

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»

Кафедра микроэлектроники

МИКРОЭЛЕКТРОНИКА

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ,
ПРОГРАММА И КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ

для студентов специальности
«Микро- и нанoeлектронные технологии и системы»
заочной формы обучения

Минск 2005

УДК 621.382.8. 049.77(075.8)
ББК 32.844. 1 я 73
М 59

Авторы-составители:
П.П. Стешенко, В.В. Шульгов

Микроэлектроника: Метод. указания, программа и контрольные задания для студ. спец. «Микро- и нанoeлектронные технологии и системы» заочной формы обуч./ П.П. Стешенко, В.В. Шульгов. – Мн.: БГУИР, 2005. – 46 с.: ил.
ISBN 985-444-808-8

Методические указания, рабочая программа и контрольные задания составлены на основании типовой программы по курсу «Микроэлектроника», утвержденной УМО вузов Республики Беларусь по образованию в области информатики и радиоэлектроники 03.06.2004 г., регистрационный № ТД-41-010/тип., а также с учетом опыта преподавания курса в ведущих вузах СНГ.

Приведены программа изучения курса, список литературы, методические указания и схемы электрические принципиальные к заданиям по курсу «Микроэлектроника».

УДК 621.382.8. 049.77 (075.8)
ББК 32.844.1 я 73

ISBN 985-444-808-8

© Стешенко П.П., Шульгов В.В.,
составление, 2005
© БГУИР, 2005

СОДЕРЖАНИЕ

Рабочая программа курса «Микроэлектроника»

Литература

Методические указания по курсу «Микроэлектроника»

Контрольные задания по курсу «Микроэлектроника»

Библиотека БГУИР

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА КУРСА «МИКРОЭЛЕКТРОНИКА»

Микроэлектроника – новое научно-техническое направление электроники – представляет собой совокупность схемотехнических, физических, химических и технологических мероприятий, позволяющих создавать высоконадёжную сложную и сверхсложную радиоэлектронную аппаратуру (РЭА), обладающую малыми габаритами, массой, рассеиваемой мощностью и стоимостью. Создание элементной базы РЭА в микроэлектронике происходит по следующим направлениям: объединение отдельных элементов РЭА и соединительных проводников в одну конструкцию (конструктивная интеграция); выполнение схемой функций преобразования информации, более сложных по сравнению с функциями отдельных элементов РЭА (схемотехническая интеграция); выполнение в едином технологическом цикле одновременно всех элементов схемы и межсоединений и одновременное формирование групповым методом большого числа схем (технологическая интеграция). При этом используются последние достижения науки и техники в различных областях физики, математики, химии, материаловедения, металлургии, точного машиностроения, радиотехники и электроники.

Задачей курса “Микроэлектроника” является подготовка научно-технической базы для изучения студентами специальных курсов (автоматическая и многоканальная связь, радиоприёмные и передающие устройства, конструирование и производство РЭА и вычислительной техники) на основе современных достижений микроэлектроники.

В курсе изучаются основы физических процессов, определяющие методы конструирования и технологии интегральных микросхем, а также характеристики и принципы применения этих микросхем в радиоэлектронной аппаратуре.

Изучение курса “Микроэлектроника” базируется на знании студентами соответствующих разделов курсов физики, математики, химии, электронных приборов, электрорадиоматериалов.

Введение

Цели и задачи современной радиоэлектроники. Основные направления развития радиоэлектроники. Четыре этапа развития радиоэлектроники. Микроэлектроника – главное направление развития радиоэлектроники. История развития микроэлектроники. Основные принципы и положения микроэлектроники. Классификация изделий микроэлектроники. Области применения микросхем. Элементы конструкций микросхемы: элемент ИМС, компонент ИМС, корпус, подложка, плата, полупроводниковая пластина, кристалл ИМС, контактные площадки. Система условных обозначений: серия, подгруппа и вид

(по функциональному назначению), характеристика материала и типа корпуса, технологический разброс электрических параметров.

1. Физические принципы работы и изготовления интегральных микросхем

Физические процессы и явления в полупроводниковых структурах, положенные в основу работы различных приборов, интегральных микросхем и их элементов. Движение носителей заряда в полупроводниках, диффузионная и дрейфовые составляющие тока, уравнение непрерывности. Контактные явления в структурах: металл-полупроводник, полупроводник-полупроводник, диэлектрик-полупроводник. Выпрямляющие, инжектирующие и омические контакты. Явления на поверхности полупроводника, поверхностные состояния и область пространственного заряда. Эффект поля.

Физические процессы в плёночных структурах, размерные эффекты. Механизмы переноса носителей зарядов: надбарьерная, термоэлектронная, туннельная эмиссии, ограниченные пространственным зарядом. Физические основы изготовления микроэлементов и микросхем: эпитаксия, диффузия, окисление, легирование, травление, испарение и конденсация атомов.

2. Полупроводниковые интегральные микросхемы

Типовые конструкции и структура полупроводниковых схем. Характеристика типовых конструкций полупроводниковых микросхем на биполярных транзисторах и МДП-структурах.

Элементы полупроводниковых микросхем. Активные элементы: биполярные и МДП-транзисторы—конструкции, структура, основные параметры и характеристики. Особенности интегральных диодов – конструкции, характеристики и параметры. Многоэмиттерный транзистор, многослойные структуры.

Пассивные элементы ИС. Полупроводниковые и плёночные резисторы – конструкции, параметры, характеристики. Конденсаторы диффузионные, оксидные, тонкоплёночные-конструкции, параметры, характеристики.

Технология изготовления полупроводниковых интегральных микросхем на биполярных транзисторах, последовательность и особенности формирования структур по эпитаксиально–планарной технологии. Методы изоляции элементов.

Технология изготовления полупроводниковых микросхем на МДП-транзисторах с различным типом проводимости канала, последовательность и особенности технологических операций.

Сборка и герметизация полупроводниковых интегральных микросхем. Типы корпусов. Основные этапы разработки полупроводниковых интегральных микросхем и их характеристика. Роль машинного проектирования и математического моделирования.

3. Гибридные интегральные микросхемы (ГИС)

Толсто- и тонкоплёночные ГИС, типовые конструкции, элементы, корпуса. Подложки гибридных микросхем, материалы, требования.

Пассивные элементы ГИС. Конфигурация, расчёт номинальных значений. Методы получения толстых плёнок. Материалы проводящих и диэлектрических паст, последовательность операций изготовления. Достоинства толстоплёночных ГИС.

Методы получения тонких плёнок: термическое испарение, катодное распыление, ионно-плазменное напыление, химическое осаждение. Методы получения конфигурации пассивных элементов: метод свободной и контактной маски, фотолитография, корректировка номиналов.

Активные элементы гибридных микросхем. Элементы конструкции ГИС, межслойная изоляция, контактные площадки, межсоединения, корпуса, выводы.

Основы проектирования и изготовления ГИС. Этапы проектирования, их характеристики. Этапы изготовления, последовательность технологических операций.

Сравнительная характеристика полупроводниковой и гибридной технологий для изготовления микросхем различного функционального назначения.

Большие гибридные интегральные схемы (БГИС). Конструкции, методы конструирования и технология изготовления многослойных коммутационных плат. Особенности проектирования и изготовления, использование машинных методов проектирования.

4. Элементы микросхемотехники

Виды логических функций. Классификация микросхем по функциональному составу и назначению. Цифровые интегральные микросхемы. Назначение, основные статические и динамические характеристики и параметры. Простейшие логические элементы: ИЛИ, И, НЕ, И-НЕ, ИЛИ-НЕ. Разновидность биполярных цифровых интегральных микросхем: РТЛ, РЕТЛ, ТТЛ, ДТЛ, ЭСЛ, И²Л-схемы. Принцип работы, параметры, схемотехнические и конструктивно-технологические особенности.

Основные типы логических микросхем на МДП-транзисторах. КМОП-логические микросхемы. Особенности применения их в электронной аппаратуре.

Интегральные триггеры. Методы построения. Основные параметры.

Линейные (аналоговые) интегральные микросхемы. Классификация по выполняемым функциям. Основные типы линейных ИМС. Особенности конструирования линейных ИМС.

Дифференциальный усилитель, принцип построения и работы, параметры, использование обратных связей.

Особенности схемотехники операционного усилителя. Применение ОУ в качестве инвертирующего и неинвертирующего усилителя, сумматора, интегратора, линейного детектора. Усилители низкой, промежуточной и высокой частоты.

ты. Интегральные схемы СВЧ-диапазона; типы, характеристики, области применения.

5. Качество и надёжность интегральных схем

Основные понятия надёжности ИС: термины, определения, критерии. Методы контроля качества и оценка надёжности микросхем. Основные виды и причины отказов ИС. Пути повышения качества и надёжности микросхем.

6. Перспективные направления развития микроэлектроники

Основные тенденции развития микроэлектроники и её потенциальные возможности. Функциональная микроэлектроника. Основные направления функциональной микроэлектроники: оптоэлектроника, акустоэлектроника, магнитоэлектроника, диэлектрическая электроника.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ефимов И.Е. , Горбунов Ю.И. , Козырь И.Я. Микроэлектроника. – М. : Высш. шк. , 1978.
2. Ефимов И.Е. , Козырь И.Я. , Горбунов Ю.И. Микроэлектроника. – М. : Высш. шк. , 1986.
3. Степаненко И.П. Основы микроэлектроники. – М. : Сов. радио , 1986.
4. Ефимов И.Е., Козырь И.Я. Основы микроэлектроники. – М.: Связь, 1975.
5. Росадо Л. Физическая электроника и микроэлектроника: Пер. с исп. / Под ред. С.И. Баскакова. – М. : Высш. шк. , 1991.
6. Маллер Р. , Кейминс Т. Элементы интегральных схем. – М. : Мир , 1989.
7. Бузанева Е.В. Микроструктуры интегральной электроники. – М. : Радио и связь , 1990.
8. Аваев И.А., Наумов Ю.Е., Фролкин В.Г. Основы микроэлектроники: Учебник для радиотехнических специальностей вузов. – М.: Радио и связь , 1990.
9. Конструирование и технология микросхем. Курсовое проектирование / Под ред. А.А. Коледова. – М. : Высш. шк. , 1984.
10. Матсон Э.А., Крыжановский Д.В., Петкевич В.И. Конструкции и расчёт микросхем и микроэлементов ЭВА. – Мн. : Выш. шк. , 1979.
11. Матсон Э.А., Крыжановский Д.В. Справ. пособие по конструированию микросхем. – Мн. : Выш. шк., 1982.
12. Колосницын Б.С., Стешенко П.П., Шульгов В.В. Полупроводниковые приборы и интегральные схемы. – Мн.: ООО "Амалфея", 2001.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО КУРСУ “МИКРОЭЛЕКТРОНИКА”

Введение

Необходимо обратить внимание на основные этапы микроминиатюризации радиоэлектронной аппаратуры, а также на предпосылки возникновения микроэлектроники.

