

Евгений Николаев

ОСНОВЫ РАЗРАБОТКИ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ

ОТ ПРИНЦИПОВ К ПРАКТИКЕ

ТЕОРИЯ • СХЕМЫ • ЗАДАНИЯ

Евгений Вадимович Николаев

Основы разработки электронных устройств

http://www.litres.ru/pages/biblio_book/?art=73558738

ISBN 9785006956841

Аннотация

Практическое учебное пособие для студентов, самоучек и начинающих инженеров, которые хотят не просто повторять схемы, а понимать электронику и создавать свои устройства. Уникальное сочетание теории, практических задач и художественных примеров, позволяющих освоить проектирование электронных схем, алгоритмизацию и работу с микроконтроллерами «от простого к сложному». Систематическая работа с книгой позволяет выработать мышление инженера, способного создавать уникальные электронные устройства.

Содержание

Аннотация	6
ВВЕДЕНИЕ	9
Как читать?	11
1 Основы электроники	14
1.1 Развитие и основы полупроводниковой электроники	14
1.2 Основные радиоэлектронные приборы	27
1.3 Особенности и развитие технологического процесса изготовления полупроводниковых приборов	34
2. Логические сигналы	40
2.1 Описание основных операций	40
Конец ознакомительного фрагмента.	45

Основы разработки электронных устройств

**Евгений Вадимович
Николаев**

Дизайнер обложки Евгений Николаев

© Евгений Вадимович Николаев, 2026

© Евгений Николаев, дизайн обложки, 2026

ISBN 978-5-0069-5684-1

Создано в интеллектуальной издательской системе Ridero

Николаев Евгений Вадимович

Основы разработки электронных устройств.

Автор – разработчик электроники специального назначения, имеющий за плечами более десяти лет практической работы. Более четырёх лет он также занимается преподавательской деятельностью (в институте и индивидуально).

Книга является практическим учебным пособием для студентов, самоучек и начинающих инженеров, которые хотят не просто повторять чужие схемы, а понимать и проек-

тировать электронные устройства.

Вы хотите не просто изучать теорию, а хотите разрабатывать электрические схемы? Разрабатывать электронные устройства? Эта книга для Вас!

Аннотация

Обучаясь в высшем учебном заведении на кафедре радиотехнической электроники, я застал на своей и других кафедрах большое количество преподавателей в возрасте, увлечённых своим делом, с горящими глазами, лавирующих в истории развития электроники и принципах её работы, как рыбы в океане.

На тот момент мне казалась невероятной такая глубина понимания и такой уровень знаний – ещё и в хронологически верном порядке. Со временем у меня сложилось определённое предположение. Да, эти преподаватели читают свою дисциплину десятилетиями – отсюда такое познание. Хотя, разумеется, это не единственная причина: среди них встречались настоящие профессионалы своего дела, профессионализм которых напрямую не связан с таким количеством лет.

Но среди и первых, и вторых всё равно есть общий нюанс: человек прожил все эти этапы развития электроники. Она развивалась вместе с ним – от простого к сложному, так же, как те, кто рос в эпоху развития телефонов, помнят важность ИК-порта, Bluetooth. В том числе и поэтому среди сотрудников в возрасте больше специалистов: они разобрались в электронике от простого к сложному, буквально проживая её развитие.

Мы не учимся сразу бегать: сначала нам нужно научиться ходить, перед этим – делать один шаг, поднимать и опускать ногу, а до этого – держать равновесие.

В практической сфере инженерии без понимания процессов не создать рабочий, сложный, уникальный продукт – можно будет только повторять и получать нечто похожее, но уже более кривое.

В качестве аналогии можно вспомнить, как в школе при попытке списать непонятное слово из чужой тетради учащийся выводит максимально похожую закорючку на ту, что видит, в надежде, что тот, кто будет проверять, решит, что это то, что нужно.

Всё это привело меня к, казалось бы, всем известному подходу, который стал основой этой книги: от простого к сложному, от реализации устройств в условиях ограничений XX века до практически безграничных (на фоне тех ограничений) возможностей микроконтроллерных устройств.

Не устать, а понять и что-то обрести для себя – принцип, который я стараюсь сохранять в педагогической деятельности. Хотя «повтори так 100—500 раз, чтобы запомнить», никто не отменял – он является таким же рабочим. Не нужно слепо учить, нужно понять. Выученная информация без повторений или использования со временем может забыться. Информация, которую вы получили из практического опыта, останется с вами. Понимание, а не простое знание, поз-

волит вам не просто делать, а создавать уникальное.

Эта книга нацелена на то, чтобы помочь вам понять. На основе опыта педагогической практики знаю, что это возможно, если вы не просто прочтёте эту книгу, а пройдёте материал с первой до последней страницы, не пропуская задания. Книга поможет понять, что делать, как делать и, самое главное, – зачем. Понять, как устроена электроника и почему она работает именно так.

Разработка материала и написание этой книги стали возможными благодаря моему десятилетнему опыту работы разработчиком электроники различного назначения и трёхлетнему опыту преподавания в институте.

