр.				
Н. Контр.				
Утв.		Михальченко С.Г.		

ФЭТ КП.431271.001 ПЗ					
Логический элемент И-НЕ транзисторно-транзистор- ной логики. Пояснительная записка			Лит.	Лист	Листов
			3	18	18
			ТУСУР, ФЭТ, каф ПрЭ, гр. 360-1		

ВВЕДЕНИЕ

Исходными данными для проектирования цифрового устройства комбинационного типа являются его функциональное описание и требования к основным электрическим параметрам. Функциональное описание комбинационного устройства обычно дается в виде таблицы истинности или алгебраического выражения. На основе функционального описания синтезируют структурную схему минимальной сложности, после чего разрабатывают схему электрическую принципиальную на заданной или выбранной элементной базе.

При выборе оптимального варианта цифрового устройства (например, по критерию сложности), в том числе и комбинационного, необходимо учитывать ограничения, которые накладываются характеристиками реальных логических элементов:

- к выходу всякого реального логического элемента можно подключить лишь ограниченное число входов других элементов;
- общее число входов логического элемента ограничено;
- конечное время распространения сигнала в логических элементах может в отдельных случаях привести к нарушению работоспособности цифрового устройства.

Логические элементы являются простейшими комбинационными цифровыми устройствами и выполняют элементарные логические операции над двоичными переменными. Разнообразие типов логических элементов объясняется тем, что каждый из них обладает определенными преимуществами по электрическим и эксплуатационным характеристикам и параметрам и ориентирован на свою область применения.

Инв. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Инв. №	Подп. и дата	ФЭТ КП.431271.001 ПЗ	Лист
						4
Изм.	Лист	№ доквм.	Подп.	Дата		

1 АНАЛИЗ СХЕМОТЕХНИЧЕСКОЙ РЕАЛИЗАЦИИ КОМБИНАЦИОННОГО ЦИФРОВОГО УСТРОЙСТВА

Среди современных потенциальных цифровых интегральных микросхем доминируют три схемно-технологических направления построения интегральных микросхем: транзисторно-транзисторная логика (с диодами Шоттки), эмиттерно-связанная логика, логика на комплементарных МДП-транзисторах (КМОП-логика).

Рассматриваемая комбинационная схема является схемой транзисторно-транзисторной логики. К достоинствам комбинационных схем транзисторно-транзисторной логики (ТТЛ) относится высокий уровень схемно-технологической проработки, а также хорошие электрические параметры и характеристики:

- сравнительно высокое быстродействие при средней потребляемой мощности или среднее быстродействие при малой потребляемой мощности;
- малая работа переключения;
- высокая абсолютная и относительная помехоустойчивость;
- высокая статическая и динамическая нагрузочная способность.

В логических элементах ТТЛ удачно сочетаются высокие схемотехнические, технологические, логические и конструктивные качества, а логические элементы ТТЛ являются элементной базой для микросхем среднего и высокого быстродействия.

Рассматриваемая схема комбинационного цифрового устройства реализует логическую функцию И-НЕ и содержит каскад на многоэмиттерном транзисторе (МЭТ), выполняющий логическую функцию «И», и транзисторный ключ-инвертор (рисунок 1.1). Инвертор состоит из фазораспределяющего каскада (VT1, R2), содержащего корректирующую цепочку (VT2, R3, R4), и выходного двухтактного усилителя мощности (VT3, VT4, VD3, R5). Фазораспределяющий каскад предназначен для противофазного переключения транзисторов VT3 и VT4, а корректирующая цепочка обеспечивает повышение помехоустойчивости базового логического элемента [2].

