

Тема 2. Радиокomпоненты радиоэлектронных средств

Лекция 8. Линии задержки, коммутационные элементы, полупроводниковые ИС, оптоэлектроника

Вопросы:

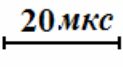
- 8.1 Линии задержки.
- 8.2 Коммутационные элементы.
- 8.3 Полупроводниковые интегральные схемы.
- 8.4 Оптоэлектроника.

Литература

1. Петров К.С. Радиоматериалы и радиокomпоненты. – М.: Питер, 2003. – 512 с.

8.1 Линии задержки.

Линия задержки — устройство, предназначенное для задержки электромагнитных сигналов на определённый промежуток времени (фиксированный, переключаемый или с плавной регулировкой).

Применяются: в радиолокации и радионавигации, измерительной технике, вычислительной технике и автоматике, электроакустике (ревербераторы), технике связи, в научных исследованиях. На принципиальных электрических схемах линии задержки обозначаются как . Над отрезком прямой при необходимости помещают указания о времени задержки.

Линии задержки используются в различных частотных диапазонах, что обуславливает различие в принципах построения. Так, для электрических сигналов в диапазонах низкочастотном, высокочастотном и СВЧ применяют *аналоговые линии задержки*.

По способам исполнения различают линии задержки, выполненные

- на линиях с распределёнными параметрами (кабельные, в виде бухты кабеля с выводами под распайку, и волноводные, в виде микромодуля или микросхемы на полосковых или ферритовых волноводах);
- на искусственных линиях задержки со сосредоточенными параметрами (последовательность звеньев, имитирующих реальную линию);

- с преобразованием электрических сигналов в сигналы другой физической природы (ультразвуковые, оптическое излучение) и обратно.

Поскольку в бытовой радиоэлектронной аппаратуре наиболее часто применяются ультразвуковые линии задержки, то остановимся на их рассмотрении. Данные линии обеспечивают задержку от долей миллисекунды до десятков миллисекунд и используются, например, для задержки сигнала цветности в телевизионных приёмниках, в качестве мер временного интервала в измерительной технике, в качестве калибраторов расстояния (высоты) для радиолокационных и радионавигационных устройств, в качестве запоминающих устройств в вычислительной и радиолокационной технике, в других целях.

Принцип работы основан на преобразовании электрических сигналов в ультразвуковые на входном конце устройства и обратном их преобразовании на выходном конце, после того как ультразвуковые колебания затратили определенное время для прохождения звукопровода. Различие скоростей распространения ультразвуковых колебаний в упругой среде и распространения электромагнитных колебаний позволяет получить необходимую задержку сигнала при сравнительно небольших размерах звукопровода.

Для преобразования электромагнитных колебаний в механические применяются либо пьезоэлектрические преобразователи, либо магнитострикционные.

В случае применения пьезоэлектриков используется пьезоэффект, заключающийся в индуцировании электрического заряда на поверхности диэлектрика под действием деформации (прямой пьезоэлектрический эффект) или в деформации диэлектрического материала под влиянием внешнего электрического поля (так называемый обратный пьезоэлектрический эффект).

При использовании магнитострикционной схемы применяется явление магнитострикции, при которой изменение состояния намагниченности тела приводит к изменению его объема и линейных размеров.

Пример конструкции ультразвуковой линии задержки с пьезоэлектрическими преобразователями показан на рисунке 8.1. При этом используются следующие обозначения: 1 – отверстие для подавления ложных сигналов; 2 – звукопровод; 3 – пьезоэлектрические преобразователи. В качестве звукопровода в ультразвуковой линии задержки используется термостабильное стекло, пьезопреобразователи выполняются из специальной керамики с добавкой титаната свинца.

Схема магнитострикционной проволоочной ультразвуковой линии задержки на продольных волнах показана на рисунке 8.2. Здесь принято следующее обозначение: 1 – входной преобразователь; 2 – выходной преобразователь; 3 – дополнительный преобразователь; 4 – постоянные магниты.