Важным является понимание отличия интегральных микросхем от функциональных приборов.

Для понимания общих тенденций развития микроэлектроники следует знать основные достижения науки и техники, определяющие процесс данного научно-технического направления.

[3, с. 8-18], [4, с. 4-34].

Вопросы для самопроверки

1. Определите роль радиоэлектроники в современной науке и технике.
2. Дайте определение микроэлектронике.
3. Поясните отличие функциональных приборов от интегральных схем.
4. Классификация интегральных микросхем по конструктивно-технологическим признакам.
5. Области применения интегральных микросхем.

1. Физические принципы работы и изготовления ИМС

Рассматриваются процессы, явления в полупроводниковых и плёночных структурах, лежащие в основе работы микросхем и их элементов. Необходимо чётко представлять основные кинетические явления в полупроводниках, связанные с переносом носителей зарядов (диффузия, дрейф, генерация, рекомбинация).

При изучении контактных и поверхностных явлений необходимо обратить внимание на использование этих явлений при получении структур с заданными свойствами (выпрямляющие и омические контакты), а также на отрицательные влияния некоторых явлений на характеристики микроэлементов и микросхем в целом.

Как контактные, так и поверхностные явления необходимо изучать с точки зрения их использования в активных (биполярные и МДП-транзисторы, диоды) и пассивных (резисторы, конденсаторы) элементах микросхем, а также с учётом их влияния на конструктивные особенности микроэлементов и микросхем.

Изучая процессы и явления в плёночных структурах, следует обратить внимание на многообразие механизмов переноса носителей зарядов и специфику их использования при построении различных микроэлементов (туннельные переходы, контакты Шоттки, элементы на горячих электронах).

При изучении физических основ получения микроэлементов и микросхем важно разграничить процессы получения полупроводниковых структур (эпитаксия, диффузия, легирование, окисление) и процессы получения плёночных структур (испарение, конденсация). При этом необходимо уяснить, что процессы эпитаксиального выращивания позволяют получать тонкие монокристаллические слои, в которых формируются активные и пассивные элементы, а процессы диффузии, легирования и окисления служат для формирования р-п-переходов и изолирующих слоёв и областей.

[1, с. 8-88, 150-220], [3, с. 19-101, 155-192], [4, с. 35-81].

Вопросы для самопроверки

1. Назовите основные физические явления и процессы, на которых базируется микроэлектроника.

2. Поясните основные законы диффузии и дрейфа носителей заряда.

3. Назовите основные требования, предъявляемые к омическим, нелинейным и инжектирующим контактам.

4. Назовите основные свойства контакта металл-полупроводник. Поясните, как эти свойства используются.

5. Назовите основные свойства контакта двух полупроводников (р-п-переход). Поясните, как эти свойства используются в микроэлектронике.

6. Чем объясняется различие свойств полупроводников на поверхности и в объёме?

7. Что такое легирование и где оно используется?

8. Как используются поверхностные явления в микроэлектронике?

9. Назовите основные физические явления, используемые для создания интегральных микросхем.

10. Что представляет процесс эпитаксиального выращивания, для чего он применяется?

11. Что представляет процесс диффузии, для чего он применяется?

12. Назовите этапы процесса нанесения тонких плёнок, поясните, как они происходят.

13. Для каких целей используется процесс окисления?

2. Полупроводниковые интегральные микросхемы

Для понимания конструкции и структуры полупроводниковых микросхем необходимо знать объёмное расположение элементов микросхем, которые локально создаются в полупроводниковом материале.

Важно отметить принципиальные физические и технологические параметры кремния и германия.

Несмотря на общие принципы построения интегральных микросхем, следует отличать принципиально важные моменты технологических процессов изготовления и конструкции биполярных и МДП-структур.

Необходимо уметь изображать структуру и конструкцию полупроводниковых интегральных микросхем.

При изучении активных и пассивных элементов полупроводниковых интегральных микросхем следует уделить внимание отличиям этих элементов от дискретных.

Изучение технологических методов изготовления должно основываться на знании физических принципов, лежащих в основе технологических процессов.

При изучении сборочных операций следует связывать технологию сборки с конструкцией микросхемы, типоразмерами корпусов.

[1, с. 107-110, 124-130, 152-195, 221-271], [3, с. 155-178, 193-239], [4, с. 62-122].

Вопросы для самопроверки

1. Изобразите структуру полупроводниковой интегральной микросхемы на биполярных транзисторах.
2. Изобразите структуру полупроводниковой интегральной микросхемы на МДП-транзисторах.
3. Изобразите структуру полупроводниковой интегральной микросхемы на биполярных транзисторах с различным типом изоляции.
4. Как изолируются элементы в интегральной микросхеме на МДП-транзисторах?
5. Изобразите структуру пассивных элементов полупроводниковых интегральных микросхем.
6. Перечислите основные этапы изготовления интегральных микросхем.
7. Каким образом осуществляется сборка и герметизация интегральных микросхем?
8. Поясните порядок разработки топологии интегральных микросхем.

3. Гибридные интегральные микросхемы

Изучая гибридные ИМС, в первую очередь следует классифицировать их по технологии изготовления, усвоить принципы построения таких микросхем и принципиальные отличия от полупроводниковых ИМС. Необходимо знать основные конструктивные элементы и уметь их изобразить графически, а также знать типы и требования, предъявляемые к конструкции корпусов ИМС.

При изучении подложек гибридных ИМС необходимо знать требования, предъявляемые к материалу подложки, наиболее распространённые типы подложек и их деление по размерам.

При изучении пассивных элементов ГИС (резисторов, конденсаторов, индуктивностей) основное внимание необходимо уделить материалам, используемым для получения пассивных элементов, и зависимости электрических параметров от используемого материала. Необходимо знать расчётные соотношения для определения номинальных значений элементов, а

также ограничения, накладываемые технологией и конструкцией на максимальные значения сопротивлений, ёмкостей и индуктивностей.

Изучая проводящие, изолирующие слои и контактные площадки, необходимо знать основные характеристики применяемых материалов и типовые геометрические размеры (ширина, толщина, минимальные расстояния между элементами).

Изучив электрические параметры плёночных резисторов и ёмкостей, следует сравнить их с параметрами диффузионных резисторов и ёмкостей на основе р-п-перехода с целью выявления принципиальных преимуществ элементов гибридных ИМС.

Изучая технологию получения толстоплёночных ГИС, необходимо знать материалы, методы и последовательность нанесения отдельных слоёв, а также уметь изобразить упрощённую схему нанесения паст через сетку-трафарет.

При изучении методов получения тонких плёнок следует выяснить преимущества и недостатки каждого метода, знать методы получения конфигурации пассивных элементов, обратить внимание на вопросы адгезии, методы корректировки номиналов пассивных элементов, а также уметь изобразить схематически подколпачное устройство вакуумной камеры для каждого из методов получения тонких плёнок.

В результате изучения технологических методов следует чётко знать последовательность этапов изготовления плёночных ИМС, уметь объяснить процессы на каждом этапе, знать методы монтажа и конструктивные особенности активных компонентов, определить преимущества и недостатки полупроводниковой, толстоплёночной и тонкоплёночной технологий получения ИМС.

Изучая большие гибридные интегральные схемы (БГИС), конструкции и методы их изготовления, необходимо уяснить их преимущества перед полупроводниковыми. Следует помнить, что БГИС, сочетая достоинства плёночной и полупроводниковой технологий, наиболее универсальны и позволяют получать как аналоговые, так и аналого-цифровые ИМС.

Основной проблемой при создании БГИС является разработка многослойных коммутационных плат, поэтому на конструкцию и технологию изготовления таких плат нужно обратить особое внимание.

При изучении особенностей проектирования ГИС и БГИС необходимо учитывать специфические требования к таким микросхемам, а также обратить внимание на принципы разработки топологии, так как этот материал входит в контрольные задания.

[1, с. 110-119, 130-146, 195-220, 171-283], [3, с. 176-192], [4, с. 123-161].

Вопросы для самопроверки

1. Что представляют собой гибридные ИМС?
2. Поясните классификацию гибридных ИМС по технологическому принципу изготовления.
3. Назовите основные конструктивные элементы гибридной ИМС.

4. Каким образом навесные активные компоненты соединяются с пассивными элементами?

5. Перечислите основные требования, предъявляемые к материалу подложки гибридных ИМС; назовите основные материалы подложек, используемые в настоящее время.

6. Изобразите и поясните возможные конструкции тонкоплёночного резистора.

7. Назовите основные материалы, используемые для получения тонкоплёночных резисторов, приведите основные характеристики этих материалов.

8. Назовите ориентировочные значения ТКС тонкоплёночных резисторов из никрома и окиси тантала, сравните их со значениями ТКС для диффузионных резисторов полупроводниковых ИМС.

9. Изобразите и поясните конструкцию плёночного конденсатора.

10. Назовите основные материалы, используемые в качестве диэлектриков в плёночных конденсаторах.

11. Приведите основные характеристики этих материалов, а также характеристики конденсаторов на их основе.

12. Назовите основные ограничения, накладываемые на максимальные величины плёночных резисторов и конденсаторов.

13. Изобразите конструкцию тонкоплёночного индуктивного элемента, назовите типичные характеристики такой катушки индуктивности. На каких частотах предпочтительно использовать индуктивности и почему?

14. Назовите материалы, применяющиеся для создания плёночных проводников, контактных площадок и межслойной изоляции. Какие характеристики имеют эти материалы?

15. Перечислите основные этапы изготовления толстоплёночных гибридных ИМС, поясните каждый из этапов.

16. Назовите основные методы получения тонких плёнок, поясните основные преимущества и недостатки каждого из методов.

17. Изобразите принципиальную схему установки для вакуумного напыления и поясните работу установки.

18. Изобразите схему получения плёнок методом катодного распыления.