Инд. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Инд. №	Подп. и дата
--------	--------------	------------	--------	--------------

					ФЭТ КП.431271.001 ПЗ	Лист 5
Изм.	Лист	№ доквм.	Подп.	Дата		

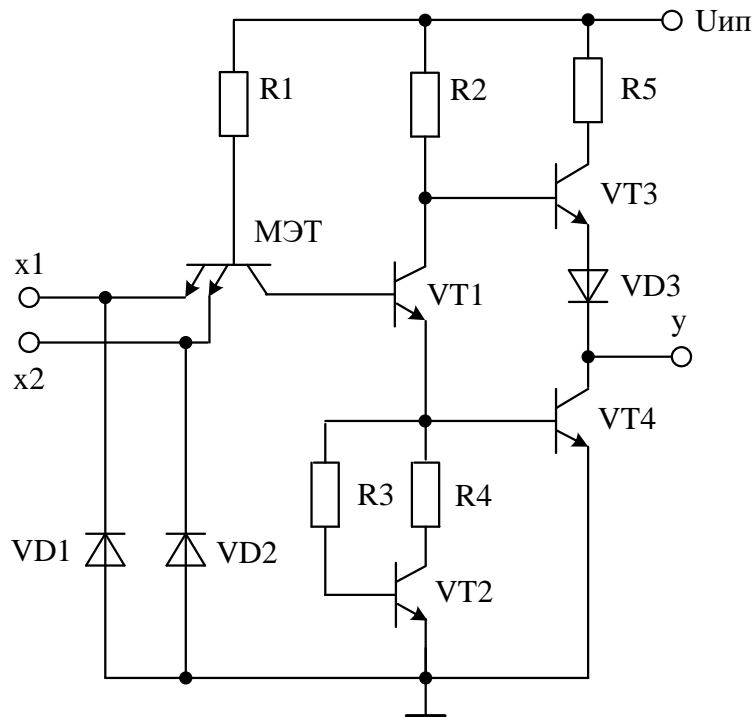


Рисунок 1.1 – Схема логического элемента И-НЕ ТТЛ

В интервале входных напряжений $0,7\text{ В} < U_{\text{вх}} < 1,4\text{ В}$ эмиттерный переход транзистора VT1 хотя и открывается, однако эмиттерный и коллекторный токи транзистора VT1 не протекают до тех пор, пока не откроется транзистор VT4. Когда напряжение на входе достигает значения 1,4 В транзистор VT4 открывается, затем открывается транзистор VT3 и на выходе формируется напряжение логической единицы $U_{\text{вых}}^0$. Таким образом, с корректирующей цепочкой схема более устойчива к помехам в интервале входных напряжений $0,7\text{ В} < U_{\text{вх}} < 1,4\text{ В}$.

Для защиты многоэмиттерного транзистора от помех отрицательной полярности, возникающих в линиях связи, на входах логического элемента включены диоды VD1, VD2.

Инв. №	Подп. и дата		Инв. №	Подп. и дата	
	Взам. инв.			Инв. №	
Изм.		Лист	№ доквм.		Подп.
					Дата
ФЭТ КП.431271.001 ПЗ					Лист
					6

2 АНАЛИТИЧЕСКИЕ СООТНОШЕНИЯ ДЛЯ РАСЧЕТА СТАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

Предположим, что на одном из входов схемы рисунка 1.1 напряжение плавно изменяется от уровня логического нуля до уровня логической единицы, а на остальных $k_{об} - 1$ входах поддерживается неизменным, равным уровню логической единицы.

Когда $u_{вх1} = U^0$, то соответствующий эмиттерный переход многоэмиттерного транзистора МЭТ открыт и потенциал его базы

$$U'_{бМЭТ} = U^0 + U^*,$$

где U^* – падение напряжения на прямо смещенном $p-n$ -переходе.