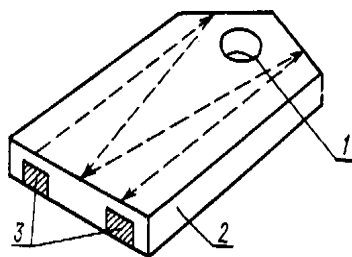


Рисунок 8.1 – Ультразвуковая линия задержки

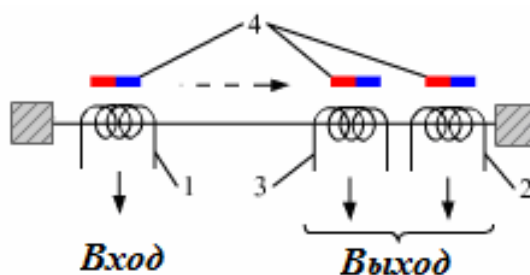


Рисунок 8.2 – Схема устройства магнитострикционной линии задержки

Волноводные ультразвуковые линии задержки обеспечивают задержку до 100мс.

8.2 Коммутационные элементы.

В бытовой радиоэлектронной аппаратуре широко используются **коммутационные изделия**, к которым относятся разъемы, переключатели, выключатели и реле.

Разъемы (электрические соединители) – это электромеханические устройства для осуществления временного соединения (коммутации) электрических проводников.

Электрическое соединение совершается путем механического контакта проводников (вилки и гнезда). Число контактов определяется назначением разъема и может составлять от одного до нескольких сотен.

В зависимости от назначения разъемы классифицируются по

- применению (сигнальные, питающие, аудио, видео, компьютерные);
- по напряжению (низковольтные, высоковольтные);
- по силе тока (слаботочные, сильноточные);
- по диапазону частот проходящего через них тока (для постоянного тока, низкочастотные, высокочастотные);
- методу монтажа (на панель, на провод, на шасси);
- способу подключения провода к контакту (винтовой клей, обжим, пайка);
- защищенности от внешней среды.

Пример выполнения разъема *XLR*, используемого в области профессиональной обработки света и звука, показан на рисунке 8.2. На рисунке с индексом «а» показан общий вид разъемов (слева розетка, справа – вилка), а на рисунке с индексом «б» показан вид с торца разъема. При этом цифрами 1-3 помечены номера контактов. Назначение контактов различается и учитывается при распайке. Так, контакт 1 – общий провод (может быть соединен с оплеткой кабеля), контакт 2 – прямая полярность (плюсовой провод), контакт 3 – обратная полярность (минусовой провод).

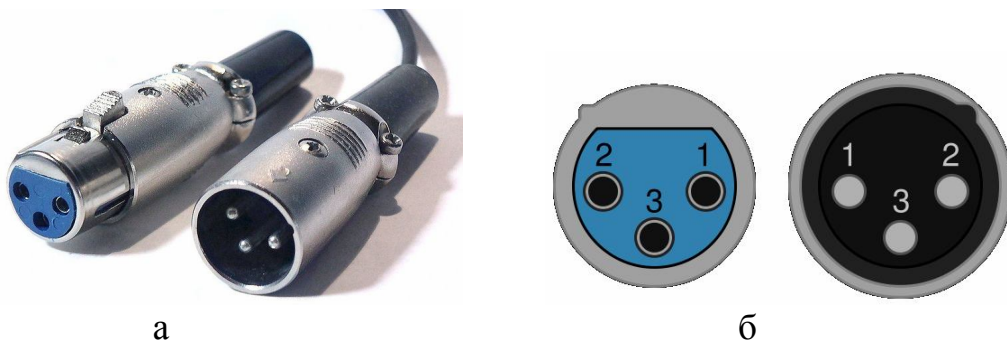


Рисунок 8.2 – Структура разъема

Коммутирующие устройства в виде **выключателей и переключателей** (ключи) применяются для коммутации электрических цепей с целью выбора определенного режима их работы (замыкания и размыкания электрической цепи).

Состоят из системы контактов и приводного устройства, при помощи которого система контактов переходит из одного состояния в другое. Контакты изготавливаются из бронзы, латуни или вольфрама и покрываются серебром, платиной или золотом.

Ключи бывают механическими, электромагнитными и электронными.

Механические ключи служат для непосредственного управления цепью, так как диэлектрический рычаг механического ключа обычно напрямую связан с токоведущими частями ключа. Применяются в случае, когда не требуется отделять управляемую цепь. Примеры: выключатели освещения, пакетные выключатели, тумблеры, переключатели различных конструкций (галетные, клавишные, движковые и др.).

