

Раздел 2 ГЛАВА 7

Общая характеристика электронных устройств и интегральных микросхем (ИМС)

Радиоэлектронная аппаратура (РЭА) построена из отдельных блоков и функциональных узлов, реализованных на основе некоторой элементной базы, то есть *компонентов и элементов*.

Компоненты - это конструктивно законченные самостоятельные изделия. К ним относятся дискретные радиоэлементы и интегральные микросхемы (ИМС).

Элементы могут быть *активными* (диоды, транзисторы биполярные, транзисторы полевые) и *пассивными* (резисторы, конденсаторы и др.). И те, и другие могут быть дискретными (тогда это компоненты) или интегральными. Интегральные элементы являются неотделимыми частями микросхемы и не существуют как отдельные изделия.

Применение электронных устройств для решение все более сложных задач приводит к постоянному усложнению их электрических схем. Анализ развития электронной техники показывает, что примерно в течение 5..7 лет сложность электронных устройств повышается в 10 раз.

Такой рост сложности электронных устройств на дискретных элементах, приводит к ряду проблем:

1. снижение надежности устройства за счет большого числа элементов и электрических соединений между ними,
2. большие габариты и вес,
3. возрастание потребляемой мощности,
4. слабые возможности автоматизации производства РЭА,
5. трудность получения одинаковых параметров электронных приборов.

Стремление избавиться от этих недостатков привело к появлению и развитию микроэлектроники.

Микроэлектроника — это область электроники, которая занимается разработкой и применением интегральных микросхем (ИМС) и аппаратуры на основе ИМС.

ИМС — это микроэлектронное, конструктивно законченное, изделие, выполняющее определенную функцию (усиление, генерацию, логическую операцию и др.) преобразования и обработки сигналов и имеющее высокую плотностью упаковки электрически соединенных элементов и кристаллов в единице объема. При изготовлении ИМС используется групповой метод производства, при котором на одной подложке одновременно изготавливается множество однотипных элементов или целых микросхем, что позволяет получить изделия с одинаковыми параметрами.

Классификация и основные характеристики ИМС

- Показателем сложности ИМС является степень интеграции (плотность упаковки).
Степень интеграции - это число простых элементов и компонентов входящих в состав ИМС. Количественно степень интеграции характеризуется числом $K = \lg N$, где K - это степень интеграции, N - это число простых элементов в ИМС.
По степени интеграции ИМС делятся на интегральные схемы:
1-ой степени: $K=1$ $N \leq 10$ т.е. с числом элементов меньше 10;
2-ой степени: $K=2$ $N \leq 10^2$;
3-ой степени: $K=3$ $N \leq 10^3$ - их называют большие ИС т.е. БИС;
4-ой степени: $K=4$ $N \leq 10^4$ - их называют большие ИС т.е. БИС;
5-ой степени: $K > 5$ $N \leq 10^5$ - их называют сверхбольшие ИС т.е. СБИС.
Сложность ИС характеризуется также *плотностью упаковки*, т.е. числом элементов в единице объема или на единице площади кристалла.
- По функциональному назначению ИМС делятся на аналоговые и цифровые.
Аналоговые ИС (АИС) это микросхемы, которые предназначены для преобразования и обработки сигнала представленных в аналоговом виде. Это сигналы, которые описываются непрерывными функциями времени. В основе аналоговых схем лежит простейший усилительный каскад на основе которого строят другие устройства. В настоящее время под аналоговыми принято называть следующие операции: усиления, сравнения, ограничение, перемножение, частотная фильтрация.
Цифровые ИС (ЦИС) это микросхемы, которые предназначены для преобразования и обработки сигналов, представленных в двоичном или другом цифровом коде. В основе цифровых схем лежит ключ и переключатель тока. Как правило, ИС разрабатываются и выпускаются изготовителями сериями.
- По технологии изготовления: полупроводниковые, гибридные (плёночные), а также совмещённые.
Полупроводниковые ИМС (ПИМС). В них все элементы и межэлементные соединения выполнены в объёме и на поверхности кристалла проводника, т.е. полупроводниковые ИМС представляют собой кристалл полупроводника отдельные области которого выполняют функции транзистора, конденсатора, резистора и диода. Катушки индуктивности и конденсаторы с большой ёмкостью стараются не применять, поскольку они не выполнимы по интегральной технологии.
Как правило, ИС разрабатываются и выпускаются изготовителями сериями.

Транзисторы представляют собой трёхслойную структуру с двумя р-п-переходами обычно применяют n-p-n реже p-n-p транзисторы. Для изоляции транзисторов друг от друга используют два метода: изоляция диэлектриком, и изоляция р-п-переходом.