Ток базы МЭТ определяется выражением:

$$I'_{бМЭТ} = \frac{U_{ипп} - U'_{бМЭТ}}{R_1} = \frac{U_{ипп} - U^0 - U^*}{R_1}.$$

Коллекторный переход МЭТ также открыт, поэтому $k_{об} - 1$ эмиттерных переходов МЭТ работают в инверсном активном режиме и через каждый из них вытекает входной ток логической единицы

$$I^1_{вх} = \beta_I I'_{бМЭТ} = \beta_I \frac{U_{ипп} - U^0 - U^*}{R_1}. \quad (2.1)$$

Через открытый эмиттерный переход вытекает входной ток логического нуля:

$$\begin{aligned} I^0_{вх} &= I'_{бМЭТ} + (k_{об} - 1) I^1_{вх} = [1 + (k_{об} - 1) \beta_I] I'_{бМЭТ} = \\ &= [1 + (k_{об} - 1) \beta_I] \frac{U_{ипп} - U^0 - U^*}{R_1}. \end{aligned} \quad (2.2)$$

Потенциал на базе транзистора VT1 равен

$$U_{б1} = U^0 + U_{остМЭТ} < U^*,$$

где $U_{остМЭТ}$ – остаточное напряжение на насыщенном МЭТ.

Инд. №	Взам. инв.	Инд. №	Подп. и дата
--------	------------	--------	--------------

					ФЭТ КП.431271.001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ доквм.	Подп.	Дата		7

Остаточное напряжение определяется выражением:

$$U_{\text{остМЭТ}} = m\varphi_T \ln \frac{1 + k_{\text{об}} \beta_I}{\beta_I},$$

где φ_T – тепловой потенциал; $m = (1 \div 2)$ – параметр аппроксимации вольт-амперных характеристик транзистора.

Транзисторы VT1, VT2, VT4 закрыты, транзистор VT3 открыт и на выходе схемы устанавливается напряжение логической единицы:

$$U^1 = U_{\text{ип}} - 2U^* - R_2 I_{\text{б3}} = U_{\text{ип}} - 2U^* - \frac{R_2}{\beta_3 + 1} I_{\text{н}}^1 \approx U_{\text{ип}} - 2U^*, \quad (2.3)$$

где $I_{\text{н}}^1$ – выходной ток, отдаваемый в нагрузку выключенным элементом.

Когда в качестве нагрузки выступают входы аналогичных базовых логических элементов, ток нагрузки определяется как

$$I_{\text{н}}^1 = k_{\text{раз}} I_{\text{вх}}^1 = k_{\text{раз}} \beta_I \frac{U_{\text{ип}} - U^0 - U^*}{R_1}, \quad (2.4)$$

следовательно,

$$U^1 = U_{\text{ип}} - 2U^* - \frac{R_2 k_{\text{раз}} \beta_I}{R_1 (\beta_3 + 1)} (U_{\text{ип}} - U^0 - U^*) \approx U_{\text{ип}} - 2U^*. \quad (2.5)$$

При увеличении $u_{\text{вх1}}$ потенциалы на базах МЭТ и VT1 возрастают в соответствии с выражениями:

$$u_{\text{бМЭТ}} = u_{\text{вх1}} + U^*, \quad u_{\text{б1}} = u_{\text{вх1}} + U_{\text{остМЭТ}}. \quad (2.6)$$

Когда напряжение $u_{\text{вх1}}$ становится равным пороговому напряжению $U_{\text{пор}}$, потенциал $u_{\text{б1}} = 2U^*$, транзисторы VT1, VT2 и VT4 открываются, а транзистор VT3 закрывается. Из выражения (2.6) находим

$$U_{\text{пор}} = 2U^* - U_{\text{остМЭТ}}. \quad (2.7)$$

Инв. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Инв. №	Подп. и дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ФЭТ КП.431271.001 ПЗ	Лист
											8

После включения транзистора VT1 потенциал на базе МЭТ устанавливается на уровне $U''_{6\text{ МЭТ}} = u_{61} + u_{6к\text{ МЭТ}} \approx 3U^*$. Ток базы МЭТ определяется выражением

$$I''_{6\text{ МЭТ}} = \frac{U_{\text{ип}} - U''_{6\text{ МЭТ}}}{R_1} \approx \frac{U_{\text{ип}} - 3U^*}{R_1}.$$