Электромагнитные ключи служат для дистанционного управления, управления высоковольтными цепями (в случае, когда опасно управлять напрямую механическим ключом), гальванической развязки между устройством управления и нагрузками, синхронного управления несколькими цепями одного сигнала.

К данному типу относятся также реле, шаговые искатели, контакторы и магнитные пускатели. Реле используют в основном для управления большими токами. В цепях с небольшими токами для управления чаще всего применяются транзисторы или тиристоры.

Релé - электромагнитный аппарат, предназначенный для коммутации электрических цепей (скачкообразного изменения выходных величин) при заданных изменениях электрических или не электрических входных величин. Широко используется в различных автоматических устройствах. Различают электрические, пневматические, механические виды реле, но наибольшее распространение получили электрические (электромагнитные) реле.

Принцип работы электрического реле показан на рисунке 8.3: при пропускании электрического тока через обмотку электромагнита возникающее магнитное поле притягивает к сердечнику якорь, который через толкатель смещает и тем самым переключает контакты.

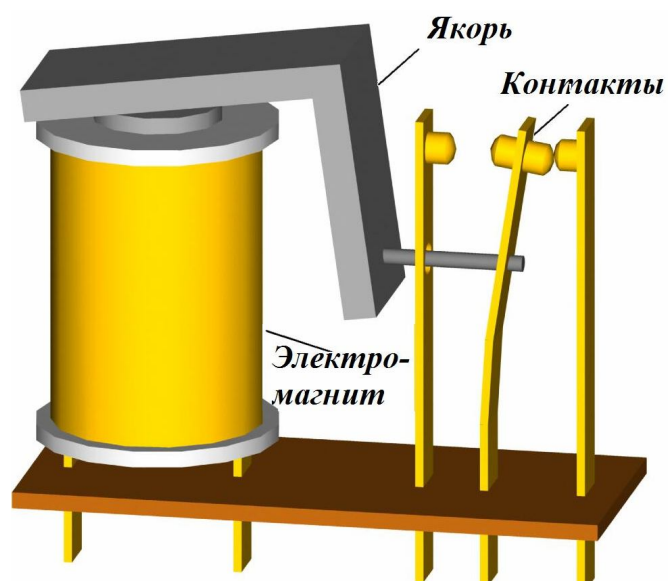


Рисунок 8.3 – Принцип работы реле

Герконовые реле вместе с сердечника используют геркон (герметизированный магнитоуправляемый контакт), показанные на рисунке 8.4, представляющие собой электромеханическое устройство в виде пары ферромагнитных контактов, запаянных в герметичную стеклянную колбу. При поднесении к геркону постоянного магнита или включении электромагнита контакты замыкаются. Имеются также герконы, размыкающие цепь при возникновении магнитного поля и имеются герконы с переключающей группой контактов.

Преимущества герконов являются:

- отсутствие возможности обгорания контактов при замыкании, поскольку они находятся в инертном газе;

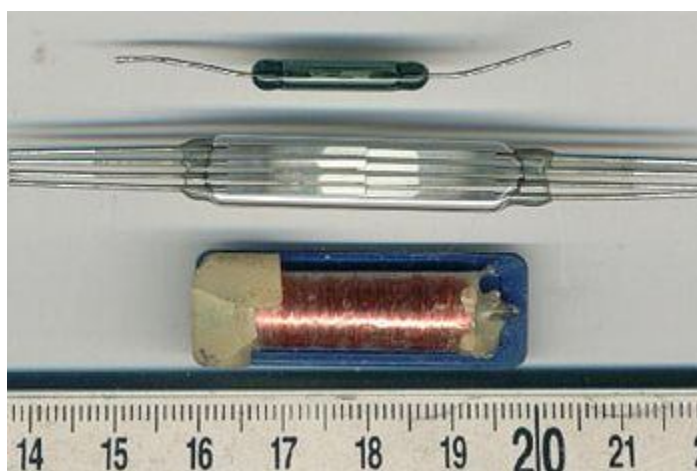


Рисунок 8.4 – Герконы и герконовые реле

- долговечность (срок службы 10^8 - 10^9 и больше срабатываний);
- отсутствие неопределенности нажатия (только два четких состояния);
- меньший размер по сравнению с классическим реле;
- отсутствие необходимости применения тугоплавких и драгоценных металлов для контактов;
- бесшумность и высокое быстродействие.