Диоды в ИМС – это двухслойная структура с одним р-п-переходом, обычно, в качестве диода используют транзистор в диодном включении.

~~Конденсаторы в ИМС – получают на основе р-п-перехода транзистора смещённого в обратном направлении.~~

Максимально допустимая ёмкость конденсатора, применяемая в ИМС не должна превышать 200 пФ.

Резисторы в ИМС – это участки легированного полупроводника с двумя выводами. Сопротивление диффузионных резисторов зависит от удельного сопротивления полупроводника и геометрических размеров и обычно не превышает единиц килоом. В качестве высокоомных резисторов используют входные сопротивления эмиттерных повторителей, сопротивления которых может достигать сотен килоом.

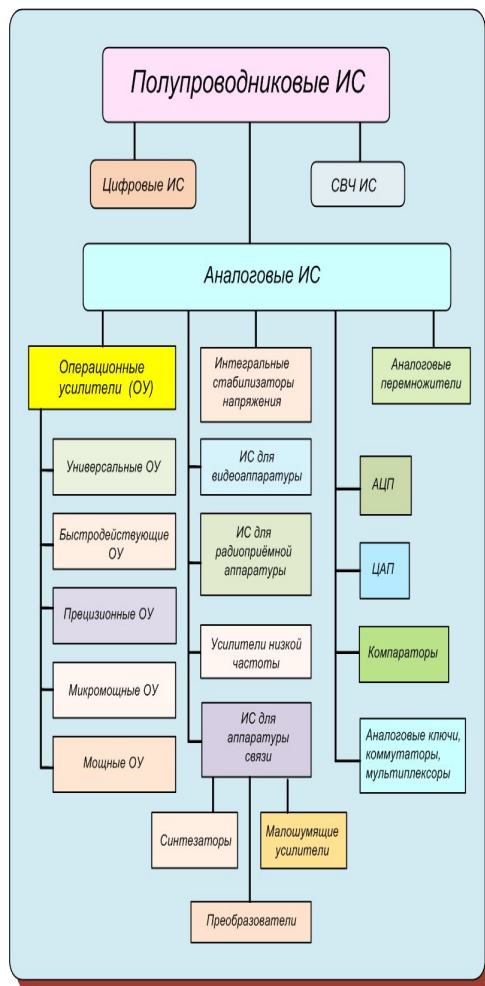
Поскольку все элементы ИС получают в едином технологическом цикле в кристалле полупроводника, то количество операций на их изготовление не намного превышает количество операций по изготовлению отдельного транзистора. Поэтому стоимость ИС не намного превышает стоимость одного транзистора. Это вносит особенности в схемотехнику ИС – в ИС предпочтительно использовать транзисторы одного вида т.к. это упрощает технологию изготовления ИС. В зависимости от транзисторов, которые используются в ИС различают целый ряд технологий изготовления ИС: биполярная n-p-n технология, биполярная p-n-p технология, совместная биполярная технология, и т.д.

Гибридная ИМС (ГИМС). В гибридной ИМС пассивные элементы выполняют по пленочной технологии, т.е. путем нанесения различных пленок на поверхность диэлектрической подложки из стекла или керамики, а активные элементы – это бескорпусные транзисторы. В зависимости от толщины пленок различают тонкопленочные (<1мкм) и толстопленочные (>1мкм) ГИМС. Помимо количественных различий у них существует и различие по технологии нанесения пленок. Тонкопленочные элементы формируют как правило путем термического вакуумного испарения и ионного распыления, а толстопленочные элементы наносят на подложку методом трафаретной печати с последующим вжиганием. Подложка с расположенными на ней элементами, проводниками и контактными площадками называется *платой*. Плату помещают в жесткий металлический или пластмассовый корпус, который предназначен для механической прочности и герметизации. Производство полупроводниковых схем (ПИМС) отличаются большими затратами и сложностью оборудования, и окупается лишь при массовом производстве ИМС. Производство ГИМС отличается малыми затратами на производство и применяется при малосерийном производстве, но плотность упаковки у них значительно ниже.

По виду активных элементов различают ИС:

на биполярных транзисторах;

на полевых МДП-транзисторах (металл диэлектрик проводник); на КМДП-транзисторах (комплиментарных полевых транзисторах со структурой металл-диэлектрик-проводник) – комплиментарные - это транзисторы с одинаковыми параметрами, но имеющие разный тип проводимости канала.