ВВЕДЕНИЕ

Идея прийти к таким задачам и комплексу заданий пришла после классического вопроса одной студентки лично мне: «Зачем нам это нужно?». Вопрос, которым я и сам часто задавался во время своей учебы в университете, предпочитая осознавать значение того, что я делаю.

Материал книги направлен на проработку алгоритмизации задач проектирования электронных устройств и в целом формирования подхода к комплексной разработке, от проработки логики, проектирования электрических схем, до основ написания программного обеспечения.

Почему такое разнообразие? Нам приходится заниматься различной работой, и не все проекты нам близки, когда мы к ним приступаем. Хорошая новость заключается в том, что наш мозг устроен таким образом, что любая задача становится близка, если мы над ней достаточно долго работаем.

Поэтому учебные проекты, которые погружают в процесс на длительное время или вовлекают в свою историю – способны заинтересовать, в том числе поэтому каждая задача в книге имеет действительно глубокую степень погружения по количеству заданий или по степени описания условий.

Кроме того, в жизни иногда может не хватать необходимых условий, могут быть данные с другого проекта или тот, кто ставит задачу – не может обозначить вводные структу-

рировано.

Книга подготавливает читателя ко всем вариантам.

Как читать?

Разумеется, вы можете прочитать эту книгу так, как вам будет удобно, но для того чтобы получить для себя из нее максимум я рекомендую определенный порядок описанный ниже.

Книга содержит три типа материала. Первый – это теория, которая приводится простым языком, благодаря личному опыту разработки и педагогической практики автора.

Главу «Создание полупроводниковой электроники» можно читать целиком, чтение можно сочетать с конспектированием, если так вы лучше усваиваете материал. Глава позволит понять взаимосвязь между разными полупроводниковыми приборами, взаимосвязь между разными дисциплинами и основу работы полупроводниковых приборов и электроники.

Второй тип материала – задачи. Обучающемуся задачи необходимы для усвоения знаний, преподавателю же они могут послужить в качестве материалов для практических, контрольных занятий или материалов для самоподготовки. Каждая задача содержит не только постановку задачи, но и описание обстановки, локации, для погружения читателя в задачу, для легкого изучения, и поясняющий материал, чтобы вопрос «зачем нам это?» сразу находил свой ответ в этой книге.

Глава «Операции основных операций с логическими сигналами» так же содержит теоретические сведения, но в конце главы содержит задания. Задания рекомендуется выполнять в полной мере. К прочтению следующей главы переходить после выполнения всех заданий.

К одним и тем же задачам приводится много заданий. Книга построена таким образом, что если вы не обладаете специализированными знаниями до чтения этой книги, то при первом прочтении книги вы можете выполнить только часть этих заданий. В заданиях каждой задачи это описывается. После полного прочтения книги вы можете вернуться к этим задачам и выполнить следующую часть заданий, в этот момент вы уже будете обладать необходимыми навыками и знаниями, либо, при необходимости, нужно изучить дополнительные сторонние теоретические материалы. Во всех задачах так же присутствуют задания, для выполнения которых требуется самостоятельная подготовка вне материалов этой книги и интересные задания могут найти для себя даже подготовленные специалисты.

Таким образом, для полной проработки материала необходимо будет после первого прочтения книги вернуться к первым задачам и изучить материалы книги второй раз в части задач. При каждом последующем изучении вы будете решать уже известные вам задачи другим способом или обращая внимание на другие нюансы.

Перед каждой задачей приводится описание, поясняющее

для чего выполнение этой задачи читателю, чему он научится, что повторит и где и в каком виде это используется.

Третий тип материала – художественное повествование. Эта часть книги идет после теории и разнесена между задачами. Сюжет повествования вплетается в задачи, а постановка задач следует из истории. Эта часть книги рассказывает о работе в инженерии и реализации собственных проектов. В центре истории молодой специалист – разработчик электроники, который кроме основного места работы занимается своим проектом. Художественное повествование выделено курсивом. Этот тип материала является не обязательным в том случае, если вы хотите исключительно решать представленные в этой книге задачи.

1 Основы электроники

1.1 Развитие и основы полупроводниковой электроники

Люди всегда интересовались окружающим миром и проводили различные исследования. Так однажды установили, что есть тела, которые проводят электрический ток, сегодня, мы называем эти тела проводниками, а есть тела, которые его не проводят, такие тела называли диэлектриками. С развитием науки установили, что носителями электрического тока в материалах являются электроны.

Позже заметили, что среди материалов встречаются те, которые проводят электрический ток, но только если его достаточно много. Такие материалы называли полупроводниками. Если у проводников и диэлектриков были очевидные применения, то у полупроводников в таком виде нет.

Время шло, развивались технологии, и изобрели процесс легирования. Это внедрение молекул одного вещества в молекулы другого.

Люди стали легировать полупроводники различными материалами и в итоге установили, что их имеет смысл легировать мышьяком, фосфором, сурьмой, галлием, индием.

Легированные полупроводники называли собственными

полупроводниками.

