

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Курганский государственный университет»

Кафедра «Автоматизация производственных процессов»

Теоретические основы микроэлектроники

Методические указания к комплексу лабораторных работ по курсу
«Теоретические основы микроэлектроники» для студентов очной и заочной
форм обучения направления подготовки 27.03.04 «Управление в
технических системах», 15.03.04 «Автоматизация технологических
процессов и производств»

Курган 2017

Кафедра: «Автоматизация производственных процессов».

Дисциплина: «Теоретические основы микроэлектроники».

Составил: ст. преподаватель А.А. Иванов.

Утверждены на заседании кафедры «20» октября 2016 г.

Рекомендованы методическим советом университета «17» декабря 2015 г

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
1 Физические основы микроэлектроники	4
1.1 Интегральные микросхемы	4
1.1.1 Полупроводниковые ИМС	5
1.1.2 Гибридные ИМС	6
2 Аналоговые интегральные схемы	9
2.1 Операционные усилители	9
2.2 Компараторы	10
2.3 Линейные стабилизаторы напряжения	10
3 Цифровые интегральные схемы	11
3.1 Базовые логические элементы	11
3.2 Основные параметры цифровых ИМС	12
4 Задание на лабораторные работы	12
4.1 Лабораторная работа №1. Исследование полупроводниковых структур	12
4.2 Лабораторная работа №2. Исследование аналоговых интегральных микросхем	13
4.3. Лабораторная работа №3. Исследование цифровых интегральных микросхем	13
5 Требования к оформлению отчета по лабораторной работе	13
Список использованной литературы	13

ВВЕДЕНИЕ

Микроэлектроника - область электроники, занимающаяся созданием электронных функциональных узлов, блоков и устройств в микроминиатюрном интегральном исполнении. Возникновение микроэлектроники было вызвано непрерывным усложнением функций электронной аппаратуры, увеличением габаритов и повышением требований к её надёжности.

В соответствии с используемыми конструктивно-технологическими и физическими принципами в микроэлектронике может быть выделено несколько взаимно перекрывающихся и дополняющих друг друга направлений: интегральная электроника, вакуумная микроэлектроника, оптоэлектроника и функциональная электроника. Наибольшее развитие получила интегральная электроника.

Данные методические указания являются руководством для выполнения студентами комплекса лабораторных работ по дисциплине «Теоретические основы микроэлектроники», выполнение которых призвано способствовать приобретению практических навыков в области исследования элементов микроэлектронных устройств.

1 Физические основы микроэлектроники

1.1 Интегральные микросхемы

Интегральная микросхема (ИМС) — это изделие, исполняющее определенную функцию преобразования и обработки сигнала и имеющее высокую плотность упаковки электрически соединенных элементов, которые могут рассматриваться как единое целое, выполнены в едином технологическом процессе и заключены в герметизированный корпус /1/.

Электронная аппаратура на ИМС обладает следующими большими преимуществами:

1) Высокой надежностью и технологичностью, поскольку ИМС изготовляют на специализированных предприятиях на основе хорошо автоматизированной современной технологии. При создании аппаратуры на ИМС резко снижаются затраты труда на сборку и монтаж аппаратуры уменьшается число паяных соединений, которые являются одним из наименее надежных элементов электронных устройств. Поэтому аппаратура на ИМС намного надежнее, чем аппаратура на дискретных элементах, меньше вероятность ошибок при монтаже. Только ИМС обеспечили высокую надежность, необходимую для создания систем управления космическими аппаратами и современных больших вычислительных систем.

2) Аппаратура на ИМС обладает малыми массой и габаритами.

3) При создании аппаратуры из готовых ИМС резко сокращается время на разработку изделия, так как используются готовые узлы и блоки, упрощается внедрение в производство.

4) Применение аппаратуры на ИМС массового выпуска снижает стоимость изделия, так как уменьшаются расходы на монтаж и наладку устройства, а сами микросхемы стоят дешевле заменяемых ими схем на дискретных компонентах, так как выпускаются по наиболее совершенной и производительной технологии.

5) Создание аппаратуры на ИМС упрощает организацию производства за счет уменьшения числа операций и сокращения числа комплектующих изделий.

В последние годы наметилась тенденция внедрения достижений микроэлектроники и в энергетическую электронику.