Микроэлектроника – это новое научно-техническое направление твердотельной электроники, на базе которого с помощью сложного комплекса физических, химических, схемотехнических, технологических и других методов и приемов решается проблема создания высоконадежных и экономичных микроминиатюрных электронных схем и устройств (рис.8.1.).

8.2. Основные виды полупроводниковых ИС.

Полупроводниковые ИС – самый массовый вид ИС можно разделить на цифровые, аналоговые и ИС для сверхвысоких частот (СВЧ ИС) (рис.8.2.).

Аналоговые ИС применяются для усиления, преобразования и обработки сигналов, изменяющихся по закону непрерывной функции.

К **линейным ИС (ЛИС)** относится обширный класс аналоговых ИС, работающих в линейном режиме, которые широко применяются в радиоэлектронной аппаратуре. Принято считать термин **аналоговый** как более ёмкий, т.к. часть аналоговых ИС работает как в линейном, так и в нелинейном режимах, а линейные ИС чаще всего используются в линейном режиме и служат для обработки сигналов, занимающих широкий спектр частот и имеющих большой динамический диапазон. Поэтому целесообразно считать определение **аналоговый** и **линейный** равноправными и пользоваться ими, исходя из конкретной функции рассматриваемого устройства обработки сигналов. Развитие технологии позволяет использовать современные ЛИС в диапазоне СВЧ. В части аналоговых ИС полностью или частично используются цифровые методы обработки сигналов. Поэтому деление ИС на аналоговые, цифровые или СВЧ ИС весьма условное и по мере совершенствования схемотехники, технологии и использования различных перспективных полупроводниковых материалов, границы

между этими классами ИС стираются.

Рис.8.2. Разновидности полупроводниковых ИС

Рассмотрим аналоговые ИС. Основные виды аналоговых ИС показаны на рис.8.2. Операционные усилители будут рассмотрены в следующем подразделе.

ИС для видеоаппаратуры, для радиоаппаратуры, для усилителей низкой частоты (УНЧ) и для средств связи занимают большой объём среди всех ЛИС. В каждом радиоприёмнике, телевизоре аудио центре, мобильном телефоне установлены такие ИС. Интегральные УНЧ, как правило, работают в диапазоне частот 20 Гц ... 20кГц при мощности, отдаваемой в нагрузку от 1 Вт до 100 Вт. Мощные УНЧ рассеивают большую мощность, и поэтому изготавливаются в корпусах, которые можно крепить к охлаждающему радиатору.

ИС для средств связи работают в диапазоне от 0.1 МГц до единиц ГГц. ИС синтезаторов содержат как аналоговые узлы (усилители и преобразователи), так и цифровые - (триггера, счётчики и логические элементы).

Широкое распространение получили ИС стабилизаторов напряжения. Такие стабилизаторы могут быть линейными или импульсными и используются практически в каждом приборе питающемся от сети.

ИС аналого-цифровых (АЦП) и цифроаналоговых преобразователей (ЦАП) содержат и аналоговые узлы и цифровые и используются в измерительной аппаратуре. В последнее время широкое распространение получила цифровая обработка сигналов, где аналоговый сигнал с помощью АЦП преобразуется в цифровой, затем с помощью микропроцессора обрабатывается по определённому алгоритму и с помощью ЦАП снова преобразуется в аналоговый сигнал. Таким образом, можно производить фильтрацию сигнала, подавление шума, осуществлять спектральный анализ, меняя только программу работы микропроцессора. Кроме того можно запоминать цифровой код сигнала в запоминающем устройстве и многократно воспроизводить его. В частности, практически в каждом персональном компьютере установлена звуковая карта, работающая совместно с центральным процессором по такому принципу.

Аналоговые компараторы предназначены для сравнения напряжений подаваемых на его входы. При превышении одного напряжения над другим на выходе компаратора появляется перепад напряжения, как правило, согласованный по уровню с уровнем срабатывания цифровой логики. Компараторы используются в схемах преобразования аналоговых сигналов в цифровые, схемах защиты от перенапряжения, в различных генераторах и других схемах автоматики.

Аналоговые ключи, коммутаторы предназначены для включения, выключения или переключения аналоговых сигналов. Мультиплексоры представляют собой ИС, выход которой подключается к определённому входу этой ИС. Выбор подключённого входа производится цифровым кодом, подаваемым на селектор входов. Таким образом, можно, управляя кодом, сигналы от различных источников, поданные на разные входы мультиплексора подключать на выход мультиплексора, т.е. производить аналоговую коммутацию сигналов.