При дальнейшем увеличении $u_{\text{вх1}}$ все эмиттерные переходы МЭТ оказываются запертыми, МЭТ работает в инверсном активном режиме и через каждый из эмиттерных переходов втекает входной ток логической единицы

$$I^1_{\text{вх}} = \beta_I I''_{6\text{ МЭТ}} \approx \beta_I \frac{U_{\text{ип}} - 3U^*}{R_1}. \quad (2.8)$$

Через коллекторный переход МЭТ в базу VT1 течет ток, вызывающий его насыщение:

$$I_{61} = I''_{6\text{ МЭТ}} + k_{об} I^1_{\text{вх}} = (1 + k_{об} \beta_I) I''_{6\text{ МЭТ}} \approx (1 + k_{об} \beta_I) \frac{U_{\text{ип}} - 3U^*}{R_1}.$$

На выходе схемы устанавливается напряжение логического нуля:

$$U^0 = U_{кэ4\text{нас}} = m_{\phi_T} \ln \frac{\beta + k_{\text{нас}} (\beta_I + 1)}{\beta_I (k_{\text{нас}} - 1)}, \quad (2.9)$$

где $k_{\text{нас}}$ – коэффициент насыщения транзистора VT4.

Помехозащищенность элемента по уровню логического нуля $U^0_{\text{п}}$ и по уровню логической единицы $U^1_{\text{п}}$ определяется выражениями:

$$U^0_{\text{п}} = U_{\text{пор}} - U^0 = 2U^* - U_{\text{ост МЭТ}} - U^0, \quad (2.10)$$

$$U^1_{\text{п}} = U^1 - U_{\text{пор}} \approx U_{\text{ип}} - 4U^*. \quad (2.11)$$

Нагрузочная способность элемента определяется коэффициентом разветвления

$$k_{\text{раз}} = \min(k^1_{\text{раз}}, k^0_{\text{раз}}),$$

где $k^1_{\text{раз}}$ – коэффициент разветвления выключенного элемента;

Инв. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Инв. №	Подп. и дата	Изм.	Лист	№ доквм.	Подп.	Дата	ФЭТ КП.431271.001 ПЗ	Лист
											9

$k_{\text{раз}}^0$ – коэффициент разветвления включенного элемента.

Коэффициент разветвления выключенного элемента можно определить из выражения (2.5):

$$k_{\text{раз}}^1 = \frac{R_1(\beta + 1)(U_{\text{ип}} - 2U^* - U^1)}{R_2\beta_I(U_{\text{ип}} - U^0 - U^*)}. \quad (2.12)$$

Выражая допустимый уровень напряжения логической единицы из (2.11) с учетом (2.7), получим

$$k_{\text{раз}}^1 = \frac{R_1(\beta + 1)(U_{\text{ип}} - 4U^* + U_{\text{ост МЭТ}} - U_{\text{п}}^1)}{R_2\beta_I(U_{\text{ип}} - U^0 - U^*)}. \quad (2.13)$$

Коэффициент разветвления включенного элемента определяется отношением

$$k_{\text{раз}}^0 = \frac{I_{\text{н}}^0}{I_{\text{вх}}^0}, \quad (2.14)$$

где $I_{\text{вх}}^0$ выражается формулой (2.2), а $I_{\text{н}}^0$ определяется выражением:

$$\begin{aligned} I_{\text{н}}^0 &= I_{\text{к4нас}} = \frac{\beta}{k_{\text{нас}}} I_{\text{б4}} = \\ &= \frac{\beta}{k_{\text{нас}}} \left[(1 + k_{\text{об}}\beta_I) \frac{U_{\text{ип}} - 3U^*}{R_1} + \frac{U_{\text{ип}} - U^* - U_{\text{кэ1нас}}}{R_2} - \frac{U^* - U_{\text{кэ2нас}}}{R_4} \right]. \end{aligned} \quad (2.15)$$