С накоплением знаний о материалах и поведении в них носителей электрического заряда – электронов (отрицательно заряженных частиц, являющихся носителями электрического заряда), человечество сформировало зонную теорию или теорию зон. Установили, что в материалах есть энергетические уровни. Соответственно, зонная теория описывает распределение электронов по энергетическим уровням и объясняет, как их распределение влияет на электрические свойства материалов.

Во всех материалах выделяют три зоны: валентную зону, запрещенную зону и зону проводимости.

Чтобы передать через материал электрический заряд, необходимо переместить электроны из валентной зоны в зону проводимости.

Зона валентная – зона, в которой находятся электроны, на которые можно воздействовать, для передачи электрического тока.

Запрещенная зона – это область, в которой электроны не могут находиться, некий зазор, который необходимо преодолеть электрону, чтобы достигнуть зоны проводимости.

Зона проводимости – зона, в которую электроны могут перейти, получив достаточное количество энергии для перехода.

Необходимое количество энергии определяется шириной запрещенной зоны материала. В зависимости от ее величи-

ны материалы и подразделяют на проводники, полупроводники и диэлектрики, так в проводниках запрещенная зона либо очень маленькая, либо отсутствует, тогда валентная зона и зона проводимости соприкасаются.

В полупроводниках запрещенная зона может варьироваться в пределах 3—4 эВ, то есть необходимо приложить к электрону энергию равную 3 эВ, чтобы он переместился из валентной зоны в зону проводимости.

В диэлектриках запрещенная зона достигает от 5 эВ. Если приложить электрону энергию равную 5 эВ, то он так же переместился из валентной зоны в зону проводимости, но приложить такой уровень энергии практически невозможно, поэтому материалы с такой шириной запрещенной зоны причисляют к диэлектрикам.

Структура материалов в зонной теории представлена на рисунке 1.1.



Рисунок 1.1 – Схемы зонной теории: (а) проводники; (б) собственные полупроводники; (в) диэлектрики

При легировании мышьяком, фосфором или сурьмой в полупроводнике начинали преобладать в большем количестве электроны. Собственные полупроводники, в которых преобладают электроны, назвали собственными полупроводниками n-типа. Запомнить достаточно легко, n – от «negative», а электрон, как раз и имеет отрицательный заряд. Таким образом, много электронов – много негативных зарядов, значит собственный полупроводник n-типа

При легировании полупроводников галлием или индием в материале возникает нехватка электронов. Нехватку электрона в физике назвали дыркой. Для моделирования физических процессов, дырки считают такими же носителями заряда, как и электроны. Так как электрон отсутствует, то в этом месте отрицательный электрический заряд так же отсутствует, поэтому дырка имеет положительный заряд, а собственные полупроводники легированные галлием или индием назвали собственными полупроводниками p-типа, где p – от «positive» (положительный заряд).

После открытия собственных полупроводников n-типа и p-типа было решено их соединить, а с развитием технологий это стало возможным. То есть стало возможным соединить два типа полупроводимости.

Контакт двух типов полупроводимости назвали p-n переходом, и оказалось, что такую структуру можно успешно использовать для создания электронных устройств. P-n переход в одну сторону пропускает электрический ток, в другую

не пропускает. Такую структуру стали изготавливать, как самостоятельный полупроводниковый прибор и называли полупроводниковым диодом.

Вывод полупроводникового диода со стороны структуры р-типа называли анодом, вывод со стороны п-типа называли катодом. «Анод» – с древнегреческого переводится, как «движение вверх», так и электрический ток движется от анода к катоду.

Когда на него поступает напряжение, электроны из п-слоя переходят в р-слои, а дырки в противоположном направлении, в п-слои. Дырка – это нехватка электрона, то есть место в материале, где отсутствует электрон. Так как электрон отсутствует, дырка имеет положительный заряд. Для удобства описания физических процессов нехватка электронов была названа частицей, носителем зарядом – дыркой, хотя в реальности такого носителя заряда не существует.

Такой процесс называется рекомбинацией. Для изготовления полупроводниковых диодов используют такие материалы, как кремний или германий.

Полупроводниковая структура диода представлена на рисунке 1.2.



Рисунок 1.2 – Полупроводниковая структура диода

Для изготовления любого электронного устройства сначала необходимо разработать электрическую принципиальную схему. Из такой схемы будет понятно, какие необходимы радиоэлектронные компоненты, и как их необходимо соединить. Чтобы схема была понятна специалистами на разных предприятиях, в разных городах и странах, для каждого радиоэлектронного прибора существует свое условно-графическое обозначение (УГО).

Приборов существует огромное количество, их намного больше, чем упоминается в этой книге и у каждого из них есть своё УГО. Кроме того, каждый элемент УГО регламентируется по длине линии, в связи с чем они имеют определенные стандартизированные размеры. Для того, чтобы узнать какой прибор изображен на схеме, или чтобы узнать, как правильно начертить используемый прибор необходимо использовать соответствующий ГОСТ, а именно ГОСТ

2.721—74 «Единая система конструкторской документации. Условные графические изображения приборов и средств автоматики на электрических схемах». ГОСТ – это государственный стандарт, обеспечивают единые правила и требования для различных сфер деятельности, в том числе для обозначений приборов на схемах.