Интегральные микросхемы делятся на два сильно отличающихся друг от друга класса: полупроводниковые ИМС и гибридные ИМС.

1.1.1 Полупроводниковые ИМС

Полупроводниковый кристалл, в толще которого выполняются все компоненты схемы: полупроводниковые приборы и полупроводниковые резисторы.

Поверхность полупроводника покрывается изолирующим слоем окисла, по которому в нужных местах расположен слой металла, обеспечивающий соединения между элементами схемы.

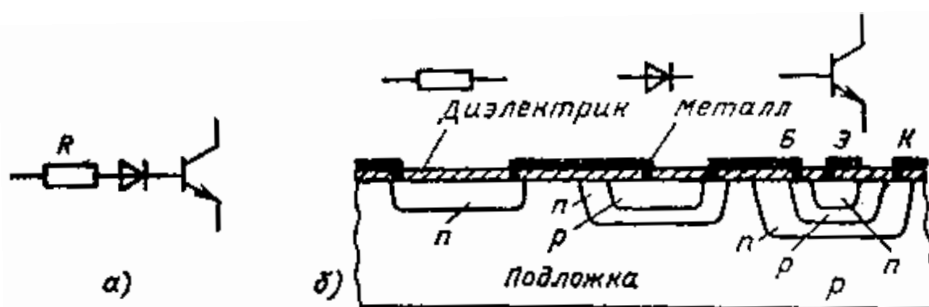


Рис. 1. Фрагмент схемы и ее реализация в виде полупроводниковой ИМС

На рис. 1,а) показана часть схемы, состоящая из резистора, диода и транзистора, а на рис. 1,б) - разрез полупроводникового кристалла, в толще которого выполнены указанные схемные элементы. Изоляция элементов друг от друга осуществляется с помощью р-п переходов, смещенных в обратном направлении. Для этого к подложке р-типа прикладывается наиболее отрицательный потенциал. После создания слоя окисла на поверхности и нанесения соединений кристаллы полупроводника помещают в герметизированный корпус, имеющий выводы во внешнюю цепь.

Полупроводниковые ИМС обладают следующими особенностями:

1) В кристалле полупроводника могут быть выполнены полу-

проводниковые приборы (диоды, биполярные и полевые транзисторы) и полупроводниковые резисторы. В качестве конденсаторов с емкостью до 200-400 пФ используют ёмкости полупроводниковых диодов, смещенных в обратном направлении. Наиболее предпочтительными элементами являются те, которые занимают наименьшую площадь на кристалле, это, в первую очередь полевые транзисторы МДП – типа, затем другие полупроводниковые приборы. Конденсаторы большей емкости и магнитные элементы (дроссели, трансформаторы) в составе полупроводников ИМС невыполнимы.

2) Точность воспроизведения параметров компонентов полупроводниковой ИМС невелика, но одинаковые элементы на одном кристалле имеют практически идентичные параметры.

3) Технология ИМС очень сложна, и их выпуск может быть налажен лишь на крупном специализированном предприятии.

4) Затраты на подготовку выпуска нового типа ИМС велики, поэтому экономически оправдан выпуск этих изделий только очень крупными сериями (100 000 экземпляров и выше). Чем выше тираж изделия, тем дешевле оно обходится изготовителю.

5) Масса и габариты полупроводниковых ИМС очень малы, на одном кристалле кремния (размером несколько квадратных сантиметров) могут располагаться десятки и сотни тысяч отдельных элементов схемы.

1.1.2 Гибридные ИМС

Основу гибридной ИМС составляет пленочная схема: пластина диэлектрика, на поверхности которого нанесены в виде пленок толщиной порядка 1 мкм компоненты схемы и межсоединения. Этим способ легко выполнимы пленочные проводниковые соединения: резисторы, конденсаторы. Резисторы больших номиналов выполняют в виде меандра (рис. 2, а), что обеспечивает минимальную площадь, занимаемую элементом. Сопротивление таких резисторов может достигать 100 кОм. Пленочные конденсаторы имеют структуру, разрез которой показан на рис. 2.б)