ИС аналоговых перемножителей сигналов производят перемножение значений двух напряжений. Такие ИС используются в модуляторах сигналов (на один вход подаётся несущая, а на другой сигнал модуляции), регуляторах громкости (на один вход подаётся аудио сигнал, а на другой вход подаётся, изменяемое регулятором громкости, постоянное напряжение).

Приведенные здесь разновидности аналоговых ИС, конечно, не полностью отображают весь спектр современных аналоговых ИС.

Совершенствование технологии и схемотехники позволяет разрабатывать всё новые ИС с более совершенными параметрами и расширять

области их применения.

Маркировка ИМС

Промышленность выпускает ИМС сериями. Серия объединяет ряд отдельных схем единых по технологическому признаку, согласованных по напряжению питания, уровням входных и выходных сигналов и конструктивному оформлению. Серии ИМС стремятся разрабатывать так, чтобы из входящих в них схем можно было построить законченное устройство.

Маркировка ИМС по ГОСТ состоит из 4 элементов.

ПРИМЕР: 140 УД 8 А или К 155 ЛА 3

Первый элемент: три или четыре цифры - номер серии. Он характеризует конструктивно-технологическое деление и состоит из двух частей:

первая цифра дает деление по технологии изготовления: 1, 5, 7 – это полупроводниковые ИМС (7 – это бескорпусные ИС); 2, 4, 6, 8 – это ГИМС; 3 – прочие (пленочные) ИМС.

Две или три следующие цифры означают порядковый номер разработки ИМС (от 0 до 999).

Второй элемент: две буквы – это функциональное назначение ИМС. Например, УД – операционный усилитель; ПС – аналоговый перемножитель; ЛА – логический элемент «И-НЕ»; ЛЕ – логический элемент «ИЛИ-НЕ»; ЕН – линейный стабилизатор напряжения; ЕП – Импульсный стабилизатор напряжения.

Третий элемент - две цифры. Это порядковый номер разработки в данной серии.

Четвертый элемент и буква. Она характеризует деление по параметрическим группам.

Иногда перед условным обозначением стоит буква «К», это значит микросхема широкого применения, если буквы нет, то это ИС специального назначения.

Иногда перед условным обозначением стоят две буквы – они указывают тип корпуса.

Например:

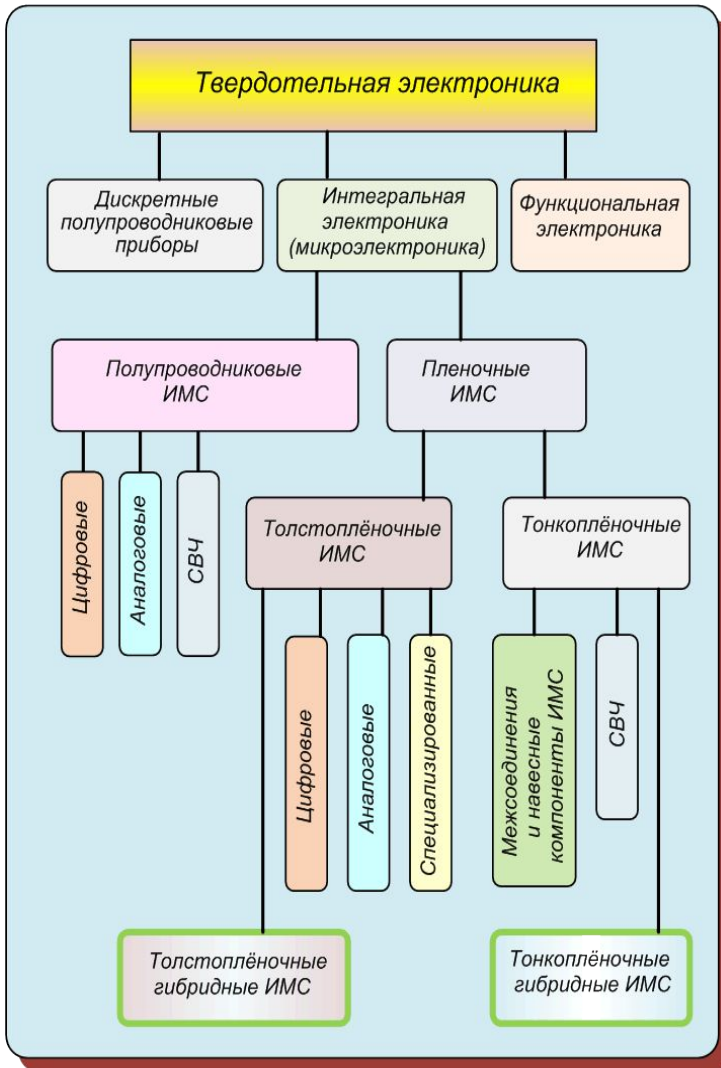
КМ – тип корпуса

КР – пластмассовый корпус

КМ – керамо-металлический

КЕ – металло-полимерный

Рис. 8.1. Основные направления развития твердотельной электроники



- Центральной задачей микроэлектроники является проблема создания максимально надежных элементов, схем и устройств и разработка надежных и дешевых способов их соединения путем использования качественно новых принципов изготовления электронной аппаратуры. К числу этих принципов относится отказ от использования дискретных компонентов и формирование непосредственно в микрообъемах исходных материалов сложных интегральных микросхем. Термин "схема" в приведенном словосочетании приобрел смысл устройства, объекта, а не условного обозначения устройства вместе с условными обозначениями входящих в него элементов, какой придавали ему на более ранних этапах развития электротехники и электроники. Термин "интегральная" отмечает факт объединения – интеграции – группы радиоэлементов в одном неразделимом на составные части изделии.
- Микроэлектроника является новой отраслью электронной техники, и поэтому вопросы терминологии приобретают особое значение. Познакомимся с основными терминами микроэлектроники, принятыми в нашей стране.
- **Микросхема** – микроэлектронное изделие, которое имеет эквивалентную плотность монтажа не менее пяти элементов в 1 см³ объема, занимаемого схемой, и рассматривается как единое конструктивное целое.
- **Интегральная микросхема (ИС)** – микросхема, все или часть элементов которой нераздельно связаны и электрически соединены между собой так, что устройство рассматривается как единое целое.
- *Примечание.* Указанные элементы не имеют внешних выводов, корпуса и не могут рассматриваться как отдельные изделия.
- **Полупроводниковая интегральная микросхема** – интегральная микросхема, элементы которой выполнены в объеме или на поверхности полупроводникового материала.
- **Пленочная интегральная микросхема** – интегральная микросхема, элементы которой выполнены в виде пленок, нанесенных на поверхность диэлектрического материала.
- **Тонкопленочная интегральная микросхема** – пленочная интегральная микросхема с толщиной пленок до 1·10⁻⁶ м.
- **Толстопленочная интегральная микросхема** – пленочная интегральная микросхема с толщиной пленок свыше 1·10⁻⁶ м.
- **Гибридная интегральная микросхема** – интегральная микросхема, часть элементов которой имеет самостоятельное конструктивное оформление.
- **Микросборка** – микросхема, состоящая из различных элементов и (или) интегральных микросхем, которые имеют отдельное конструктивное оформление и могут быть испытаны до сборки и монтажа.
- *Примечание.* Элементы микросборки имеют внешние выводы, могут иметь корпуса – рассматриваться как отдельные изделия.
- **Подложка интегральной микросхемы** – основание, на поверхности или в объеме которого формируются элементы интегральных микросхем.
- **Базовый кристалл** – подложка из полупроводникового материала с определенным набором сформированных в ней и не соединенных между собой элементов, используемая для создания интегральных микросхем путем изготовления избирательных внутрисхемных соединений.
- **Элемент интегральной микросхемы** – часть интегральной микросхемы, выполняющая функции какого-либо радиоэлемента.
- *Примечание.* Под радиоэлементом понимают транзистор, резистор, диод и др.
- **Корпус интегральной микросхемы** – часть интегральной микросхемы, предназначенная для ее защиты от внешних воздействий и для монтажа в аппаратуре с помощью соответствующих выводов.
- В настоящее время наиболее развита полупроводниковая микроэлектроника. Полупроводниковые ИС различают по степени их интеграции, т.е. по числу электрических элементов в одной ИС, прибавляют к аббревиатуре ИС дополнительный цифровой символ:
 - ИС-1 – число элементов до 10;
 - ИС-2 – от 10 до 100;
 - ИС-3 – от 100 до 1000;
 - ИС-4 – от 1000 до 10000 и т.д.
- При этом ИС-1 и ИС-2 называют малыми, ИС-3 – средними, ИС-4 и выше – большими (БИС). На подложке сверхбольшой интегральной схемы (СБИС) размещается
 - приблизительно 10⁶ элементов. На смену СБИС, относящимся к интегральным схемам четвертого поколения, приходит пятое поколение – так называемые УБИС (ультрабольшие интегральные схемы), содержащие на одной подложке до нескольких миллионов активных элементов.
 - В настоящее время ежегодно полупроводниковые ИС выпускаются разными фирмами в количествах исчисляемых миллионами штук.