Условно-графическое обозначение полупроводникового диода представлено на рисунке 1.3.



Рисунок 1.3 – Условно-графическое обозначение полупроводникового диода

Схематичное изображение контакта двух типов полупроводимости и полупроводникового диода соответственно представлено на рисунке 1.4.

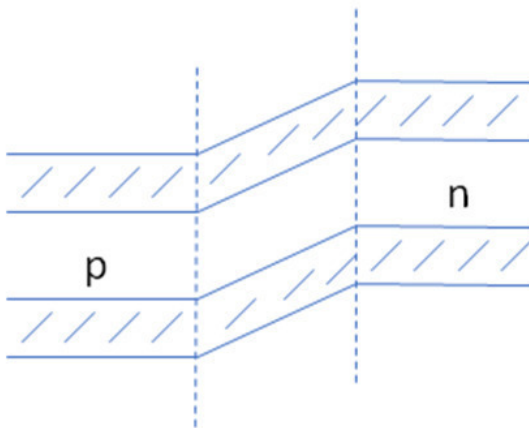


Рисунок 1.4 – Зонная теория полупроводникового диода

Следующим шагом было объединение двух полупроводниковых диодов в разных вариациях. Так получили структуры p-n-p и n-p-n. Такую структуру так же стали использовать в полупроводниковой электронике и называли биполярным транзистором

p-n-p типа или n-p-n типа (представлено на рисунке 1.5)

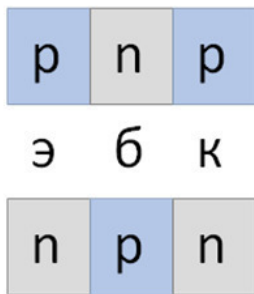


Рисунок 1.5 – Структура двух типов биполярных транзисторов: pnp и npn.

У биполярного транзистора есть три области – эмиттер, база и коллектор.

Эмиттер – это область, из которой выходят носители заряда (например, электроны в n-переходах) в область базы. Он обычно сильно легирован, что обеспечивает высокую концентрацию носителей заряда.

База – это тонкий слой между эмиттером и коллектором. Она контролирует ток между этими двумя областями. Изменяя ток в базе, можно управлять током, протекающим от эмиттера к коллектору. База имеет малую ширину, что позволяет эффективно управлять проводимостью транзистора.

Коллектор – это область, в которую направляются носители заряда из базы. Он обычно имеет большую площадь по сравнению с эмиттером, что позволяет собирать электри-

ческий ток.

Эти три области биполярного транзистора работают совместно, чтобы транзистор мог выполнять свои функции.

Биполярные транзисторы находят широкое применение и на сегодняшний день, их используют для усилительных каскадов, электронных ключей, модуляторов, детекторов, логических инверторов и других микросхем на транзисторной логике.

УГО биполярного транзистора представлено на рисунке 1.6.

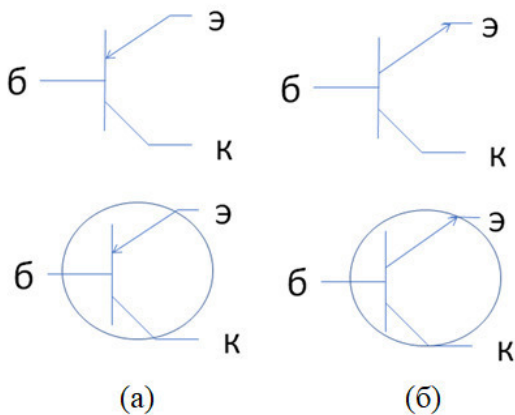


Рисунок 1.6 – УГО биполярного транзистора: (а) npn транзистор; (б) pnp транзистор

УГО биполярного транзистора допустимо изображать в окружности, или без нее. На сегодняшний день чаще можно встретить УГО биполярного транзистора без окружности. Выводы полупроводниковых приборов на электрической принципиальной схеме не принято подписывать, но при этом на любой схеме допускается писать необходимую справочную информацию, которую разработчик считает важной. Правда подписывать анод, катод или базу, эмиттер, коллектор – всё таки никто не подписывает, такие простые записи могут продемонстрировать не профессионализм (хотя существуют САПР (системы автоматизированного проектирования), в которых эти обозначения присутствуют у транзисторов, как часть их УГО, ГОСТ это, соответственно, не нарушает и воспринимается нормально). Пишут, как правило, расчетные данные, характеристики или допустимые аналоги.