19. Перечислите три основных метода получения заданной конфигурации пассивных элементов, назовите их недостатки и преимущества.

20. Назовите основные этапы проектирования гибридных ИМС, поясните содержание каждого этапа.

4. Элементы микросхемотехники

Необходимо представлять себе двоично-десятичный код, метод взаимного преобразования и основные логические функции в алгебраическом и схемотехническом выражении. На основе этого материала изучаются разновидности цифровых интегральных микросхем, на которых строятся все функциональные узлы цифровой электронной техники.

Изучение разновидностей цифровых интегральных микросхем следует проводить по порядку их разработки, обратив внимание на усовершенствование параметров при переходе от одной серии к другой.

Изучая схемотехнические элементы микроэлектроники необходимо усвоить классификацию микросхем по функциональному признаку и особенности их конструирования, а также систему обозначений линейных ИМС.

При изучении дифференциального усилителя необходимо чётко уяснить принцип и особенности его работы.

Изучая операционный усилитель, необходимо знать назначение и работу каждого каскада, работу усилителя в целом, назначение обратных связей и их применение с целью получения заданных параметров усилителя. Обратит внимание на многоцелевое использование операционных усилителей.

При изучении интегральных микросхем СВЧ–диапазона уяснить основные типы интегральных схем по назначению и конструктивным особенностям.

[2, с. 208-243], [3, с. 348-412], [4, с. 184-214].

Вопросы для самопроверки

1. Дайте определение основных логических функций. Запишите их в алгебраическом выражении.
2. Нарисуйте схемы основных логических элементов на биполярных и МДП-транзисторах.
3. Назовите основные статические и динамические параметры цифровых интегральных микросхем.
4. Перечислите разновидности цифровых интегральных микросхем.
5. Сравните параметры цифровых интегральных микросхем на биполярных и МДП-транзисторах.
6. Дайте определение понятию “серия микросхем”.
7. Дайте определение аналоговой и цифровой ИМС.
8. Какие факторы способствуют развитию аналоговых ИМС?
9. Перечислите основные типы аналоговых ИМС.
10. Что является основой практически всех типов аналоговых ИМС?
11. Поясните, что такое интегральный операционный усилитель.
12. Перечислите основные типы интегральных схем СВЧ-диапазона, объясните их устройство и особенности.
13. Поясните работу дифференциального усилителя.
14. Перечислите назначение каскадов операционного усилителя.

5. Качество и надёжность интегральных микросхем

Изучение раздела следует начать с освоения терминов и определений теории надёжности ИМС. Необходимо чётко различать факторы, влияющие на надёжность (электрическая нагрузка, температура, окружающая среда и т.д.).

При изучении методов контроля качества и оценки надёжности ИМС, следует учесть, что они проводятся на этапе проектирования, в процессе производства и при выпуске ИМС. Необходимо знать категории испытаний и назначение каждой из категорий, а также виды испытаний, назначение каждого вида и методику их проведения.

При изучении видов и причин отказов ИМС следует уяснить, что основным видом отказов является нарушение электрической цепи (обрыв, короткое замыкание). Необходимо знать основные причины отказов полупроводниковых и гибридных ИМС.

Рассматривая пути повышения качества и надёжности ИМС, следует различать проектную, производственную и эксплуатационную надёжность и усвоить, что пути повышения надёжности различны на каждом из этапов.

[1, с. 336-411], [3, с. 412-417], [4, с. 222-246].

Вопросы для самопроверки

1. Дайте определение понятиям: критерий годности, отказ, полный отказ, условный отказ, гарантийная наработка, доверительные границы, вероятность безотказной работы, интенсивность отказов, минимальное значение вероятности безотказной работы.
2. Как связаны между собой интенсивность отказов и вероятность безотказной работы?
3. Перечислите факторы, влияющие на надёжность ИМС.
4. Как осуществляется производственный контроль надёжности ИМС?
5. Перечислите исходные данные, необходимые для проведения испытаний ИМС на надёжность.
6. Каким образом осуществляется непрерывный контроль надёжности ИМС в процессе производства?
7. Каким образом производится оценка количественных показателей надёжности ИМС на этапе проектирования?
8. Перечислите категории испытаний ИМС.
9. Как классифицируются испытания ИМС по видам воздействий?
10. Назовите основной источник отказа ИМС и его причины.
11. Поясните понятие “ускоренного получения информации о надёжности ИМС”.
12. Поясните физико-технические методы неразрушающего контроля ИМС.
13. Чем отличаются между собой конструктивная, производственная и эксплуатационная надёжности?
14. Перечислите пути увеличения надёжности ИМС.
15. Какой основной путь обеспечения надёжности ИМС при эксплуатации?
16. Как влияет число элементов БИС на их надёжность?

6. Перспективные направления развития микроэлектроники

При изучении этого раздела следует чётко представлять ограничения развития основных направлений микроэлектроники и чем они вызваны. При рассмотрении функциональной микроэлектроники необходимо изучить физические явления, на основе которых реализуются микроэлектронные устройства, а также обратить внимание на их принципиальные преимущества. Необходимо представлять устройство простейших приборов функциональной микроэлектроники.

[2, с. 266-308], [4, с. 249-260].

Вопросы для самопроверки

1. Перечислите важнейшие проблемы интегральной микроэлектроники.
2. Назовите факторы, ограничивающие возможности снижения производства $r \cdot t$ цифровых ИМС, укажите пути уменьшения $r \cdot t$.
3. Укажите основные пути повышения степени интеграции ИМС.
4. Дайте определение понятию “функциональная микроэлектроника”.
5. Какие физические явления и эффекты используются в функциональной микроэлектронике?
6. Какие процессы лежат в основе оптоэлектронных приборов?
7. Какие явления лежат в основе диэлектрической электроники?

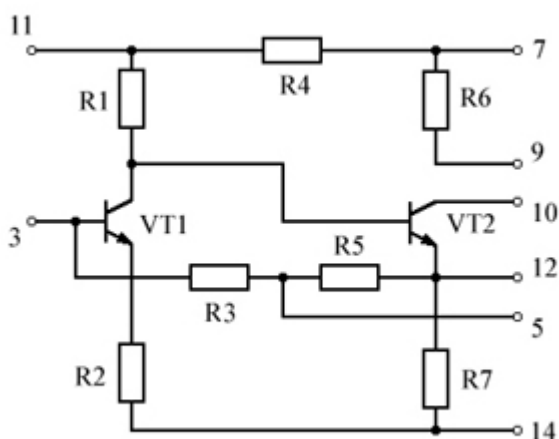
КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ по курсу «Микроэлектроника»

Контрольная работа призвана закрепить теоретический материал курса, изучаемый в рамках учебного процесса, и обеспечить применение его для практического решения конкретных задач на производстве.

Контрольное задание предусматривает разработку топологии и краткое описание этапов технологии изготовления микросхемы.

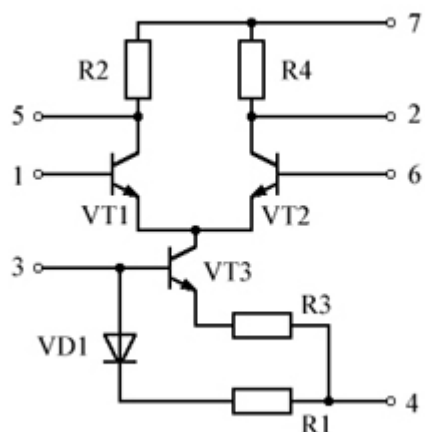
Номера контрольных заданий, варианты спецификации и другие необходимые данные выдает преподаватель. Задания № 1-15 предусматривают разработку конструкции полупроводниковой ИМС, а № 16-30 – гибридной ИМС. Например, шифр задания 11-3 означает, что необходимо разработать топологию полупроводниковой ИМС с вариантом № 3 спецификации.

1. Усилитель



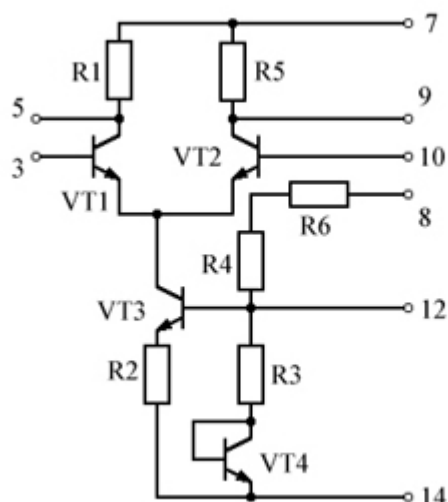
Количество устройств на подложке	а	б	в	г
	1	2	3	4
Условия эксплуатации	А		Б	
Интервал рабочих температур, °С	-10 ... +40		-60 ... +60	
Относительная влажность, %	70 при 25°С		98 при 40°С	
Рабочее напряжение схемы, В	а	б	в	г
	5	9	12	15
Частота рабочего сигнала, МГц	0,1			
СПЕЦИФИКАЦИЯ				
Элемент схемы	Варианты			
	1	2	3	
R1, кОм, ±30%; 0,1 мВт	5,7	8,2	5,1	
R2, кОм, ±30%; 0,1 мВт	0,1	0,12	0,1	
R3, кОм, ±30%; 0,05 мВт	4	4,1	3,9	
R4, кОм, ±30%; 0,1 мВт	4	4,3	4,1	
R5, кОм, ±30%; 0,05 мВт	4	4,3	4,1	
R6, кОм, ±30%; 0,1 мВт	1,7	1,9	1,5	
R7, кОм, ±30%; 0,1 мВт	0,4	0,39	0,4	

2. Дифференциальный усилитель



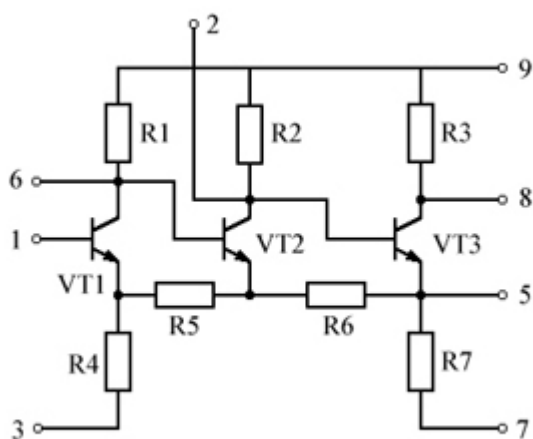
Количество устройств на подложке	а	б	в	г
	1	2	3	4
Условия эксплуатации	А		Б	
Интервал рабочих температур, °С	-10 ... +40		-60 ... +60	
Относительная влажность, %	70 при 25°С		98 при 40°С	
Рабочее напряжение схемы, В	а	б	в	г
	5	9	12	15
Частота рабочего сигнала, МГц	0,1			
СПЕЦИФИКАЦИЯ				
Элемент схемы	Варианты			
	1	2	3	
R1, кОм, ±30%; 0,05 мВт	3,6	3,3	3,9	
R2, кОм, ±20%; 0,1 мВт	6	5,7	6	
R3, кОм, ±0,05 мВт	1,8	1,7	2	
R4, кОм, ±20%; 0,1 мВт	6	5,7	6	