Применение:

- для выполнения клавиатуры клавишных синтезаторов;
- выполнение клавиатуры промышленных приборов, где требуется долговечность и взрывобезопасность;
- выполнение датчиков: охранных, велокомпьютеров и т. п.;
- применение в подводном оборудовании: фонари для дайвинга, подводной охоты;
- использование в лифтах в качестве датчиков позиционирования кабины;
- теле-радио аппаратура.

Электронные ключи основаны на работе биполярных транзисторов. Данные транзисторы, как известно из курса электроники, закрыты, когда на базе транзистора «0» относительно эмиттера, ток через него не идёт, на коллекторе всё напряжение питания (сигнал высокого уровня — «1»). Когда на базе транзистора «1», на коллекторе возникает ток «коллектор — эмиттер» и падение напряжения на сопротивлении коллектора, напряжение на коллекторе, а с ним и напряжение на выходе, уменьшается до низкого уровня «0».




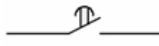





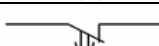
Возможно также применение полевых транзисторов. Принцип их работы схож с принцип работы электронных ключей на биполярных транзисторах. Однако цифровые ключи на полевых транзисторах потребляют меньший ток управления, обеспечивают гальваническую развязку входных и выходных цепей, однако быстродействие их ниже по сравнению с биполярными.

Оптоэлектронный ключ предназначен для коммутации высоковольтных цепей переменного и постоянного токов. Он имеет четыре незави-

симых канала, каждый из которых содержит две оптоэлектронные пары, состоящие из светодиода и высоковольтного $p-i-n$ -фотодиода. Фотодиоды соединены встречно-последовательно, поэтому сопротивление ключа в закрытом состоянии (в отсутствие тока через светодиоды) независимо от полярности приложенного напряжения определяется темновым сопротивлением смещенного в обратном направлении $p-i-n$ -фотодиода; значение его составляет примерно 109 Ом. Применяются для управления электронными элементами, например, тиристорами и симисторами.

Обозначение реле на принципиальных электрических схемах показано в Таблице 8.1.

Т а б л и ц а 8.1 – Обозначение реле на принципиальных электрических схемах

Обозначение	Описание
	Обмотка реле (управляющая цепь)
	Контакт замыкающий
	Контакт размыкающий
	Контакт замыкающий с замедлителем при срабатывании
	Контакт замыкающий с замедлителем при возврате
	Контакт импульсный замыкающий
	Контакт замыкающий без самовозврата
	Контакт размыкающий без самовозврата
	Контакт размыкающий с замедлителем при срабатывании
	Контакт размыкающий с замедлителем при возврате

8.3 Полупроводниковые интегральные схемы.

Интегральная микросхема – электронная схема произвольной сложности, изготовленная на полупроводниковом кристалле (или пленке) и помещенная в неразборный корпус.

На 2009 год большая часть микросхем изготавливается в корпусах для поверхностного монтажа. Первая советская полупроводниковая микросхема

была создана в 1961г. в Таганрогском радиотехническом институте в лаборатории Л.Н. Колесова.

Уровни проектирования:

- физический (методы реализации небольшой группы транзисторов в виде легированных зон в кристалле);
- электрический (принципиальная электрическая схема: транзисторы, конденсаторы, резисторы и т.п.);
- логический (логические инверторы, элементы ИЛИ-НЕ, И-НЕ и т.п.);
- схемо- системотехнический уровень триггеры, компараторы, шифраторы, дешифраторы, АЛУ и т.п.);
- топологический (фотошаблоны для производства);
- программный уровень (для микропроцессоров и микроконтроллеров, команды ассемблера для программиста).

Названия микросхем:

- малая ИС (МИС) – до 100 элементов в кристалле;
- средняя ИС (СИС) – до 1000 элементов в кристалле;
- большая ИС (БИС) – до 10 000 элементов в кристалле;
- сверхбольшая ИС (СБИС) – свыше 10 тыс. элементов в кристалле.

Пример: последние версии процессоров *Pentium 4* содержат пока несколько сотен миллионов транзисторов.