Следующим логическим решением было объединить полученные структуры, и такое объединение позволило получить такой полупроводниковый прибор, как тиристор. Тиристор – это полупроводниковый диод с дополнительным электродом для управления. Такой диод пропускает электрический ток в одном направлении, но только тогда, когда на управляющий электрод подается напряжение. Структура такого прибора представлена на рисунке 1.7

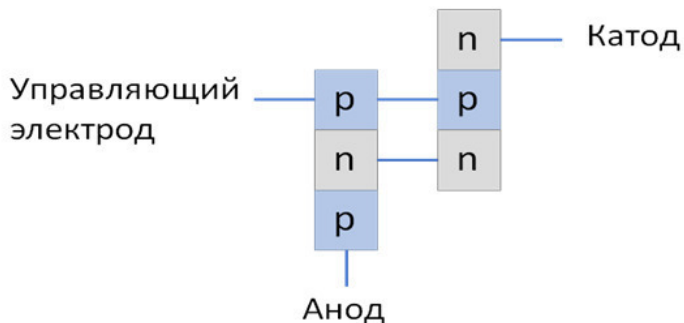


Рисунок 1.7 – Полупроводниковая структура тиристора

Так как тиристор образован на основе двух биполярных транзисторов, то функционально его можно собрать на их основе. Электрическая принципиальная схема представлена на рисунке 1.8

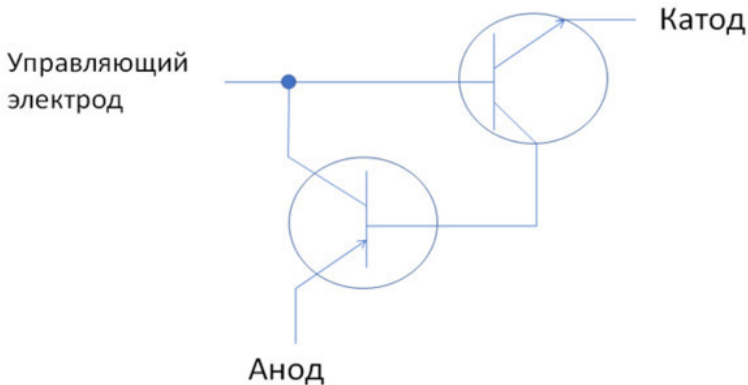


Рисунок 1.8 – Электрическая принципиальная схема тиристора

Так как такая сложная структура реализована под корпусом одного полупроводникового прибора, то используя тиристор и отображая его на схеме, необходимо использовать УГО представленное на рисунке 1.9

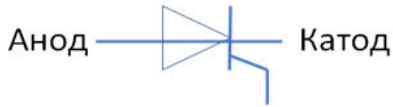


Рисунок 1.9 – УГО тиристора

С развитием технологии транзисторов, кроме биполярных транзисторов, появились и другие типы транзисторов. Такие, как полевые транзисторы, точечные транзисторы, плоскостные транзисторы, сплавные транзисторы, электрохимические транзисторы, диффузионные меза-транзисторы, силовые транзисторы, эпитаксиальные транзисторы, многоэмиттерные транзисторы.

Эти типы развивались параллельно, совершенствуясь по характеристикам частоты, мощности, напряжения и технологии производства.

1.2 Основные радиоэлектронные приборы

Отдельно от описанного пути в подразделе 1.1 развивали такие основные приборы, как резистор, конденсатор и ин-

дуктивность.

Резистор – это прибор, который оказывает сопротивление электрическому току, уменьшая его на своём выходе. Поэтому основная характеристика резистора при его выборе – это электрическое сопротивление, которое измеряется в «омах», обозначаемых: «Ом».

Энергия не может просто пропасть, она всегда преобразовывается из одного вида в другой, поэтому физический принцип работы резистора заключается в том, что когда через него проходит электрический ток – он греется, тем самым переводя электрическую энергию в тепловую. На этом принципе основаны обогреватели. Поэтому второй важной характеристикой является мощность, если мощность резистора будет маленькой, а электрический ток через него будет проходить большой – резистор начнет сильно греться и в какой-то момент может сгореть. Если мощность будет достаточной, то нагрев резистора не будет ощущаться, резистор, не смотря на то, что переводит электрическую энергию в тепловую будет оставаться холодным, к чему и следует стремиться. Мощность измеряется в ватах, обозначаемых: «Вт». От нее зависит типоразмер резистора (его физический размер).

Третьей важной характеристикой резистора является его точность. Изготовить серию электронных компонентов с одинаковой характеристикой не возможно, всегда будет некоторое отклонение. Если его реальное сопротивление

ние отклоняется от номинального (указанного) на 1%, то его точность 1%. Например, если номинальное сопротивление резистора 1000 Ом, а его точность 1%, то сопротивление такого резистора может находиться в диапазоне от 990 до 1010 Ом. Резисторы с точностью 1% считаются очень точными, цена на такие резисторы выше, чем на другие. В схемах обычно используют резисторы с точностью 5%.

В качестве первого резистора в 1844 году Жан-Шарль-Атанас Поль предложил использовать провод из определенных материалов для создания заданного сопротивления. В 1850 годах Иоганн Георг Мах изобрел новый концепт: наматывать провод на керамическое основание. Еще через десять лет появились угольные резисторы, которые уже имели более высокие значения сопротивления. Значительно позже изобрели пленочные, металлопленочные резисторы, которые уже были более точными и стабильными.

Бывают резисторы, которые меняют своё сопротивление под воздействием температуры, они являются полупроводниковыми и называются терморезисторами.

Бывают резисторы, которые меняют своё сопротивление под воздействием солнечного света, это тоже полупроводниковые приборы и называются они фоторезисторами.