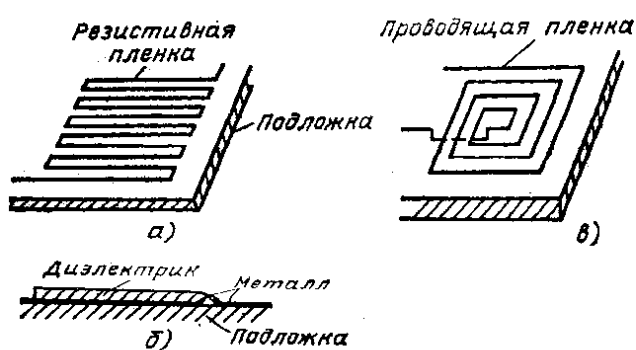


Рис. 2. Физическая реализация элементов гибридной ИМС

Конденсатор состоит из трех пленочных слоев: металл—диэлектрик—металл. За счет малой толщины диэлектрика емкость пленочных конденсаторов достигает 10000 пФ и более. Дроссели могут быть выполнены в виде спирали (рис. 2,в); они имеют небольшую индуктивность, не более 10 мкГн. Бескорпусные полупроводниковые приборы, конденсаторы больших номиналов и магнитные элементы в гибридных ИМС выполняются навесными: эти элементы приклеиваются в определенных местах к плате, осуществляется их контактирование с элементами пленочной схемы, затем плата с пленочной схемой и навесными элементами помещается в герметизированный корпус, имеющий определенное количество выводов.

Гибридные ИМС обладают следующими основными свойствами:

1) Наиболее предпочтительными элементами являются пассивные компоненты (резисторы и конденсаторы), число навесных элементов в ИМС должно быть небольшим, так как их установка и монтаж требуют больших затрат труда.

2) Точность воспроизведения параметров в гибридных ИМС значительно выше, чем в полупроводниковых. Возможна подгонка номиналов резисторов и конденсаторов (например, путем соскабливания части пленки или подрезки лазерным лучом).

3) Технология гибридных ИМС значительно проще технологии полупроводниковых. Гибридные ИМС делятся на *тонкопленочные*, в которых пленки создаются методом термовакuumного напыления, и *толстопленочные*, в которых пленки получают путем нанесения пасты через трафарет последующим спеканием в печи. Технология толстопленочных ИМС сравнительно проста, и их выпуск может быть налажен в стенах лаборатории или производственного участка.

4) Стоимость подготовки к выпуску нового типа гибридных ИМС меньше, чем полупроводниковых, поэтому экономически оправдан выпуск гибридных ИМС малыми сериями (сотни и даже десятки экземпляров).

5) Массогабаритные показатели гибридных ИМС существенно хуже, чем у полупроводниковых, и число компонентов в одной схеме обычно не больше нескольких десятков.

Полупроводниковые ИМС в основном являются ИМС общего применения, т. е. выпускаются в виде типовых элементов для различных областей использования, обладают универсальными достоинствами, что обеспечивает их высокий тираж. Гибридная технология особенно предпочтительна при разработке ИМС частного применения, т. е. для решения какой-то определенной задачи. В этом случае тираж ИМС обычно невысок, и экономически выгоднее выпуск гибридных ИМС.

Число компонентов, заключенных в одном корпусе ИМС называют степенью интеграции N . На рис. 3 показаны зависимости стоимости

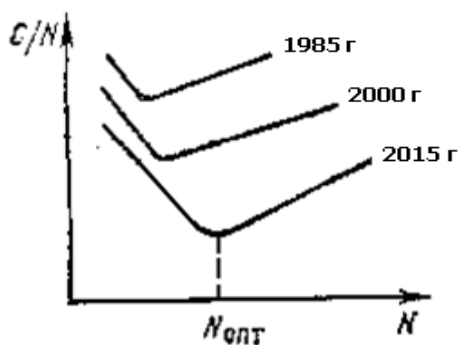


Рис. 3.

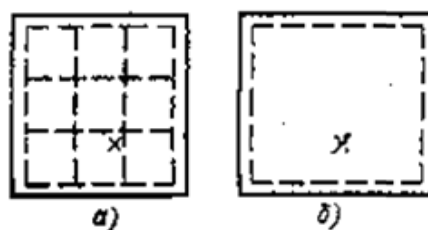


Рис 4.