Основным элементом аналоговых микросхем являются транзисторы (биполярные или полевые). Разница в технологии изготовления транзисторов существенно влияет на характеристики микросхем, в связи с этим в описании микросхемы указывают технологию изготовления. Для улучшения характеристик микросхем нередко объединяют технологии биполярных и полевых транзисторов.

Микросхемы на униполярных (полевых) транзисторах - самые экономичные (по потреблению тока), выполняются на следующих типах логики:

- МОП-логика (металл-окисел-полупроводник логика) — микросхемы формируются из полевых транзисторов n-МОП или p-МОП типа;

- КМОП-логика (комплементарная МОП-логика) — каждый логический элемент микросхемы состоит из пары взаимодополняющих (комплементарных) полевых транзисторов (n-МОП и p-МОП).

Микросхемы на биполярных транзисторах выполняются на логиках:

- РТЛ — резисторно-транзисторная логика (устаревшая, заменена на ТТЛ);
- ДТЛ — диодно-транзисторная логика (устаревшая, заменена на ТТЛ);
- ТТЛ — транзисторно-транзисторная логика — микросхемы сделаны из биполярных транзисторов с многоэмиттерными транзисторами на входе;
- ТТЛШ — транзисторно-транзисторная логика с диодами Шотки — усовершенствованная ТТЛ, в которой используются биполярные транзисторы с эффектом Шотки;
- ЭСЛ — эмиттерно-связанная логика — на биполярных транзисторах, режим работы которых подобран так, чтобы они не входили в режим насыщения, что существенно повышает быстродействие. Технология в настоящее время используется редко. Раньше применялись при производстве вычислительной техники;
- ИИЛ — интегрально-инжекционная логика.

КМОП и ТТЛ (ТТЛШ) технологии являются наиболее распространёнными логиками микросхем. При необходимости экономии потребления тока применяют КМОП-технологии, а для обеспечения скорости применяют ТТЛ-технологии. *Слабым местом* КМОП-микросхем является уязвимость от статического электричества - достаточно коснуться рукой вывода микросхемы и её целостность уже не гарантируется.

При изготовлении микросхем используется фотопроцесс, при этом схему формируют на подложке, обычно из диоксида кремния, полученной термическим оксидированием кремния. В качестве характеристики технологического процесса производства микросхем указывают ширину полосы фотоповторителя и, как следствие, размеры транзисторов (и других элементов) на кристалле. Новые процессоры (сперва это был Core 2 Duo) делают по но-

вой УФ-технологии 0,045 мкм. Есть и другие микросхемы, давно достигшие и превысившие данный уровень (в частности видеопроцессоры и flash-память фирмы Samsung — 0,040 мкм). Тем не менее, дальнейшее развитие технологии вызывает всё больше трудностей. Сейчас разработчики и производители микросхем работают над технологическим процессом 0,032 мкм.

Назначение: Интегральная микросхема может обладать законченным, сколь угодно сложным, функционалом - вплоть до целого микрокомпьютера.

Микросхемы выпускаются в двух конструктивных вариантах — корпусном и бескорпусном.

Бескорпусная микросхема — это полупроводниковый кристалл, предназначенный для монтажа в гибридную микросхему или микросборку.

Корпус — это часть конструкции микросхемы, предназначенная для защиты от внешних воздействий и для соединения с внешними электрическими цепями посредством выводов. Корпуса стандартизованы для упрощения технологического процесса изготовления изделий из разных микросхем.

В российских корпусах расстояние между выводами измеряется в миллиметрах и наиболее часто это 2,5 мм или 1,25 мм. У импортных микросхем расстояние измеряют в дюймах, используя величину 1/10 или 1/20 дюйма, что соответствует 2,54 и 1,28 мм.

Одним из вариантов выполнения цифровых микросхем, которые выполняли функции процессора, является **микропроцессор**. Микропроцессор выполняет в основном функции арифметическо-логического устройства, а дополнительные функции связи с периферией выполняются с помощью специально для этого изготовленных наборов микросхем. Наборов микросхем в количестве двух-трех получил название **чипсет**. Чипсеты встречаются и в других устройствах, например, в радиоблоках сотовых телефонов.