В результате подстановки (2.2) и (2.15) в (2.14) получим

$$k_{\text{раз}}^0 = \frac{\beta \left[(1 + k_{\text{об}}\beta_I) \frac{U_{\text{ип}} - 3U^*}{R_1} + \frac{U_{\text{ип}} - U^* - U_{\text{кэ1нас}}}{R_2} - \frac{U^* - U_{\text{кэ2нас}}}{R_4} \right]}{k_{\text{нас}} \left[1 + (k_{\text{об}} - 1)\beta_I \right] \frac{(U_{\text{ип}} - U^0 - U^*)}{R_1}}. \quad (2.16)$$

Изм.	Лист	№ доквм.	Подп.	Дата
Индв. №	Взам. инв.	Индв. №	Подп. и дата	

Средняя статическая потребляемая мощность:

$$P_{\text{п.ср}} = \frac{P_{\text{п}}^0 + P_{\text{п}}^1}{2} = U_{\text{ип}} \frac{I_{\text{п}}^0 + I_{\text{п}}^1}{2}, \quad (2.17)$$

где $I_{\text{п}}^0, I_{\text{п}}^1$ – токи; $P_{\text{п}}^0 = U_{\text{ип}} I_{\text{п}}^0, P_{\text{п}}^1 = U_{\text{ип}} I_{\text{п}}^1$ – мощности, потребляемые включенным и выключенным элементом соответственно.

Токи, потребляемые логическим элементом, находятся с помощью соотношений:

$$I_{\text{п}}^0 = I'_{6\text{МЭТ}} + I_{R2} \approx \frac{U_{\text{ип}} - 3U^*}{R_1} + \frac{U_{\text{ип}} - U^* - U_{\text{кэ1нас}}}{R_2}, \quad (2.18)$$

$$I_{\text{п}}^1 = I''_{6\text{МЭТ}} \approx \frac{U_{\text{ип}} - U^* - U^0}{R_1}. \quad (2.19)$$

Подставляя (2.18) и (2.19) в (2.17), получим

$$P_{\text{п.ср}} = \frac{U_{\text{ип}}}{2} \left(\frac{2U_{\text{ип}} - 4U^* - U^0}{R_1} + \frac{U_{\text{ип}} - U^* - U_{\text{кэ1нас}}}{R_2} \right). \quad (2.20)$$

Инв. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Инв. №	Подп. и дата	ФЭТ КП.431271.001 ПЗ	Лист
						11
Изм.	Лист	№ доквм.	Подп.	Дата		

3 РАСЧЕТ СТАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

Расчет статических параметров схемотехнической реализации комбинационного цифрового устройства базируется, в частности, на данных, представленных в [1, 3, 4].

Исходными данными для расчета являются: напряжение питания $5\text{ В} \pm 10\%$; коэффициент объединения по входу $k_{об} = 2$; коэффициент разветвления $k_{раз} = 8$; коэффициент насыщения транзисторов VT1 – VT4 $k_{нас} = 1,5$; коэффициент усиления транзисторов VT1 – VT4 $\beta = 30$; инверсный коэффициент усиления МЭТ $\beta_I = 0,05$; средняя мощность потребления в статическом режиме $P_{п.ср} = 20\text{ мВт}$; уровень напряжений логической «1» $U_{ВЫХ}^1 = U_{ВХ}^1 = U^1 = 3,6\text{ В}$.

Принимаем падение напряжения на открытом *p-n*-переходе транзистора и диода $U^* = U_{бэМЭТ} = U_{бэнасVT} = U_{VD} = 0,7\text{ В}$. Полагаем, что падение напряжения на переходе коллектор – эмиттер насыщенных транзисторов $U_{кэнасVT} = 0,3\text{ В}$, напряжение база – коллектор МЭТ $U_{бкМЭТ} = 0,4\text{ В}$, а остаточное напряжение МЭТ $U_{остМЭТ} = 0,25\text{ В}$.