полупроводниковой ИМС C , отнесенной к степени интеграции N , от N . Эти зависимости введены для различных годов выпуска ИМС. Кривые показывают, что имеется область $N_{\text{опт}}$, при которой отношение C/N имеет минимальное значение. При уменьшении N указанного значения стоимость увеличивается, так как возрастают затраты на упаковку ИМС в корпус, пайку выводов и т. п. При увеличении N стоимость также возрастает по двум причинам. Во-первых, более сложные ИМС выполняют более сложную, а значит, и более специализированную функцию, а это приводит к снижению тиража ИМС и увеличению ее стоимости. Во-вторых, при большем значении N ИМС занимают значительную площадь на пластине полупроводника. При $N > 10\,000$ ИМС называется *большой интегральной схемой* (БИС).

На рис. 4,а) показана пластина полупроводника на которой изготавливается девять ИМС малого или среди уровня интеграции. На рис. 4,б) показана такая пластина, на которой расположена только одна большая ИМС (БИС). Если на пластине имеется локальный дефект (показан на рис. 4, а) и б) крестиком), то в первом случае придется забраковать $1/9$ часть изготовленных ИМС, а в случае БИС негодным окажется 100 % изделий. Поэтому оптимальное значение N зависит от уровня технологии изготовления ИМС, и по мере совершенствования технологических процессов повышается. В настоящее время для выпускаемых БИС $N \approx 100\,000$.

Большим достижением современной электроники в последние годы стало преодоление упомянутого препятствия на пути увеличения N : найдены способы создания сложных БИС, которые при этом не теряют своей универсальности. Это *программируемые ИМС*. Потребитель может по-разному использовать ИМС, запрограммировав ее функции. Это постоянные запоминающие устройства и микропроцессоры, аналоговые схемы с программируемой конфигурацией.

Современный этап развития электроники характеризуется все усиливающимся применением БИС вплоть до создания однокристалльных ЭВМ (однокристалльных микроконтроллеров) и использованием их в качестве основы устройств управления технологическим оборудованием и бытовой техникой. Эта тенденция обусловлена повышением основных технико-

экономических и эргономических показателей электронных устройств при использовании в их составе БИС.

2 Аналоговые интегральные схемы

2.1 Операционные усилители

Наиболее распространенными аналоговыми ИМС являются операционные усилители (ОУ) /2/.

Схемотехнически ОУ обычно выполняются по схеме усилителя с дифференциальными входами, двухтактным выходом и двухполярным симметричным питанием (хотя может использоваться и однополярное). Кроме двух входов, выхода и выводов питания, ОУ может также иметь выводы для балансировки, частотной коррекции, программирования (задания определенных параметров величиной управляющего тока).

В идеальном случае ОУ должен иметь бесконечно высокий коэффициент усиления дифференциального сигнала по напряжению, бесконечно высокий коэффициент ослабления синфазного сигнала, бесконечно большое входное и бесконечно малое выходное сопротивления, бесконечно большую амплитуду выходного сигнала, бесконечно большой диапазон усиливаемых частот. Параметры ОУ не должны зависеть от внешних факторов, напряжения питания и температуры. При соблюдении этих условий передаточная характеристика ОУ, охваченного отрицательной обратной связью (ООС) точно соответствует передаточной характеристике цепи ООС и не зависит от параметров самого усилителя. Именно на этом постулате основывается все бесконечное разнообразие схемных решений по применению ОУ.

Реальные ОУ, естественно, имеют характеристики отличные от идеальных:

- Входной ток - это втекающий/вытекающий по входам ток. Величину тока смещения рассчитывают как полусумму входных токов;

- Входное сопротивление - динамическое входное сопротивление для дифференциального сигнала без ООС. Величину этого входного сопротивления можно указать лишь весьма приблизительно, поэтому для расчетов, в основном, используется параметр входного тока.

- Напряжение смещения - дифференциальное (между входами) напряжение, необходимое для того, чтобы выходное напряжение ОУ стало равно нулю. Появление напряжения смещения связано с технологическими отклонениями при изготовлении ОУ, в результате чего в схеме возникает

некоторая разбалансировка. Последнее приводит к тому, что при нулевом входном сигнале ОУ и соединении между собой входов, из-за большого коэффициента усиления ОУ выходное напряжение отлично от нуля;

- Температурный дрейф напряжения смещения измеряется в мкВ/°С, показывает зависимость напряжения смещения от температуры;

- Коэффициент усиления дифференциального сигнала - динамический параметр-отношение приращения выходного напряжения к вызвавшему его приращению дифференциального входного напряжения в схеме без обратной связи. Измеряется в ненормированных единицах, децибелах (дБ) или В/мВ;