3. Дифференциальный усилитель



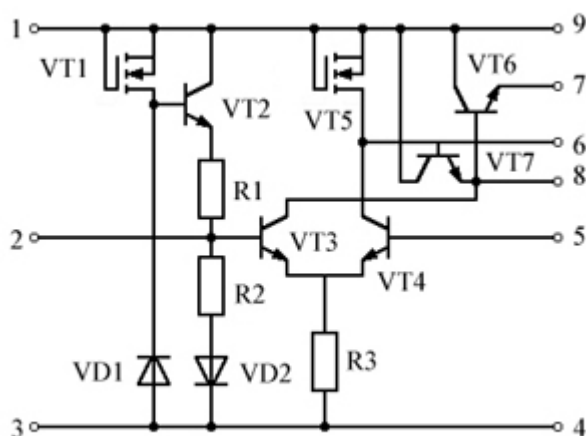
Количество устройств на подложке	а	б	в	г
	1	2	3	4
Условия эксплуатации	А		Б	
Интервал рабочих температур, °С	-10 ... +40		-60 ... +60	
Относительная влажность, %	70 при 25°С		98 при 40°С	
Рабочее напряжение схемы, В	а	б	в	г
	5	9	12	15
Частота рабочего сигнала, МГц	0,2			
СПЕЦИФИКАЦИЯ				
Элемент схемы	Варианты			
	1	2	3	
R1, кОм, ±10%; 0,2 мВт	4	4,1	3,9	
R2, кОм, ±20%; 0,2 мВт	1,8	2,1	1,8	
R3, кОм, ±30%; 0,15 мВт	4	4,1	3,9	
R4, кОм, ±30%; 0,15 мВт	1,7	1,9	1,5	
R5, кОм, ±10%; 0,2 мВт	4	4,1	3,9	
R6, кОм, ±20%; 0,15 мВт	5,7	5,1	5,9	

4. Усилитель



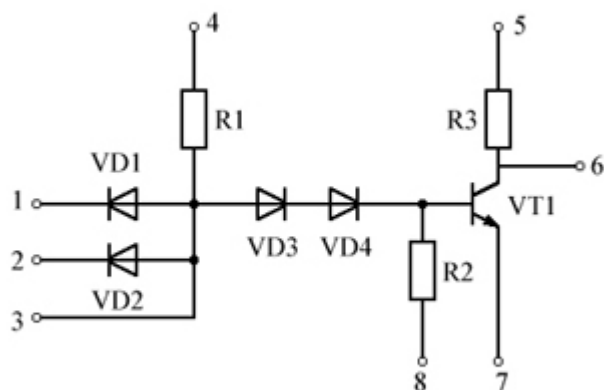
Количество устройств на подложке	а	б	в	г
	1	2	3	4
Условия эксплуатации	А		Б	
Интервал рабочих температур, °С	-10 ... +40		-60 ... +60	
Относительная влажность, %	70 при 25°С		98 при 40°С	
Рабочее напряжение схемы, В	а	б	в	г
	5	9	12	15
Частота рабочего сигнала, МГц	0,2			
СПЕЦИФИКАЦИЯ				
Элемент схемы	Варианты			
	1	2	3	
R1, кОм, ±30%; 0,1 мВт	9	8,5	9,1	
R2, кОм, ±30%; 0,1 мВт	5	5,1	4,7	
R3, кОм, ±30%; 0,1 мВт	0,6	0,51	0,68	
R4, кОм, ±20%; 0,1 мВт	0,1	0,12	0,1	
R5, кОм, ±30%; 0,05 мВт	0,43	0,47	0,39	
R6, кОм, ±30%; 0,05 мВт	6,3	6,1	6	
R7, кОм, ±20%; 0,05 мВт	0,1	0,1	0,12	

5. Вторичный источник питания



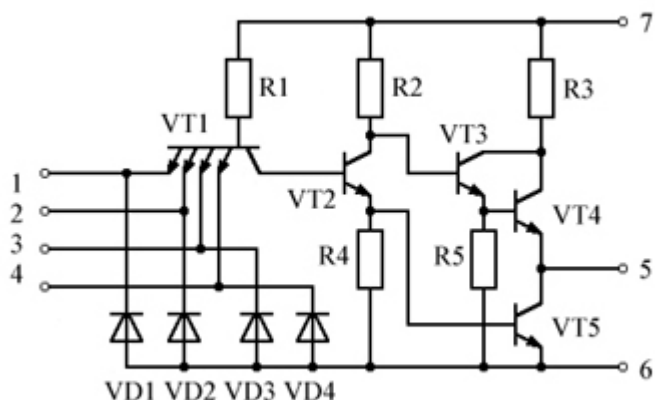
Количество устройств на подложке	а	б	в	г
	1	2	3	4
Условия эксплуатации	А		Б	
Интервал рабочих температур, °С	-10 ... +40		-60 ... +60	
Относительная влажность, %	70 при 25°С		98 при 40°С	
Рабочее напряжение схемы, В	а	б	в	г
	5	9	12	15
Частота рабочего сигнала, МГц	—			
СПЕЦИФИКАЦИЯ				
Элемент схемы	Варианты			
	1	2	3	
R1, кОм, ±20%; 0,15 мВт	5,2	5,1	4,7	
R2, кОм, ±20%; 0,15 мВт	2,2	1,9	2,1	
R3, кОм, ±20%; 0,2 мВт	2,2	2,1	1,9	

6. Логический элемент



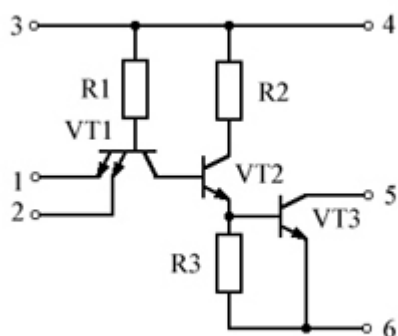
Количество устройств на подложке	а	б	в	г
	1	2	3	4
Условия эксплуатации	А		Б	
Интервал рабочих температур, °С	-10 ... +40		-60 ... +60	
Относительная влажность, %	70 при 25°С		98 при 40°С	
Рабочее напряжение схемы, В	а	б	в	г
	5	9	12	15
Частота рабочего сигнала, МГц	0,5			
СПЕЦИФИКАЦИЯ				
Элемент схемы	Варианты			
	1	2	3	
R1, кОм, ±20%; 0,2 мВт	1,5	1,2	1,5	
R2, кОм, ±30%; 0,1 мВт	4,3	4,3	4,1	
R3, кОм, ±20%; 0,1 мВт	1,8	1,5	2,1	

7. Логический элемент



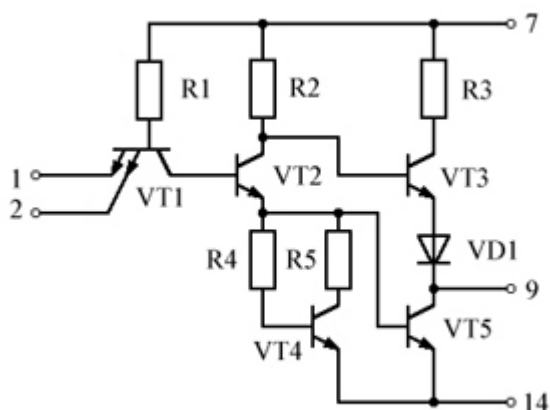
Количество устройств на подложке	а	б	в	г
	1	2	3	4
Условия эксплуатации	А		Б	
Интервал рабочих температур, °С	-10 ... +40		-60 ... +60	
Относительная влажность, %	80 при 25°С		98 при 40°С	
Рабочее напряжение схемы, В	а	б	в	г
	5	9	12	15
Частота рабочего сигнала, МГц	1,0			
СПЕЦИФИКАЦИЯ				
Элемент схемы	Варианты			
	1	2	3	
R1, кОм, ±20%; 0,2 мВт	0,39	0,41	0,39	
R2, кОм, ±20%; 0,2 мВт	1,9	1,68	1,9	
R3, кОм, ±30%; 0,1 мВт	0,67	0,51	0,68	
R4, кОм, ±30%; 0,1 мВт	0,67	0,51	0,68	
R5, кОм, ±30%; 0,2 мВт	0,81	0,63	0,82	

8. Логический элемент



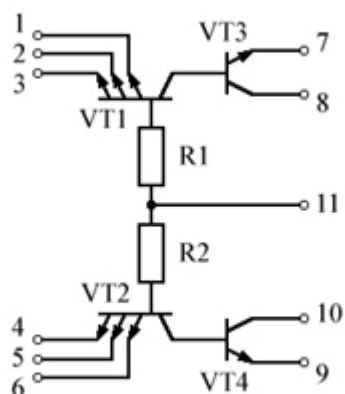
Количество устройств на подложке	а	б	в	г
	1	2	3	4
Условия эксплуатации	А		Б	
Интервал рабочих температур, °С	-10 ... +40		-60 ... +60	
Относительная влажность, %	80 при 25°С		98 при 40°С	
Рабочее напряжение схемы, В	а	б	в	г
	5	9	12	15
Частота рабочего сигнала, МГц	1,0			
СПЕЦИФИКАЦИЯ				
Элемент схемы	Варианты			
	1	2	3	
R1, кОм, ±20%; 0,2 мВт	0,4	0,39	0,41	
R2, кОм, ±20%; 0,2 мВт	1,7	1,9	1,68	
R3, кОм, ±30%; 0,1 мВт	5,1	4,7	5,1	