Поскольку схемотехника полупроводниковых интегральных микросхем направлена на то, чтобы их характеристики определялись не абсолютными значениями сопротивлений, а главным образом их отношениями, задаемся отношением $\frac{R_1}{R_2} = k_{1,2} = 2,5$ сопротивлений резисторов R_1 , R_2 и определяем формулу для нахождения сопротивления резистора R_2 :

$$R_2 = \frac{R_1}{k_{1,2}} = \frac{R_1}{2,5}. \quad (3.1)$$

Инд. №	Подп. и дата
Взам. инв.	
Инд. №	
Подп. и дата	
Инд. №	

Изм.	Лист	№ доквм.	Подп.	Дата	ФЭТ КП.431271.001 ПЗ	Лист
						12

Из выражения (2.20) для значения $P_{п.ср}$ после подстановки в него выражения $R_2 = R_1 (k_{1,2})^{-1}$ получаем уравнение для нахождения величины сопротивления резистора R_1 :

$$R_1 = \frac{U_{инп} \left[2U_{инп} - 4U^* - U^0 + k_{1,2} (U_{инп} - U^* - U_{кэ1нас}) \right]}{2P_{п.ср}}. \quad (3.2)$$

Подставляя числовые значения в уравнение (3.2), находим значение сопротивления резистора R_1 :

$$R_1 = \frac{5 \left[2 \cdot 5 - 4 \cdot 0,7 - 0,3 + 2,5(5 - 0,7 - 0,3) \right]}{2 \cdot 20 \cdot 10^{-3}} = 2,1 \cdot 10^3 \text{ Ом.}$$

Используя уравнение (3.1), находим значение сопротивления резистора R_2 :

$$R_2 = 2,1 \cdot 10^3 (2,5)^{-1} = 0,84 \cdot 10^3 \text{ Ом.}$$

Задаемся отношением $\frac{R_2}{R_3} = k_{2,3} = 1,5$ сопротивлений резисторов R_2 , R_3

и определяем сопротивление:

$$R_3 = R_2 (k_{2,3})^{-1} = 0,84 \cdot 10^3 (1,5)^{-1} = 0,56 \cdot 10^3 \text{ Ом.}$$

Задаемся отношением $\frac{R_2}{R_4} = k_{2,4} = 10$ сопротивлений резисторов R_2 , R_4

и определяем сопротивление:

$$R_4 = R_2 (k_{2,3})^{-1} = 0,84 \cdot 10^3 (10)^{-1} = 84 \text{ Ом.}$$

Полагаем, что в рассматриваемом схмотехническом решении комбинационного цифрового устройства

$$R_5 = R_2 = 0,84 \cdot 10^3 \text{ Ом.}$$

Инв. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Инв. №	Подп. и дата	ФЭТ КП.431271.001 ПЗ	Лист
						13
Изм.	Лист	№ доквм.	Подп.	Дата		

Согласно (2.8), входной ток логической «1» (через каждый закрытый эмиттерный переход многоэмиттерного транзистора)

$$I_{\text{вх}}^1 = \frac{0,05(5 - 3 \cdot 0,7)}{2,1 \cdot 10^3} = 69 \cdot 10^{-6} \text{ А.}$$

Используя уравнение (2.2), определяем входной ток логического «0» (один эмиттерный переход многоэмиттерного транзистора открыт, другой – закрыт):

$$I_{\text{вх}}^0 = [1 + (2 - 1)0,05] \frac{5 - 0,3 - 0,7}{2,1 \cdot 10^3} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ А.}$$

Используя уравнение (2.7), определяем напряжение порога переключения:

$$U_{\text{пор}} = 2U^* - U_{\text{ост МЭТ}} = 2 \cdot 0,7 - 0,3 = 1,1 \text{ В.}$$

Определяем ток, потребляемый элементом в состоянии логического «0» на выходе:

$$I_{\text{п}}^0 \approx \frac{U_{\text{ип}} - 3U^*}{R_1} + \frac{U_{\text{ип}} - U^* - U_{\text{кэ1 нас}}}{R_2} = \frac{5 - 3 \cdot 0,7}{2,1 \cdot 10^3} + \frac{5 - 0,7 - 0,3}{0,84 \cdot 10^3} = 6,1 \cdot 10^{-3} \text{ А.}$$