- Коэффициент ослабления синфазного сигнала - отношение приращений синфазного и дифференциального входных напряжений, вызывающих одинаковое приращение выходного напряжения. Измеряется в децибелах (дБ);

- Граничная частота усиления - значение частоты, при котором коэффициент усиления ОУ по напряжению уменьшается на 3 дБ относительно значения на средних частотах. Используется также частота единичного усиления - значение частоты, соответствующей падению коэффициента усиления ОУ до единицы;

- Максимальная скорость нарастания выходного напряжения определяется при подаче на вход ОУ прямоугольного импульса как отношение приращения выходного напряжения к времени, за которое произошло это приращение. Измеряется в В/ мкс.

2.2 Компараторы

Компараторы – это ИМС функционально подобные ОУ, но ориентированные не на усиление, а на сравнение сигналов, подаваемых на их входы. Они не рассчитаны на работу с отрицательной обратной связью.

Основные характеристики компараторов такие же, как у ОУ; особая характеристика – время установления выходного сигнала – интервал времени между изменением знака входного дифференциального сигнала и установлением выходного напряжения. Измеряется в мкс.

2.3 Линейные стабилизаторы напряжения

Схемотехнически линейные стабилизаторы напряжения реализуются как усилители, охваченные отрицательной обратной связью по выходному напряжению. Выходное напряжение стабилизаторов может быть фиксированным или регулируемым.

ИМС линейных стабилизаторов напряжения обеспечивают стабилизацию выходного напряжения при изменении входного напряжения и выходного тока в широких пределах.

Основные характеристики ИМС стабилизаторов напряжения:

- 1) Номинальное выходное напряжение, В;
- 2) Коэффициент стабилизации напряжения – изменение выходного напряжения (выраженное в процентах) при изменении входного напряжения на 1В, измеряется в %/В;
- 3) Температурный коэффициент выходного напряжения – изменение выходного напряжения стабилизатора (выраженное в процентах) при увеличении температуры на один градус, измеряется в %/°К.

3 Цифровые интегральные схемы

3.1 Базовые логические элементы

Цифровые ИМС реализуются на основе одноступенчатых усилительных схем на биполярных или полевых транзисторах (их называют базовыми логическими элементами), способных выполнять, как правило, логическую функцию И-НЕ или ИЛИ-НЕ.

В настоящее время наибольшее распространение получили следующие типы логических схем:

- 1) Транзисторно-транзисторные логические схемы (ТТЛ) и транзисторно-транзисторные схемы с диодами Шоттки (ТТЛШ);
- 2) Транзисторные схемы с эмиттерными связями (ЭСЛ);
- 3) Логические схемы на комплементарных МОП транзисторах (КМОП);
- 4) Интегральная инжекционная логика (ИИЛ).

Ниже на рисунках 5,6,7,8 и 9 представлены упрощенные электрические схемы элементов ТТЛ, ТТЛШ, ЭСЛ, КМОП и ИИЛ соответственно.