9. Логический элемент



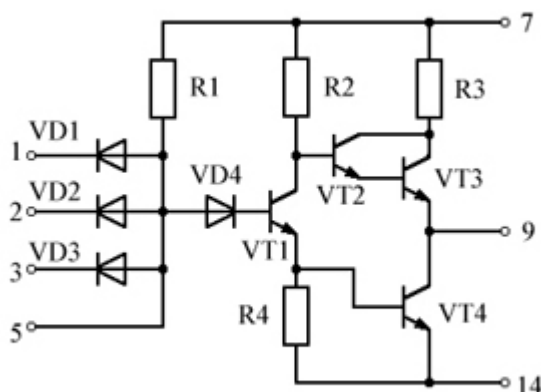
Количество устройств на подложке	а	б	в	г
	1	2	3	4
Условия эксплуатации	А		Б	
Интервал рабочих температур, °С	-10 ... +40		-60 ... +60	
Относительная влажность, %	70 при 25°С		98 при 40°С	
Рабочее напряжение схемы, В	а	б	в	г
	5	9	12	15
Частота рабочего сигнала, МГц	1,0			
СПЕЦИФИКАЦИЯ				
Элемент схемы	Варианты			
	1	2	3	
R1, кОм, ±20%; 0,2 мВт	0,56	0,51	0,56	
R2, кОм, ±20%; 0,2 мВт	1,9	1,7	2,1	
R3, кОм, ±20%; 0,2 мВт	1,9	1,7	2,1	
R4, кОм, ±30%; 0,15 мВт	0,3	0,27	0,31	
R5, кОм, ±30%; 0,15 мВт	1,3	1,1	1,3	

10. Логический элемент



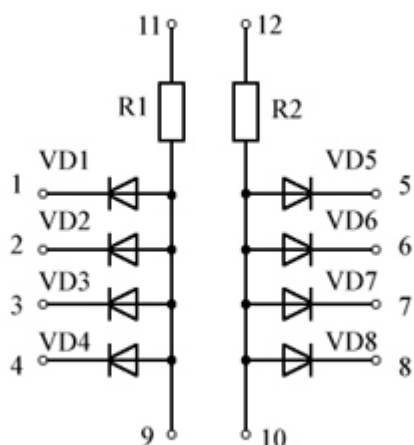
Количество устройств на подложке	а	б	в	г
	1	2	3	4
Условия эксплуатации	А		Б	
Интервал рабочих температур, °С	-10 ... +40		-60 ... +60	
Относительная влажность, %	80 при 25°С		98 при 40°С	
Рабочее напряжение схемы, В	а	б	в	г
	5	9	12	15
Частота рабочего сигнала, МГц	1,0			
СПЕЦИФИКАЦИЯ				
Элемент схемы	Варианты			
	1	2	3	
R1, кОм, ±30%; 0,2 мВт	0,6	0,57	0,51	
R2, кОм, ±30%; 0,2 мВт	0,6	0,57	0,51	

11. Логический элемент



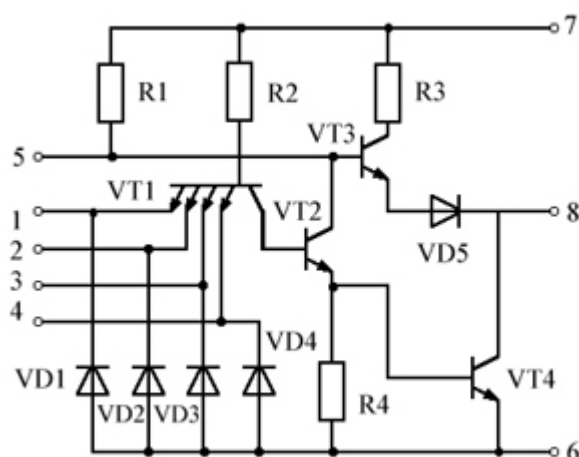
Количество устройств на подложке	а	б	в	г
	1	2	3	4
Условия эксплуатации	А		Б	
Интервал рабочих температур, °С	-10 ... +40		-60 ... +60	
Относительная влажность, %	70 при 25°С		98 при 40°С	
Рабочее напряжение схемы, В	а	б	в	г
	5	9	12	15
Частота рабочего сигнала, МГц	0,5			
СПЕЦИФИКАЦИЯ				
Элемент схемы	Варианты			
	1	2	3	
R1, кОм, ±20%; 0,2 мВт	3,2	2,9	3,1	
R2, кОм, ±20%; 0,2 мВт	1,9	1,7	1,9	
R3, кОм, ±20%; 0,2 мВт	1,9	1,9	1,9	
R4, кОм, ±30%; 0,15 мВт	5,3	5,1	4,9	

12. Расширитель



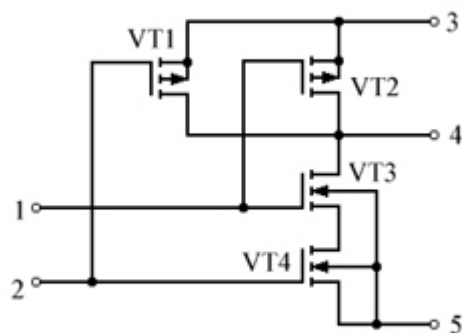
Количество устройств на подложке	а	б	в	г
	1	2	3	4
Условия эксплуатации	А		Б	
Интервал рабочих температур, °С	-10 ... +40		-60 ... +60	
Относительная влажность, %	80 при 25°С		98 при 40°С	
Рабочее напряжение схемы, В	а	б	в	г
	5	9	12	15
Частота рабочего сигнала, МГц	0,1			
СПЕЦИФИКАЦИЯ				
Элемент схемы	Варианты			
	1	2	3	
R1, кОм, ±30%; 0,1 мВт	1,5	1,2	1,47	
R2, кОм, ±30%; 0,1 мВт	1,5	1,2	1,47	

13. Логический элемент



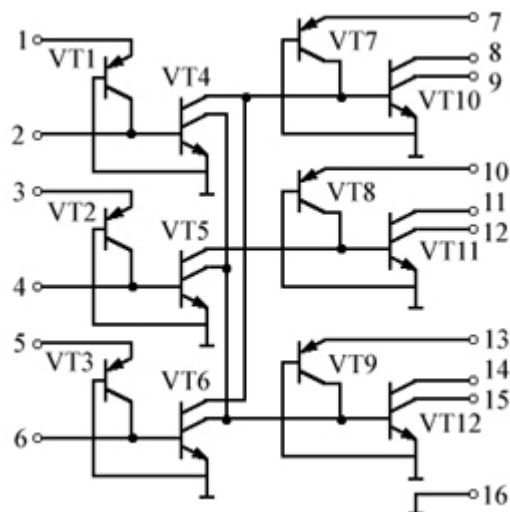
Количество устройств на подложке	а	б	в	г
	1	2	3	4
Условия эксплуатации	А		Б	
Интервал рабочих температур, °С	-10 ... +40		-60 ... +60	
Относительная влажность, %	80 при 25°С		98 при 40°С	
Рабочее напряжение схемы, В	а	б	в	г
	5	9	12	15
Частота рабочего сигнала, МГц	1,0			
СПЕЦИФИКАЦИЯ				
Элемент схемы	Варианты			
	1	2	3	
R1, кОм, ±20%; 0,2 мВт	0,45	0,47	0,45	
R2, кОм, ±20%; 0,2 мВт	2,2	1,9	2,1	
R3, кОм, ±20%; 0,2 мВт	2,2	2,1	2,2	
R4, кОм, ±30%; 0,1 мВт	0,75	0,68	0,75	

14. Логический элемент



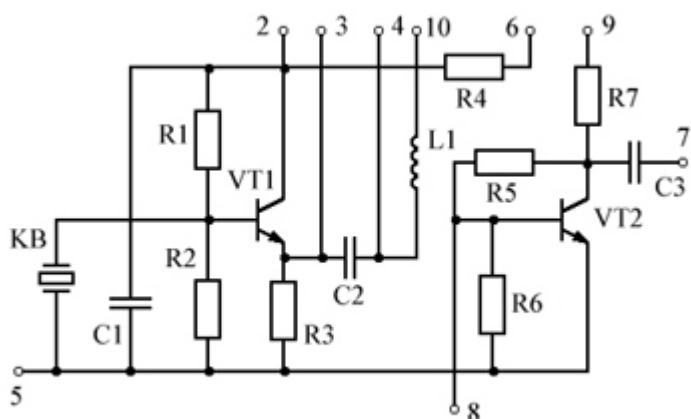
Количество устройств на подложке	а	б	в	г
	1	2	3	4
Условия эксплуатации	А		Б	
Интервал рабочих температур, °С	-10 ... +40		-60 ... +60	
Относительная влажность, %	80 при 25°С		98 при 40°С	
Рабочее напряжение схемы, В	а	б	в	г
	5	9	12	15
Частота рабочего сигнала, МГц	1,0			

15. Логический элемент



Количество устройств на подложке	а	б	в	г
	1	2	3	4
Условия эксплуатации	А		Б	
Интервал рабочих температур, °С	-10 ... +40		-60 ... +60	
Относительная влажность, %	80 при 25°С		98 при 40°С	
Рабочее напряжение схемы, В	а	б	в	г
	5	9	12	15
Частота рабочего сигнала, МГц	2,0			

16. Усилитель каскадный



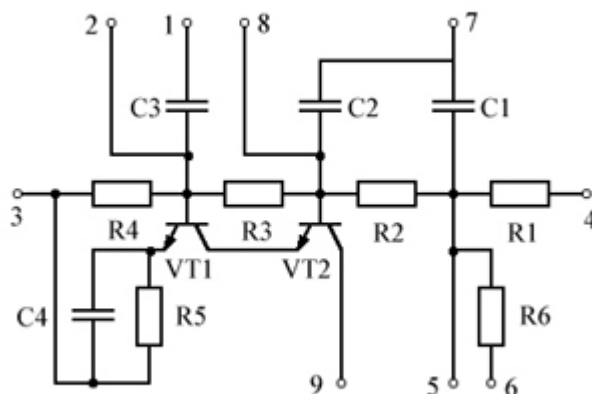
Количество устройств на подложке	а	б	в	г
	1	2	3	4
Условия эксплуатации	А		Б	
Интервал рабочих температур, °С	-10 ... +40		-60 ... +60	
Относительная влажность, %	70 при 25°С		98 при 40°С	
Рабочее напряжение схемы, В	а	б	в	г
	5	9	12	15