Определяем ток, потребляемый элементом в состоянии логической «1» на выходе:

$$I_{\text{п}}^1 \approx \frac{U_{\text{ип}} - U^* - U^0}{R_1} = \frac{5 - 0,7 - 0,3}{2,1 \cdot 10^3} = 1,9 \cdot 10^{-3} \text{ А.}$$

Тогда средняя мощность потребления в статическом режиме

$$P_{\text{п.ср}} = U_{\text{ип}} \frac{I_{\text{п}}^0 + I_{\text{п}}^1}{2} = 5 \frac{6,1 \cdot 10^{-3} + 1,9 \cdot 10^{-3}}{2} = 20 \cdot 10^{-3} \text{ Вт.}$$

Коэффициент разветвления включенного элемента определяется отношением (2.16), используя которое, получаем:

$$k_{\text{раз}}^0 = \frac{30 \left[(1 + 2 \cdot 0,05) \left(\frac{5 - 3 \cdot 0,7}{2,1 \cdot 10^3} \right) + \left(\frac{5 - 0,7 - 0,3}{0,84 \cdot 10^3} \right) - \left(\frac{0,7 - 0,3}{84} \right) \right]}{1,5 [1 + (2 - 1)0,05] \frac{(5 - 0,3 - 0,7)}{2,1 \cdot 10^3}} = 15.$$

Инд. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Инд. №	Подп. и дата
Изм.	Лист	№ доквм.	Подп.	Дата

Коэффициент разветвления выключенного элемента определяется отношением (2.12), используя которое, получаем:

$$k_{\text{раз}}^1 = \frac{2,1 \cdot 10^3 (30+1)(5-2 \cdot 0,7-3,5)}{0,84 \cdot 10^3 \cdot 0,05(5-0,3-0,7)} = 39.$$

Инв. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Инв. №	Подп. и дата	Изм.	Лист	№ докв.	Подп.	Дата	ФЭТ КП.431271.001 ПЗ	Лист
											15

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ схемотехнической реализации комбинационного цифрового устройства, реализующего логическую функцию И-НЕ, приводит к заключению:

1. Получены аналитические выражения для определения основных статических параметров комбинационного цифрового устройства транзисторно-транзисторной логики, реализующего логическую функцию И-НЕ.
2. Разработана методика, обеспечивающая получение числовых значений основных статических параметров.
3. Предлагается при реализации рассматриваемого схемотехнического решения в виде ИМС использовать диффузионные резисторы p -типа, полученные при базовой n - p - n -диффузии.

Инв. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Инв. №	Подп. и дата	ФЭТ КП.431271.001 ПЗ					Лист
										16
					Изм.	Лист	№ доквм.	Подп.	Дата	

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Легостаев, Н. С. Микросхемотехника : учеб. пособие / Н. С. Легостаев. – Томск : Изд-во Томск. гос. ун-та систем упр. и радиоэлектроники, 2022. – 263 с.

2. ГОСТ Р57435-2017. Микросхемы интегральные. Термины и определения. Введ. 2017-08-01. – М. : Стандартиформ, 2017. – 29 с.

3. Преснухин, Л. Н. Расчет элементов цифровых устройств : учеб. пособие / Л. Н. Преснухин, Н. В. Воробьев, А. А. Шишкевич ; под ред. Л. Н. Преснухина. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Высшая школа, 1991. – 526 с.

4. Легостаев, Н. С. Микроэлектроника : учеб. пособие / Н. С. Легостаев, К. В. Четвергов. – Томск : Эль Контент, 2013. – 172 с.

Инв. №	Подп. и дата	Взам. инв.	Инв. №	Подп. и дата					
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ФЭТ КП.431271.001 ПЗ				
					Лист				
					17				

Перв. примен.