Практически в любом полупроводниковом устройстве на основе транзисторов и других элементов можно встретить резистор, но обычный, не являющийся полупроводниковым.

Условно-графическое обозначение резистора представле-

но на рисунке 1.10.



Рисунок 1.10 – УГО резистора

Первые резисторы были похожи на вытянутые бочонки с проволоками с двух сторон. Такой резистор впаивается в плату ножками или припаивается к проводам, поэтому называется резистором с гибкими выводами для навесного монтажа.

Такие резисторы используются и сейчас, но уже появились и более компактные варианты для изготовления электронных модулей на печатных платах. Именно по форме резистора с гибкими выводами и можно запомнить, как выглядит УГО. Вытянутый корпус и два вывода.

У резистора нет плюса или минуса, такой прибор называется не полярным и его можно подключать любой стороной.

Конденсатор – это прибор, который накапливает электрический заряд.

Первый конденсатор был изобретен в середине 17 века и представлял из себя лейденскую банку. Такая банка была стеклянной и наполненной водой, которая служила внутренним электродом. В банку погружался металлический стержень или проводник, обычно из меди, который был подключен к электростатической машине. Внешнюю поверхность банка в самом простом варианте было достаточно обхватить ладонью, что обеспечивало внешний электрод.

Лейденская банка со временем совершенствовалась и в качестве электродов стала использовать фольга, одним куском фольги покрывали стеклянную банку внутри, вторым куском фольги покрывали банку снаружи. Каждый кусок являлся электродом.

Позже стали использовать вместо воды стекло, вощеную бумагу и другие материалы, чтобы уменьшить размеры и повысить надежность.

В 1920 годах появились слюдяные конденсаторы с металлическим покрытием, а после Второй Мировой войны стали широко использоваться керамические. Они используются и сегодня.

Первые электролитические конденсаторы позволили увеличить ёмкость, а в своей конструкции стал иметь положительный и отрицательный вывод, который помечался на корпусе.

На сегодняшний день существуют многослойные керамические, танталовые, полимерные конденсаторы, которые

продолжают совершенствоваться.

Таким образом, конденсатор не является полупроводниковым прибором. Он представляет из себя компонент, который состоит из двух обкладок, которые проводят электрический ток и диэлектрика, который их разделяет. Электрический заряд накапливается на одной из этих обкладок и потом может использоваться, например, для фильтрации (для того, чтобы уменьшить электрические помехи).

Так как конденсатор накапливает электрический заряд, то основная его характеристика заключается в том, как много электрического заряда он может в себя вместить. Такая характеристика называется ёмкостью и измеряется она в фарадах, обозначаемых: «Ф».

Второй важной характеристикой конденсатора является напряжение, он должен быть способен выдержать то напряжение, которое через него будет проходить, иначе в нем разрушится диэлектрический слой. Разрушение может сопровождаться нагревом, искрами и даже взрывом. Чтобы этого избежать инженеры выбирают конденсаторы работающие под напряжением на 20% выше того, которое будет через него проходить на схеме.

Принцип запаса в 20% используется так же с мощностью резистора и в других вопросах схемотехники.

Условно-графическое обозначение конденсатора иллюстрирует две обкладки и расстояние между ними – диэлектрик. УГО представлено на рисунке 1.11.



Рисунок 1.11 – УГО конденсатора

Конденсатор может быть не полярным, тогда его можно подключать любым выводом, и полярным, тогда на УГО над одной обкладкой обозначается плюс, который говорит о том, что это положительный вывод. Если конденсатор полярный путать с подключением нельзя, такая оплошность грозит его выходом из строя.

Индуктивность, дроссель или катушка индуктивности – это прибор, который накапливает энергию в магнитном поле. Основная характеристика – индуктивность, измеряемая в единицах измерения генри, обозначаемых: «Гн».

Изобретение первой индуктивности стало фундаментальным для понимания связи между электричеством и магнетизмом.

Эти приборы были созданы независимо от описанного выше пути развития во время различных исследований, пото-

му что их структура и принцип действия отличается от р-п перехода, тем ни менее, без них не обходится ни одно современное полупроводниковое электронное устройство.

1.3 Особенности и развитие технологического процесса изготовления полупроводниковых приборов

Советский инженер и физик Олег Владимирович Лосев задолго до изобретения р-п перехода, в 1920 годах, впервые заметил и подробно изучил явление усиления электрического сигнала в полупроводниках с точечным контактом, что стало предшественником транзистора. Он исследовал устройства с металлическим острием, которое прижималось к полупроводниковому кристаллу, для определения радиосигнала, но обнаружил, что так можно усиливать ток. Принцип р-п перехода тогда ещё не был известен, поэтому Лосев не мог связать свои наблюдения с этим явлением. Его открытия опирались на создание контакта металл-полупроводник, наблюдение свойств этого контакта и нелинейных вольтамперных характеристик, которые приводили к усилению сигнала. На основе этого контакта он создал устройство, которое назвал «кристанид». Кристанид – первый в мире полупроводниковый усилитель и генератор электрических сигнала.