Частота рабочего сигнала, МГц 0,5

СПЕЦИФИКАЦИЯ

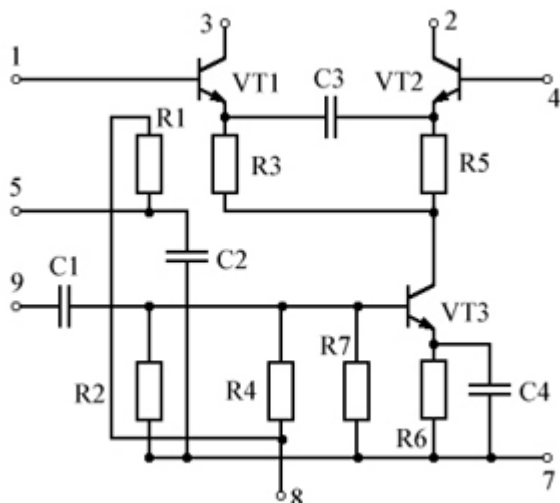
Элемент схемы	Варианты		
	1	2	3
R1, кОм, ±15%; 1 мВт	15	11	19
R2, кОм, ±15%; 1 мВт	15	11	19
R3, кОм, ±15%; 1,5 мВт	1,8	1,3	2,6
R4, кОм, ±15%; 1 мВт	2,3	2,0	3,3
R5, Ом, ±10%; 2 мВт	240	170	330
R6, кОм, ±15%; 0,5 мВт	4,3	3,9	5,1
R7, кОм, ±15%; 1 мВт	6,8	5,7	7,3
C1, пФ, ±30%	10	33	15
C2, пФ, ±20%	20	20	25
C3, пФ, ±30%	10	33	4,7
L1, мкГ ±15%	10	15	25

17. Усилитель каскадный



Количество устройств на подложке	а	б	в	г
	1	2	3	4
Условия эксплуатации	А		Б	
Интервал рабочих температур, °С	-10 ... +40		-60 ... +60	
Относительная влажность, %	70 при 25°С		98 при 40°С	
Рабочее напряжение схемы, В	а	б	в	г
	5	9	12	15
Частота рабочего сигнала, МГц	0,025			
СПЕЦИФИКАЦИЯ				
Элемент схемы	Варианты			
	1	2	3	
R1, кОм, ±20%; 5 мВт	4,3	4,9	3,7	
R2, Ом, ±30%; 10 мВт	750	930	600	
R3, кОм, ±20%; 5 мВт	4,3	4,9	3,7	
R4, кОм, ±20%; 5 мВт	5,6	6,3	4,1	
R5, Ом, ±20%; 5 мВт	300	390	270	
R6, кОм, ±30%; 5 мВт	1,4	1,9	1,1	
C1, пФ, ±30%	4700	6300	1000	
C2, пФ, ±30%	4700	6300	1000	
C3, пФ, ±30%	4700	6300	1000	
C4, пФ, ±30%	4700	6300	1000	

18. Усилитель дифференциальный



Количество устройств на подложке

а	б	в	г
1	2	3	4

Условия эксплуатации

А Б

Интервал рабочих температур, °С

-10 ... +40 -60 ... +60

Относительная влажность, %

70 при 25°С 98 при 40°С

Рабочее напряжение схемы, В

а	б	в	г
5	9	12	15

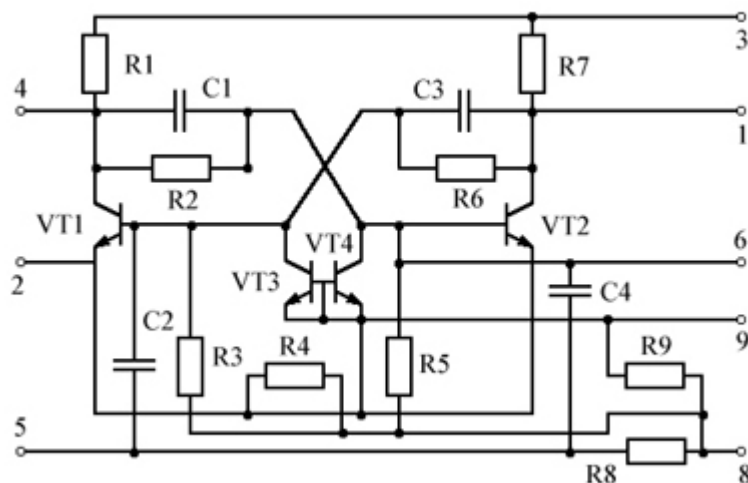
Частота рабочего сигнала, МГц

0,25

СПЕЦИФИКАЦИЯ

Элемент схемы	Варианты		
	1	2	3
R1, кОм, ±30%; 0,1 мВт	8,2	9,8	7,1
R2, кОм, ±30%; 0,1 мВт	18	22	16
R3, Ом, ±15%; 0,5 мВт	330	390	270
R4, кОм, ±20%; 0,1 мВт	13	15	11
R5, Ом, ±15%; 0,5 мВт	330	390	270
R6, Ом, ±30%; 0,5 мВт	750	900	630
R7, кОм, ±30%; 0,5 мВт	22	27	19
C1, пФ, ±30%	4700	6300	3300
C2, пФ, ±30%	4700	6300	3300
C3, пФ, ±30%	33	25	20
C4, пФ, ±30%	33	25	20

19. Триггер универсальный



Количество устройств на подложке

а	б	в	г
1	2	3	4

Условия эксплуатации

А	Б
---	---

Интервал рабочих температур, °С

-10 ... +40	-60 ... +60
-------------	-------------

Относительная влажность, %

70 при 25°С	98 при 40°С
-------------	-------------

Рабочее напряжение схемы, В

а	б	в	г
5	9	12	15

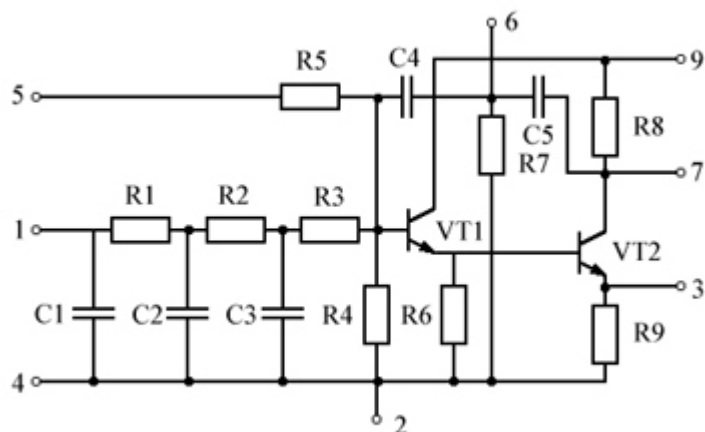
Частота рабочего сигнала, МГц

0,1

СПЕЦИФИКАЦИЯ

Элемент схемы	Варианты		
	1	2	3
R1, кОм, ±30%; 1 мВт	2,2	1,8	3,6
R2, кОм, ±15%; 0,1 мВт	22	1,8	25
R3, кОм, ±20%; 0,05 мВт	20	15	25
R4, Ом, ±20%; 0,05 мВт	150	120	170
R5, кОм, ±20%; 0,05 мВт	20	15	25
R6, кОм, ±15%; 0,1 мВт	22	18	25
R7, кОм, ±30%; 1 мВт	2,2	1,8	3,6
R8, кОм, ±30%; 0,05 мВт	15	12	23
R9, кОм, ±30%; 0,05 мВт	15	12	23
C1, пФ, ±30%	430	250	560
C2, пФ, ±20%	82	60	110
C3, пФ, ±30%	430	250	560
C4, пФ, ±20%	82	60	110

20. Фильтр нижних частот

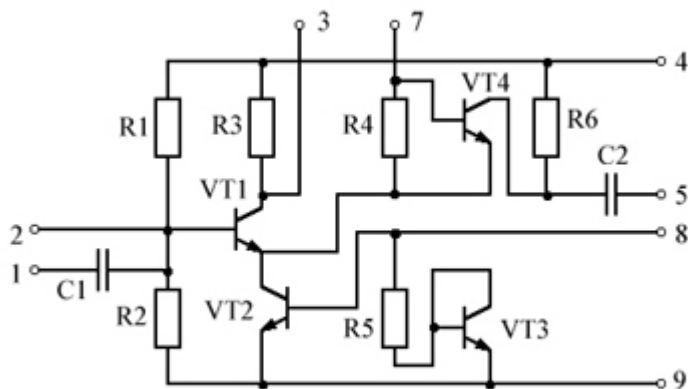


Количество устройств на подложке	а	б	в	г
	1	2	3	4
Условия эксплуатации	А		Б	
Интервал рабочих температур, °С	-10 ... +40		-60 ... +60	
Относительная влажность, %	70 при 25°С		98 при 40°С	
Рабочее напряжение схемы, В	а	б	в	г
	5	9	12	15
Частота рабочего сигнала, МГц	от 0,0003 до 0,0034			

СПЕЦИФИКАЦИЯ

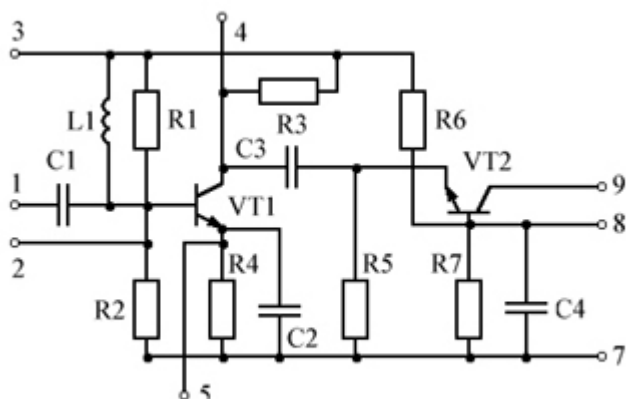
Элемент схемы	Варианты		
	1	2	3
R1, кОм, ±10%; 0,1 мВт	150		
R2, кОм, ±10%; 0,1 мВт	150		
R3, кОм, ±10%; 0,1 мВт	150		
R4, кОм, ±10%; 0,5 мВт	300		
R5, кОм, ±10%; 0,5 мВт	5,1		
R6, кОм, ±10%; 0,5 мВт	16		
R7, кОм, ±10%; 0,5 мВт	5,1		
R8, кОм, ±20%; 1 мВт	3,3		
R9, кОм, ±20%; 1 мВт	160		
C1, пФ, ±20%	680		
C2, пФ, ±20%	680		
C3, пФ, ±20%	680		
C4, пФ, ±20%	300		
C5, пФ, ±20%	300		