Микропроцессоры со встроенными контроллерами памяти и ввода-вывода, ОЗУ и ПЗУ, а также другими дополнительными функциями называют **микроконтроллерами**. Встроенная энергонезависимая память при этом используется для хранения программы и данных. Наиболее дешёвые типы

памяти допускают лишь однократную запись. В отличие от процессоров общего назначения, в микроконтроллерах часто используется гарвардская архитектура памяти, то есть раздельное хранение данных и команд в ОЗУ и ПЗУ соответственно.

Микроконтроллеры являются основой для построения встраиваемых систем, их можно встретить во многих современных приборах, таких, как телефоны, стиральные машины и т. п. Бóльшая часть выпускаемых в мире процессоров - микроконтроллеры.

Популярностью у разработчиков пользуются 8-битные микроконтроллеры *PIC* фирмы *Microchip Technology* и *AVR* фирмы *Atmel*, шестнадцатититные *MSP430* фирмы *TI*, а также *ARM*, архитектуру которых разрабатывает фирма *ARM* и продаёт лицензии другим фирмам для их производства. Разнообразие моделей микроконтроллеров обусловлено необходимостью соблюдения баланса между размерами и стоимостью с одной стороны и гибкостью и производительностью с другой.

Условно-графическое обозначение микросхемы имеет форму прямоугольника, к которому подводят линии выводов. Условно-графическое обозначение микросхемы может содержать три поля: основное и два дополнительных, которые располагают слева и справа от основного (рисунок 8.5). В первой строке основного поля условно-графическое обозначение помещают

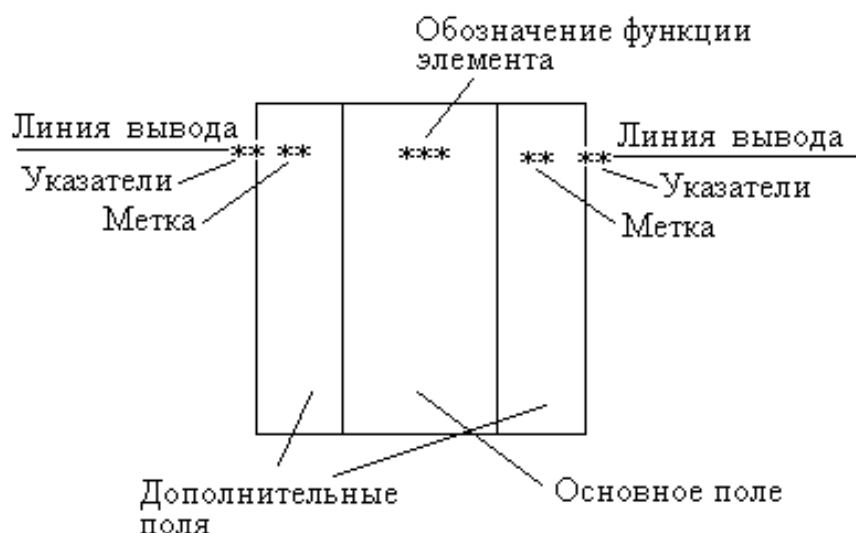


Рисунок 8.5 – Условно-графическое обозначение микросхемы

обозначение функции, выполняемой элементом. В дополнительных полях помещают информацию о назначениях выводов (метки выводов, указатели). Дополнительные поля на условно-графическом изображении цифровых микросхем могут отсутствовать. Входы на условно-графическом изображении цифровых микросхем располагают слева, а выходы - справа. Номера выводов микросхем помещают над линией вывода ближе к изображению микросхемы.

Одним из возможных вариантов применения микросхем является построение цифровых запоминающих устройств. Самое большое распространение запоминающие устройства приобрели в компьютерах (компьютерная память). Кроме того, они применяются в устройствах автоматики и телемеханики, в приборах для проведения экспериментов, в бытовых устройствах (телефонах, фотоаппаратах, холодильниках, стиральных машинах и т. д.), в пластиковых карточках, замках.

Запоминающие устройства делятся по нескольким признакам:

- по устойчивости записи: постоянные (только чтение), записываемые (запись один раз); многократные (чтение-запись); оперативные (ОЗУ, быстрые, но дорогие выполняются на триггерах, медленные, но дешевые – на конденсаторах. Информация исчезает после отключения от источника тока);
- по типу доступа: с последовательным доступом (магнитные ленты), с произвольным доступом (магнитные диски);
- по геометрическому исполнению: дисковые, ленточные, барабанные, карточные, печатные платы;
- по физическому принципу: с магнитной записью, оптические, магнитооптические, конденсаторные ЗУ, использующие эффекты в полупроводниках (флеш-память), использующие сверхпроводимость (криогенные элементы).