Справ. №

Подп. и дата

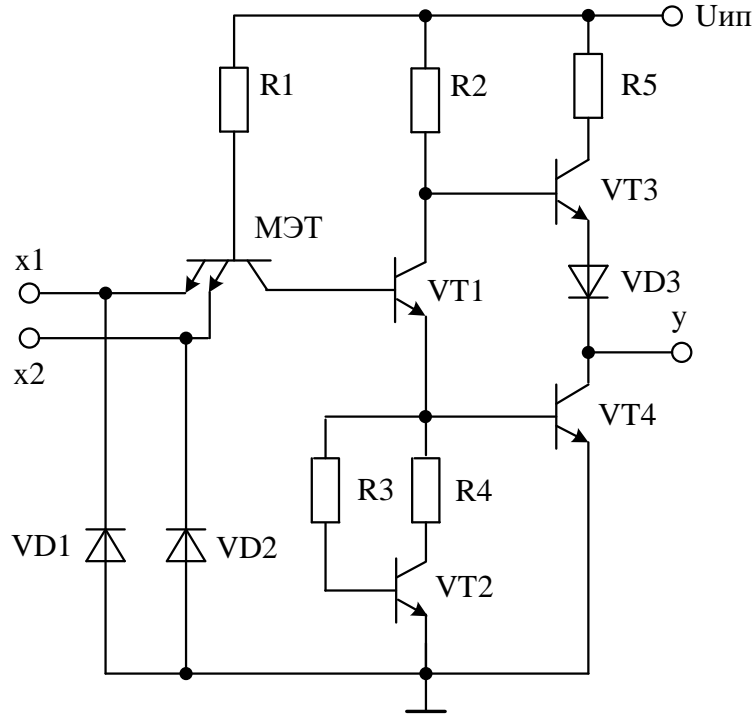
Инв. №

Взам. инв.

Подп. и дата

Инв. №

ПРИЛОЖЕНИЕ А



ФЭТ КП.431271.001 ЭЗ

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Иванов И.И.		
Пров.		Легостаев		
Т. Контр.				
Н. Контр.				
Утв.		Михальченко С.Г.		

Логический элемент И-НЕ
 транзисторно-транзисторной логики.
 Схема электрическая

Лит.	Лист	Листов
	18	1

ТУСУР, ФЭТ, каф ПрЭ,
 гр. 360-1

ПРИЛОЖЕНИЕ Б
Образец титульного листа

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ» (ТУСУР)

Кафедра промышленной электроники (ПрЭ)

ЛОГИЧЕСКИЙ ЭЛЕМЕНТ И-НЕ ТРАНЗИСТОРНО-ТРАНЗИСТОРНОЙ
ЛОГИКИ С УЛУЧШЕННЫМИ СТАТИЧЕСКИМИ ПАРАМЕТРАМИ

Курсовой проект
по дисциплине
«Микросхемотехника»
Пояснительная записка
ФЭТ КП.431271.001ПЗ

Студент гр. 360-1
И. И. Иванов
«__» _____ 2022 г.

Руководитель
Профессор кафедры ПрЭ,
канд. техн. наук, ст. науч. сотр.
Н. С. Легостаев
«__» _____ 2022 г.

(оценка)

Томск 2022

ПРИЛОЖЕНИЕ В**Образец задания на курсовое проектирование**

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ» (ТУСУР)

Кафедра промышленной электроники (ПрЭ)

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой ПрЭ
д-р техн. наук, доцент
_____ С. Г. Михальченко

ЗАДАНИЕ

на курсовое проектирование по дисциплине
«Микросхемотехника»

студенту _____

группа _____

Тема проекта: _____

ТРЕБОВАНИЯ К ПРОЕКТУ

ПЕРЕЧЕНЬ ПОДЛЕЖАЩИХ РАЗРАБОТКЕ РАЗДЕЛОВ

1. Анализ схемотехнической реализации цифрового комбинационного устройства
2. Аналитические соотношения для расчета статических параметров
3. Расчет статических параметров

ПЕРЕЧЕНЬ ГРАФИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА

1. Схема электрическая принципиальная

Руководитель проектирования профессор кафедры ПрЭ Н. С. Легостаев

Задание принято к исполнению

« ____ » _____ 2022 г.