лов. Таким соединением было соединение карборунда и карбида кремния, при прохождении тока через эту структуру возникало свечение, а электрический сигнал усиливался.

На основе обнаруженного эффекта инженер и физик изобрел и запатентовал световое реле, которое является по своей сути первым в мире прототипом светодиода.

Олег Лосев разработал трёхэлектродные схемы, которые по структуре были аналогичны транзисторам, но такая структура не обеспечивала усиления. Его работы не находили применения в промышленности из-за популярности и развития вакуумных ламп в те года.

Изначально р-п переход создавали путем физического соединения двух легированных полупроводников, один из которых р-типа, а другой п-типа. Первые шаги делали в этом делали в 1930- 1940 годах, когда учёные начали активно изучать полупроводники и их свойства. Одним из первых исследователей был русский физик Леонид Витенберг.

Первые образцы создавали буквально прижимая два типа полупроводника друг к другу. Прижимать пытались руками или простыми зажимами, такими как металлические зажимы или прижимные пластины.

Такой технологический процесс был очень грубым, без какого – либо спаивания или легирования. Такой контакт иногда показывал признаки выпрямляющего эффекта (ток проходил в одну сторону легче, чем в другую). Потому, что носители заряда из одной области начинали переходить

в другую, но контакт был очень нестабилен и ненадёжен, на границе был плохой электрический контакт из-за воздушных прослоек и несовершенства поверхности, как итог – такой переход был очень слабым и быстро разрушался.

Происходило это потому, что полупроводники являются очень чувствительными материалами. Для создания качественного р-п перехода нужна чистая и ровная граница между р и п областями, которую не возможно обеспечить механическим способом, так как необходимо помнить о том, что на молекулярном уровне они будут далеко друг от друга, разделенные воздушными прослойками. Просто прижать два куска – это как попытаться склеить два листа бумаги без клея, даже если они и будут держаться, то не долго, так как контакта как такового не будет.

В итоге такой контакт давал эффект образования перехода, но с низким качеством. Для практического применения в составе приборов этого было не достаточно, такой переход был нестабилен и ненадёжен.

Поняв это, с развитием технологий стали создавать р-п переходы внутри одного кристалла с помощью легирования разных областей, что обеспечивало прочный и контролируемый контакт. Было это в 1940 годах, и как правило относят к исследователям из США (Уильям Шокли, Джон Бардин, Уолтер Браттейн).

На поверхность чистого кристалла германия наносили тонкий слой примеси (например, индия для р-типа).

После кристалл нагревали в специальных печах при высокой температуре, чтобы атомы примеси проникали внутрь и создавали область с другим типом проводимости.

Поверхность тщательно очищали от загрязнений и окислов, чтобы получить качественный переход.

Внутри одного кристалла формировалась граница между р- и n- областями настоящий р-n переход, который уже мог работать, как полупроводниковый диод в составе электронного устройства.

Эти первые эксперименты заложили основу всей современной электроники. Сегодня р-n переходы – это основа всех полупроводниковых и в целом почти всех электронных приборов, от светодиодов до микропроцессоров.

Уильям Шокли, Джон Бардин, Уолтер Браттейн в 1956 году получили нобелевскую премию за изобретение полупроводникового транзистора в 1947 году. Первый транзистор состоял из кристалла германия, к которому была прижата маленькая металлическая игла.

Игла была очень тонкой, их делали из материалов с хорошей проводимостью и устойчивых к окислению – из золота или серебра. Так, например, обычную швейную иглу использовать было нельзя, она слишком толстая, грубая и покрыта оксидной пленкой, которая ухудшит контакт. Даже если швейную иглу покрыть серебром, этого будет недостаточно, так как она тоще и грубее, чем иглы, которые использовали в первых транзисторах.

Кристалл германия имел n-тип проводимости, а под иглой создавалась небольшая p-область. Полученный транзистор мог усиливать электрический сигнал, конкурируя с вакуумными лампами, которые имели большие, по сравнению с этим образцом, размеры.

Иглы (электроды) прижимали к поверхности германия с помощью специальных держателей или маленьких приспособлений, например, треугольной пластмассовой призмы, обёрнутой золотой фольгой, которая была разрезана бритвой для создания очень маленького зазора между контактами. Такой узел позволял точно позиционировать иглы (электроды), создавая нужный контактный размер, который, как правило, был от 10 до 50 микрон, который в свою очередь образовывался на основе размера иглы. Какого размера игла – такого размера контактная область.

Нужно было нейтрализовать поверхностные заряды вокруг игл, для этого вначале использовали каплю электролита, а позже перешли к сухому контакту с анодированием поверхности германия.

Получается, что иглы не спаивали, а именно прижимали, чтобы не повредить кристалл и сохранить возможность регулировки.

Не смотря на получение практического результата, первый образец имел множество недостатков, он был очень чувствителен к механическим воздействиям – тряске, вибрациям, ударам.

Контакт без пайки, основанный только на механическом прижиге, «боялся» любого смещения иглы. Смещение иглы могло нарушить контакт, изменить площадь контакта, что влияет на его работу.