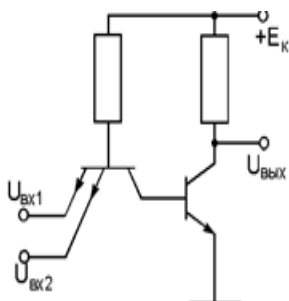


Рис. 5

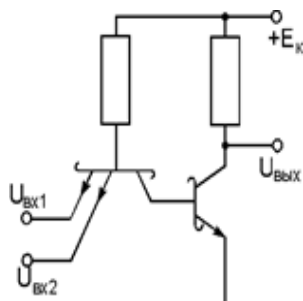


Рис. 6

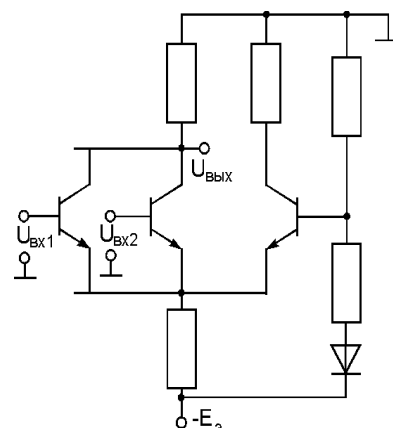


Рис. 7

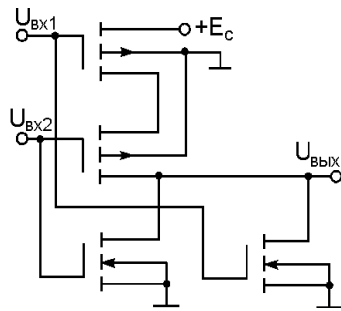


Рис. 8

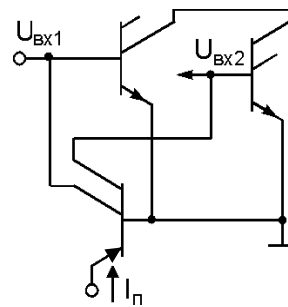


Рис.9

3.2 Основные параметры цифровых ИМС

- Уровни логического нуля и логической единицы, измеряются в В
- Входные токи логического нуля и логической единицы, измеряются в мА;
- Быстродействие – время задержки распространения – определяется интервалом времени между сменой состояний входного и выходного сигналов, измеряется в нс;
- Нагрузочная способность оценивается коэффициентом разветвления по выходу – числом однотипных ИМС, которые могут быть подключены к одному входу;
- Помехоустойчивость определяется максимально допустимым напряжением помехи, не вызывающим неправильного срабатывания логического элемента, измеряется в В;
- Мощность рассеяния – мощность, потребляемая логическим элементом от источника питания, измеряется в мВт;

На основе представленных выше базовых логических элементов строятся все современные цифровые ИМС от простейших логических элементов до процессоров суперкомпьютеров.

4 Задание на лабораторные работы

4.1 Лабораторная работа №1. Исследование полупроводниковых структур

- 1) Изучить раздел 1 данных методических указаний
- 2) По заданию преподавателя собрать схему полупроводниковой структуры, исследовать ее статические и динамические характеристики, зависимости параметров от температуры и концентрации легирующих добавок в полупроводнике.
- 3) Результаты исследований отразить в отчете по лабораторной работе.

4.2 Лабораторная работа №2. Исследование аналоговых интегральных микросхем

- 1) Изучить раздел 2 данных методических указаний
- 2) По заданию преподавателя собрать схемы аналоговых ИМС, измерить их основные параметры и исследовать зависимость этих параметров от температуры, напряжения питания и характеристик полупроводников.
- 3) Результаты исследований отразить в отчете по лабораторной работе.

4.3. Лабораторная работа №3. Исследование цифровых интегральных микросхем

- 1) Изучить раздел 3 данных методических указаний
- 2) По заданию преподавателя собрать схемы базовых логических элементов ИМС, измерить их основные параметры и исследовать зависимость этих параметров от температуры, напряжения питания и характеристик полупроводников.
- 3) Результаты исследований отразить в отчете по лабораторной работе.

5 Требования к оформлению отчета по лабораторной работе

Отчет по лабораторной работе должен содержать следующие элементы:

- 1) Титульный лист с обязательным указанием названия лабораторной работы и списка исполнителей;
- 2) Выданное преподавателем задание на лабораторную работу;
- 3) Электрические схемы и полученные по результатам их исследования расчетные значения параметров, таблицы и графики, иллюстрирующие выполненную работу;
- 4) Выводы по лабораторной работе.

При оформлении отчета следует руководствоваться требованиями литературы /3/.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Гутников В.С. Интегральная электроника в измерительных устройствах.-Л.: Энергоатомиздат, 1988.-304 с.
- 2 Степаненко И.П. Основы микроэлектроники: Учеб. пособие для вузов. – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2001. – 488с.
- 3 ГОСТ7.32-2001 Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления.

Иванов Алексей Александрович

Теоретические основы микроэлектроники

Методические указания к комплексу лабораторных работ по курсу «Теоретические основы микроэлектроники» для студентов очной и заочной форм обучения направления подготовки 27.03.04 «Управление в технических системах», 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств»

Авторская редакция

Подписано в печать 26.04.17	Формат 60x84 1/16	Бумага 65 г/м ²
Печать цифровая	Усл. печ. л. 1	Уч. изд. л. 1,0
Заказ №82	Тираж 25	Не для продажи

Библиотечно-издательский центр КГУ.
640020, г. Курган, ул. Советская, 63/4.
Курганский государственный университет.