8.4 Оптоэлектроника.

Оптоэлектроника – направление электроники, представляющей следующий этап развития радиоэлектроники и вычислительной техники и свя-

занный с преобразованием электромагнитного излучения оптического диапазона в электрический ток и обратно. В связи с этим достоинства оптоэлектроники определяются преимуществами оптической связи по сравнению с электрической.

Существует два пути развития оптоэлектроники: оптический, основу которого составляет когерентный луч лазера (когерентная оптоэлектроника), и электрооптический, основанный на фотоэлектрическом преобразовании оптического сигнала (оптроника).

К основным приборам оптоэлектроники можно отнести:

- используемые для преобразования света в электрический ток: фоторезисторы, фотодиоды, фототранзисторы, приборы с зарядовой связью, фотоэлектронные умножители;
- используемые для преобразования тока в световое излучение: лампы накаливания, электролюминесцентные индикаторы, полупроводниковые светодиоды и лазеры;
- для изоляции электрических цепей (последовательного преобразования «ток-свет-ток») – оптопары, состоящей из излучателя света (светодиода) и фотоприемника (биполярных и полевых транзисторов, фотодиодов и др.), связанных оптическим каналом и объединенных, как правило, в одном корпусе;
- для осуществления оптической связи между отдельными узлами или компонентами с целью изоляции их друг от друга (гальванической развязки)
- оптоэлектронные интегральные микросхемы.

Эти элементы в разных устройствах применяются как в виде различных комбинаций, так и в виде автономных устройств и узлов с самостоятельными частными задачами. Например, оптопары, показанные на рисунке 8.6,а, могут применяться в качестве детектора бумаги в принтере, координатных счетчиках в механической мыши, а лазерный диод (см. рисунок 8.6,б) – в различном измерительном оборудовании. Кроме того, лазерные диоды применяются для

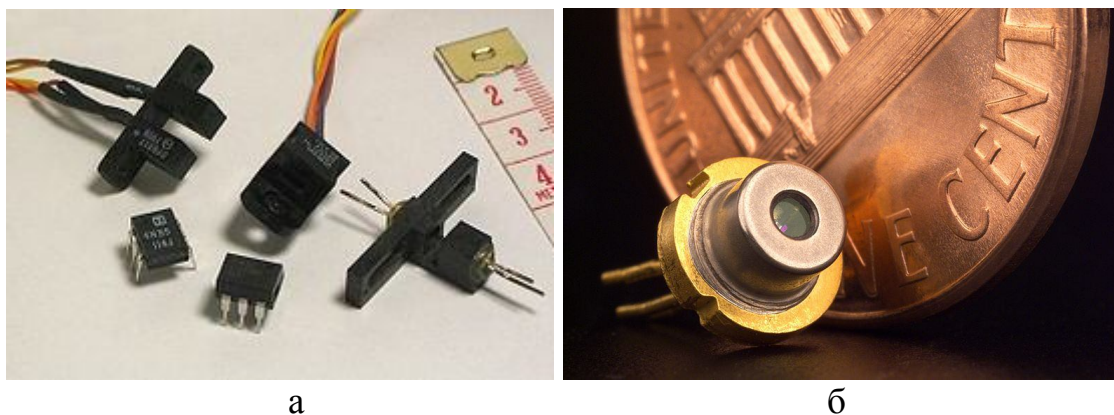


Рисунок 8.6 – Вид оптопар (а) и лазерного диода (б)

считывания штрих-кодов, в лазерных указках. В настоящее время используются в устройствах HD DVD и Blu-Ray.

В качестве линии передачи в оптоэлектронике используются оптоволоконные кабели. Основными достоинствами оптоволокна является практически не ограниченная пропускная способность, индифферентность к электрическим (например, атмосферным) наводкам, и высокая долговечность. Кроме того, оптоволоконные кабели используются в качестве стыкового удлинителя между компьютерами и периферией, а также в качестве контрольного кабеля для использования в силовых цепях.