21. Триггер Шмитта



Количество устройств на подложке	а	б	в	г
	1	2	3	4
Условия эксплуатации	А		Б	
Интервал рабочих температур, °С	-10 ... +40		-60 ... +60	
Относительная влажность, %	70 при 25°С		98 при 40°С	
Рабочее напряжение схемы, В	а	б	в	г
	5	9	12	15
Частота рабочего сигнала, МГц	0,1			
СПЕЦИФИКАЦИЯ				
Элемент схемы	Варианты			
	1	2	3	
R1, кОм, ±30%; 3 мВт	20	30	18	
R2, кОм, ±30%; 3 мВт	10	15	9	
R3, кОм, ±20%; 5 мВт	4,7	5,6	2,3	
R4, кОм, ±30%; 3 мВт	2,4	3,1	2,1	
R5, кОм, ±30%; 1 мВт	1,2	1,9	1,0	
R6, кОм, ±20%; 5 мВт	3	4,5	2,7	
C1, пФ, ±30%	33	15	47	
C2, пФ, ±30%	25	15	47	

22. Усилитель промежуточной частоты

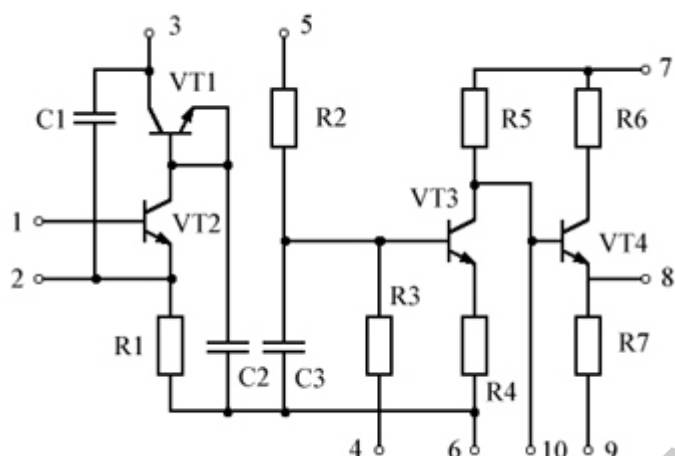


Количество устройств на подложке	а	б	в	г
	1	2	3	4
Условия эксплуатации	А		Б	
Интервал рабочих температур, °С	-10 ... +40		-60 ... +60	
Относительная влажность, %	70 при 25°С		98 при 40°С	
Рабочее напряжение схемы, В	а	б	в	г
	5	9	12	15
Частота рабочего сигнала, МГц	0,5			

СПЕЦИФИКАЦИЯ

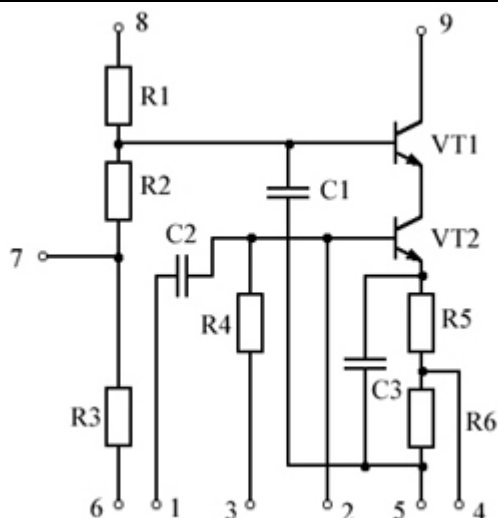
Элемент схемы	Варианты		
	1	2	3
R1, кОм, ±30%; 1 мВт	5,6	6,7	5,1
R2, кОм, ±30%; 1 мВт	5,6	6,7	5,1
R3, кОм, ±20%; 5 мВт	390	410	270
R4, Ом, ±25%; 5 мВт	680	790	560
R5, Ом, ±30%; 1 мВт	680	790	560
R6, кОм, ±25%; 3 мВт	5,6	6,7	6,4
R7, кОм, ±25%; 3 мВт	5,6	6,7	6,4
C1, пФ, ±30%	4,7	5,1	1,5
C2, пФ, ±30%	4,7	5,1	4,7
C3, пФ, ±30%	4,7	5,1	4,7
C4, пФ, ±30%	4,7	5,1	1,5
L1, мкГн	10	12	15

23. Усилитель АРУ



Количество устройств на подложке	а	б	в	г
	1	2	3	4
Условия эксплуатации	А		Б	
Интервал рабочих температур, °С	-10 ... +40		-60 ... +60	
Относительная влажность, %	70 при 25°С		98 при 40°С	
Рабочее напряжение схемы, В	а	б	в	г
	5	9	12	15
Частота рабочего сигнала, МГц	до 0,001			
СПЕЦИФИКАЦИЯ				
Элемент схемы	Варианты			
	1	2	3	
R1, Ом, ±20%; 1 мВт	430	330	630	
R2, кОм, ±30%; 1 мВт	1,3	1,5	2,3	
R3, кОм, ±30%; 5 мВт	22	25	33	
R4, Ом, ±20%; 5 мВт	150	100	240	
R5, кОм, ±15%; 1 мВт	2	2,3	3,6	
R6, Ом, ±20%; 3 мВт	200	180	300	
R7, Ом, ±20%; 3 мВт	330	270	420	
C1, пФ, ±20%	480	300	600	
C2, пФ, ±20%	620	1000	800	
C3, пФ, ±30%	10	15	33	

24. Усилитель каскадный

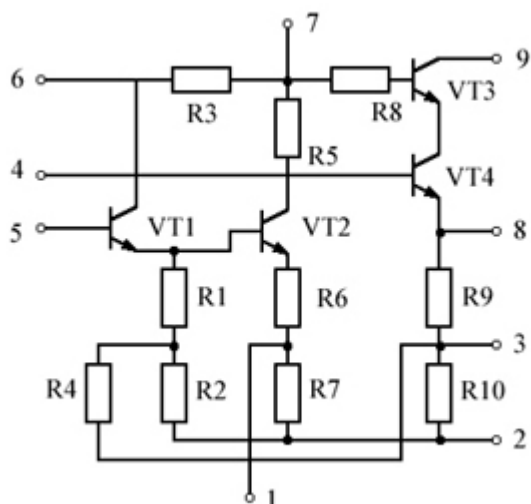


Количество устройств на подложке	а	б	в	г
	1	2	3	4
Условия эксплуатации	А		Б	
Интервал рабочих температур, °С	-10 ... +40		-60 ... +60	
Относительная влажность, %	70 при 25°С		98 при 40°С	
Рабочее напряжение схемы, В	а	б	в	г
	5	9	12	15
Частота рабочего сигнала, МГц	0,1			

СПЕЦИФИКАЦИЯ

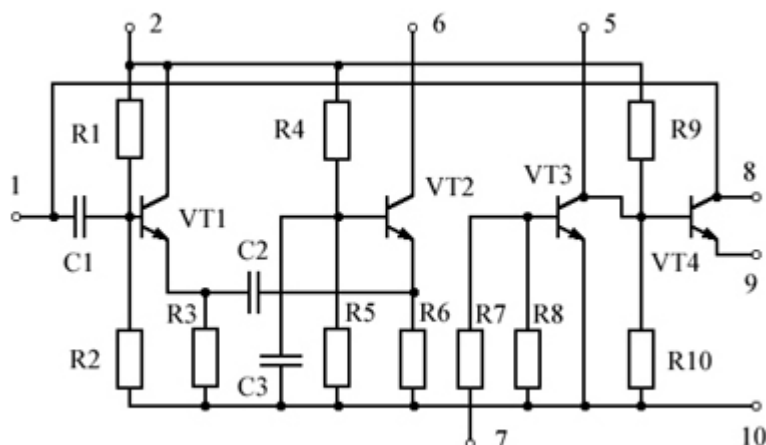
Элемент схемы	Варианты		
	1	2	3
R1, кОм, ±15%; 0,8 мВт	9,1	13	8,7
R2, кОм, ±15%; 0,8 мВт	6,8	7,2	5,3
R3, кОм, ±30%; 0,8 мВт	24	20	28
R4, кОм, ±10%; 0,15 мВт	5,6	5,9	4,7
R5, кОм, ±15%; 0,2 мВт	750	930	560
R6, Ом, ±15%; 0,2 мВт	750	930	610
C1, пФ, ±30%	4700	5600	1000
C2, пФ, ±30%	4700	5600	2500
C3, пФ, ±30%	33000	51000	47000

25. Усилитель низкой частоты



Количество устройств на подложке	а	б	в	г
	1	2	3	4
Условия эксплуатации	А		Б	
Интервал рабочих температур, °С	-10 ... +40		-60 ... +60	
Относительная влажность, %	70 при 25°С		98 при 40°С	
Рабочее напряжение схемы, В	а	б	в	г
	5	9	12	15
Частота рабочего сигнала, МГц	0,02			
СПЕЦИФИКАЦИЯ				
Элемент схемы	Варианты			
	1	2	3	
R1, кОм, ±30%; 5 мВт	5,1	6,9	4,3	
R2, кОм, ±30%; 5 мВт	3,6	4,1	2,9	
R3, кОм, ±30%; 5 мВт	1,6	1,7	1,1	
R4, кОм, ±20%; 1 мВт	7,5	9,5	5,6	
R5, кОм, ±30%; 5 мВт	5,1	6,9	4,3	
R6, Ом, ±20%; 1,5 мВт	100	175	90	
R7, кОм, ±20%; 1,5 мВт	2,2	3,1	1,6	
R8, кОм, ±30%; 1,5 мВт	8,2	11	7,3	
R9, Ом, ±20%; 1 мВт	50	75	40	
R10, Ом, ±20%; 1 мВт	750	950	650	