Из-за этого первые образцы транзисторов были хрупкими и нестабильными в эксплуатации.

Одновременно с изобретением точечного транзистора немецкие физики Гербертом Матаре и Генрихом Велькером, работая во Франции, изобрели полупроводниковый прибор, который назвали «транзистрон». Этот прибор стал первым серийно выпускавшимся биполярным транзистором в Европе и использовался около десяти лет.

Физики использовали германиевый кристалл с двумя тонкими металлическими контактами, которые прижимались к поверхности полупроводника на небольшом расстоянии друг от друга. Такая структура формировала р-п переходы и позволяла управлять током, а именно – усиливать электрический сигнал.

Когда на один контакт подают сигнал, он влияет на ток через другой, то есть сигнал усиливается.

2. Логические сигналы

Во второй главе этой книги представлена информация по следующим темам:

- понятие логического сигнала и реализации этого понятия в программировании и электронике;
- основные логические операции;
- правила формирования логических элементов на транзисторах;
- комплекс задач.

2.1 Описание основных операций

Логический уровень – это одно из конечных состояний, в которых может находиться сигнал.

Таких конечных состояний может быть два.

Наличие напряжения на выводе называют высоким уровнем напряжения. Высокий уровень напряжения соответствует логической единице («1») и соответствует истинности значения «true».

Отсутствие напряжения на выводе называют низким уровнем напряжения. Низкий уровень напряжения соответствует логическому нулю («0») и соответствует значению «false».

Если на выводе устройства, схемы, микросхемы или дру-

того элемента не было напряжения и мы сделали так, что оно появилось – мы инвертировали сигнал.

Если напряжение было и мы сделали так, что напряжения на выводе пропало – мы снова инвертировали сигнал.

Таким образом, инверсия или логическое отрицание меняет уровень напряжения. Если на вход подать электрическое напряжение, то на выходе будет низкий уровень сигнала, и на оборот, если не подавать на вход напряжение, то на выходе мы будем наблюдать высокий уровень сигнала. Для такой реализации такой логической операции существует специальный логический элемент, который называют инвертором. Такой элемент имеет один вход, на который мы можем подавать напряжение и один выход, на котором мы получаем инвертированный результат наших действий.

Таблица истинности логического отрицания двух переменных (НЕ) представлена в таблице 2.1

Таблица 2.1

X	НЕ (X)
0	1
1	0

На этапе разработки устройства, для составления логических схем с использованием инвертора, используется специальное графическое обозначение, представленное на рисунке 2.1 (а) или на рисунке 2.1 (б). Обозначения равноценные, в разных компьютерных программах, на разных схемах, иногда можно встретить вариант, представленный на рисунке 2.1 (а), а иногда представленный на рисунке 2.1 (б). Вариант изображения зависит от того, какой используется стандарт, принятый в России или за рубежом.

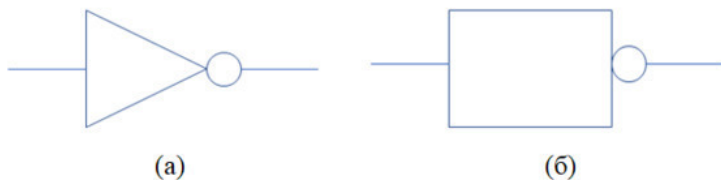


Рисунок 2.1 – Обозначение инвертора на логической схеме: (а) зарубежный стандарт; (б) отечественный стандарт.

Так в компьютерной программе, которую разработали в Америке, вы встретите вариант соответствующий изображению на Рисунок 2.1 (а).

Находясь в России можно использовать и отечественный стандарт, и зарубежный. Применение зарубежного стандарта

не будет ошибкой. Сокращению логической инверсии «НЕ» соответствует англоязычное «NOT».

Для тестирования изготовленного устройства, в том числе программного обеспечения – можно опираться на функциональную диаграмму (рисунок 2.2).



Рисунок 2.2 – Обозначение функциональной диаграммы

Внутри каждого круга на функциональном обозначении логического действия размещается обозначение узла схемы (порядковый номер или переменная). Каждый узел (круг) находится в одном из двух состояний, в состоянии логической единицы или нуля.

За логическим действием с сигналами существует возможность схемной реализации. На рисунке 2.3 представлен один из возможных вариантов реализации инверсии уровня сигнала, используя транзистор и резисторы. Существуют разные типы логики, которые позволяют на радиоэлектрон-

ных приборах собрать логические операции. Здесь и далее разбираются конструкции из резисторно-транзисторной логики. Особенности и виды логики разбираются в подразделе «2.4 Теория о разных типах логики».

Конец ознакомительного фрагмента.

Текст предоставлен ООО «Литрес».

Прочитайте эту книгу целиком, [купив полную легальную версию](#) на Литрес.

Безопасно оплатить книгу можно банковской картой Visa, MasterCard, Maestro, со счета мобильного телефона, с платежного терминала, в салоне МТС или Связной, через PayPal, WebMoney, Яндекс.Деньги, QIWI Кошелек, бонусными картами или другим удобным Вам способом.