По своей конструкции *оптическое волокно* - чрезвычайно тонкий стеклянный цилиндр, называемый жилой, покрытый слоем стекла (рисунок 8.7), называемого оболочкой, с иным, чем у жилы, коэффициентом преломления. Каждое стеклянное оптоволокно передает сигналы только в одном направлении, поэтому кабель состоит из двух волокон с отдельными коннекторами. Одно из них служит для передачи, а другое — для приема. Жест-

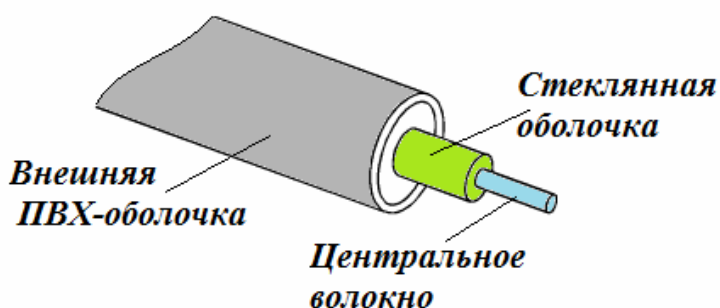


Рисунок 8.7 – Конструкция оптоволоконного кабеля

кость волокон увеличена покрытием из пластика, а прочность — волокнами из кевлара.

Существуют два различных типа оптоволоконного кабеля:

- многомодовый (мультимодовый) кабель, менее качественный, но более дешевый и доступный (основной тип в настоящее время);
- одномодовый кабель, более дорогой, но имеющий лучшие характеристики по сравнению с первым.

Суть различия между этими двумя типами сводится к разным режимам прохождения световых лучей в кабеле.

В одномодовом кабеле практически все лучи проходят один и тот же путь, в результате чего они достигают приемника одновременно. Форма сигнала почти не искажается (рисунок 8.8,а). Дисперсия и потери сигнала незначительны (затухание сигнала составляет около 5 дБ/км и может быть даже снижено до 1 дБ/км), что позволяет передавать сигналы на большее расстояние, чем в случае применения многомодового кабеля. Использование лазерных передатчиков, использующих свет исключительно с требуемой длиной волны, делает данные системы сравнительно дорогими и не долговечными. Однако данные лазеры имеют большее быстродействие, чем обычные светодиоды.

В многомодовом кабеле траектории световых лучей имеют заметный разброс, в результате чего форма сигнала на приемном конце кабеля искажа-

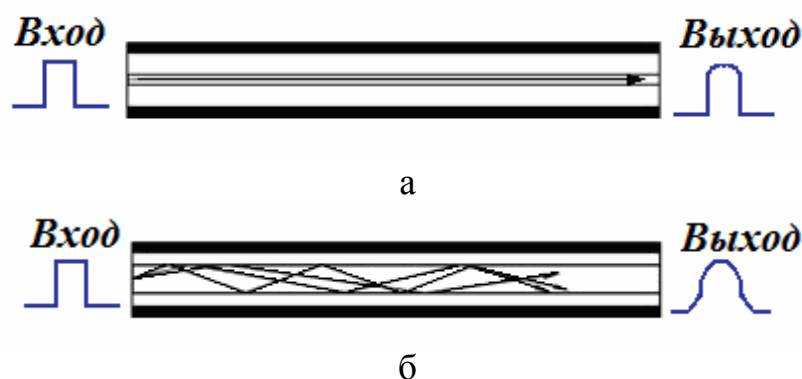


Рисунок 8.8 – Способы распространения световых лучей в кабеле:
а – в одномодовом; б – в многомодовом

ется (рисунок 8.8,б). Для передачи используется обычный светодиод, что снижает стоимость и увеличивает срок службы приемопередатчиков по сравнению с одномодовым кабелем. Затухание в многомодовом кабеле больше, чем в одномодовом и составляет 5..20 дБ/км. Допустимая длина кабеля составляет 2..5 км.

К перспективным направлениям развития оптоэлектроники можно отнести разработку оптических и оптоэлектронных микросхем, источников и приемников излучения на основе квантовых точек и ям в полупроводниковых структурах, волоконно-оптических датчиков и линий связи, голографических устройств, квантовых компьютеров и др.