26. Усилитель-ограничитель

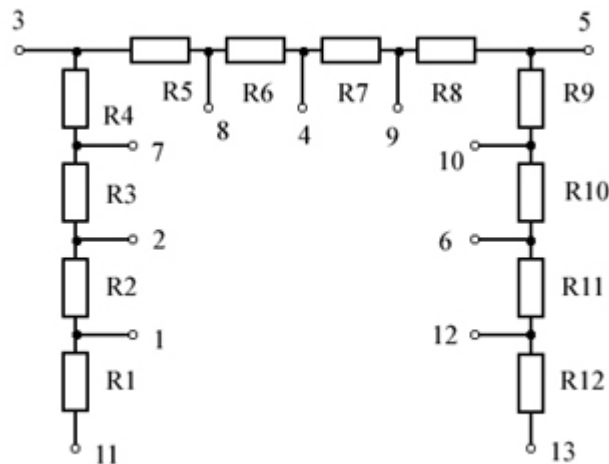


Количество устройств на подложке	а	б	в	г
	1	2	3	4
Условия эксплуатации	А		Б	
Интервал рабочих температур, °С	-10 ... +40		-60 ... +60	
Относительная влажность, %	70 при 25°С		98 при 40°С	
Рабочее напряжение схемы, В	а	б	в	г
	5	9	12	15
Частота рабочего сигнала, МГц	0,1			

СПЕЦИФИКАЦИЯ

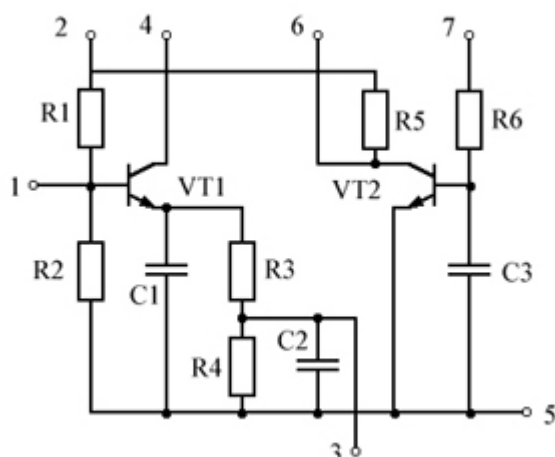
Элемент схемы	Варианты		
	1	2	3
R1, кОм, ±20%; 0,1 мВт	8,6	10	7,9
R2, кОм, ±10%; 0,1 мВт	6,2	8	5,4
R3, кОм, ±10%; 0,05 мВт	1,2	1,7	1,1
R4, кОм, ±20%; 0,1 мВт	8,6	9,4	7,3
R5, кОм, ±20%; 0,1 мВт	6,2	5,9	4,5
R6, кОм, ±15%; 0,05 мВт	1,2	1,3	1,3
R7, кОм, ±30%; 0,05 мВт	8,2	9,63	10
R8, кОм, ±20%; 0,05 мВт	2,2	2,6	3,3
R9, кОм, ±20%; 0,1 мВт	4,5	5,7	3,9
R10, кОм, ±20%; 0,1 мВт	4,3	5,1	3,3
C1, пФ ±30%	4700	1500	4700
C2, пФ ±50%	33	15	33
C3, пФ ±30%	4700	1500	5600

27. Набор резисторов



Количество устройств на подложке	а	б	в	г
	1	2	3	4
Условия эксплуатации	А		Б	
Интервал рабочих температур, °С	-10 ... +40		-60 ... +60	
Относительная влажность, %	70 при 25°С		98 при 40°С	
Рабочее напряжение схемы, В	а	б	в	г
	5	9	12	15
Частота рабочего сигнала, МГц	1,0			
СПЕЦИФИКАЦИЯ				
Элемент схемы	Варианты			
	1	2	3	
R1, кОм, ±2,5%; 0,5 мВт	1,1	95	15	
R2, кОм, ±2,5%; 0,5 мВт	1,0	64	13	
R3, кОм, ±2,5%; 0,5 мВт	0,8	44	11	
R4, кОм, ±2,5%; 0,5 мВт	0,7	30	9	
R5, кОм, ±2,5%; 0,5 мВт	0,5	21	8	
R6, кОм, ±2,5%; 0,5 мВт	0,4	14	7,5	
R7, кОм, ±2,5%; 0,5 мВт	0,3	9	6,3	
R8, кОм, ±2,5%; 0,5 мВт	0,25	6,2	5,1	
R9, кОм, ±2,5%; 0,5 мВт	0,2	4,5	4,2	
R10, кОм, ±2,5%; 0,5 мВт	0,15	2,9	3,3	
R11, кОм, ±2,5%; 0,5 мВт	0,1	2,1	2,1	
R12, кОм, ±2,5%; 0,5 мВт	0,075	1,4	1,7	

28. Детектор АМ, усилитель АРУ

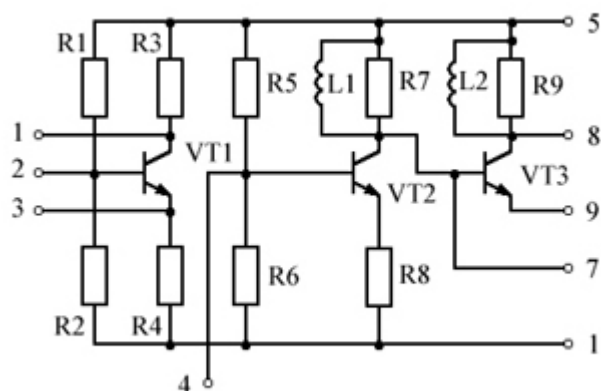


Количество устройств на подложке	а	б	в	г
	1	2	3	4
Условия эксплуатации	А		Б	
Интервал рабочих температур, °С	-10 ... +40		-60 ... +60	
Относительная влажность, %	70 при 25°С		98 при 40°С	
Рабочее напряжение схемы, В	а	б	в	г
	5	9	12	15
Частота рабочего сигнала, МГц	до 0,001			

СПЕЦИФИКАЦИЯ

Элемент схемы	Варианты		
	1	2	3
R1, кОм, ±25%; 0,05 мВт	4,3	3,1	10
R2, кОм, ±25%; 0,05 мВт	2,2	3,1	5,6
R3, кОм, ±20%; 0,01 мВт	5,1	6,9	3,9
R4, кОм, ±20%; 0,01 мВт	20	27	12
R5, кОм, ±30%; 0,1 мВт	4,3	5,7	6,3
R6, кОм, ±15%; 0,1 мВт	7,5	11	18
C1, пФ, ±30%	4700	10000	1500
C2, пФ, ±30%	4700	10000	1500
C3, пФ, ±30%	1,7	1	2

29. Видеоусилитель предварительный

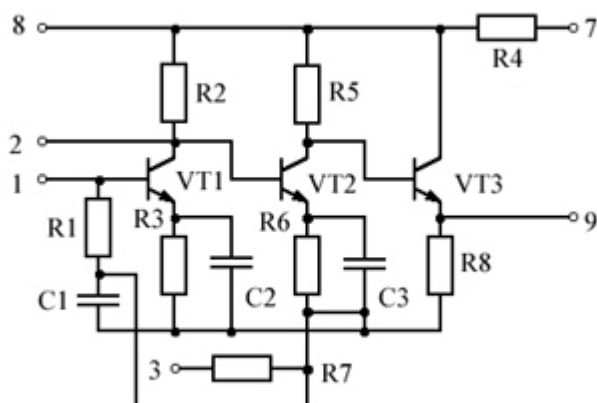


Количество устройств на подложке	а	б	в	г
	1	2	3	4
Условия эксплуатации	А		Б	
Интервал рабочих температур, °С	-10 ... +40		-60 ... +60	
Относительная влажность, %	70 при 25°С		98 при 40°С	
Рабочее напряжение схемы, В	а	б	в	г
	5	9	12	15
Частота рабочего сигнала, МГц	3			

СПЕЦИФИКАЦИЯ

Элемент схемы	Варианты		
	1	2	3
R1, кОм, ±20%; 1,5 мВт	39	27	41
R2, кОм, ±20%; 1,5 мВт	39	27	41
R3, Ом, ±30%; 2,5 мВт	510	430	620
R4, кОм, ±20%; 1,5 мВт	2,7	2,1	2,9
R5, кОм, ±20%; 1 мВт	33	29	37
R6, кОм, ±20%; 1 мВт	12	9,3	15
R7, Ом, ±20%; 0,1 мВт	910	630	1,1
R8, Ом, ±30%; 1 мВт	820	570	910
R9, Ом, ±20%; 0,1 мВт	510	390	620
L1, мкГн, ±20%	55	35	25
L2, мкГн, ±20%	55	35	25

30. Усилитель выходной



Количество устройств на подложке	а	б	в	г
	1	2	3	4
Условия эксплуатации	А		Б	
Интервал рабочих температур, °С	-10 ... +40		-60 ... +60	
Относительная влажность, %	70 при 25°С		98 при 40°С	
Рабочее напряжение схемы, В	А	б	в	г
	5	9	12	15
Частота рабочего сигнала, МГц	0,03			

СПЕЦИФИКАЦИЯ

Элемент схемы	Варианты		
	1	2	3
R1, кОм, ±10%; 5 мВт	16	19	13
R2, кОм, ±20%; 10 мВт	3,6	3,9	3,1
R3, кОм, ±10%; 5 мВт	1,0	2,0	1,0
R4, Ом, ±20%; 10 мВт	200	260	170
R5, кОм, ±20%; 10 мВт	2,2	2,9	1,9
R6, Ом, ±10%; 5 мВт	120	175	100
R7, кОм, ±20%; 10 мВт	1,5	2,1	1,3
R8, кОм, ±20%; 10 мВт	3,6	4,0	2,9
C1, пФ, ±30%	4700	3300	6300
C2, пФ, ±30%	4700	3300	6300
C3, пФ, ±20%	200	300	275

Учебное издание

МИКРОЭЛЕКТРОНИКА

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ, ПРОГРАММА И КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ

для студентов специальности
«Микро- и нанoeлектронные технологии и системы»
заочной формы обучения

Авторы-составители:
Стешенко Павел Павлович,
Шульгов Владимир Владимирович

Редактор Е.Н. Батурчик

Подписано в печать 24.03.2005.	Формат 60x84 1/16.	Бумага офсетная.
Гарнитура «Таймс».	Печать ризографическая.	Усл. печ. л. 2,91.
Уч.-изд. л. 2,4.	Тираж 50 экз.	Заказ 542.

Издатель и полиграфическое исполнение: Учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»
Лицензия на осуществление издательской деятельности №02330/0056964 от 01.04.2004.
Лицензия на осуществление полиграфической деятельности №02330/0133108 от 30.04.2004.
220013, Минск, П. Бровки, 6