

Лекция 1. Введение в цифровые интегральные микросхемы

Цель лекции – ознакомить студентов с основами цифровых интегральных микросхем, их историей, ключевыми компонентами и принципами работы.

Введение: основные понятия и определения

Интегральная микросхема – это совокупность электрически связанных компонентов, таких как транзисторы, диоды, резисторы и др., которые изготовлены в едином технологическом цикле на одной полупроводниковой основе. Современная интегральная микросхема представляет собой компактный электронный блок, который в своем корпусе включает транзисторы, диоды, резисторы и прочие активные и пассивные компоненты. В таких микросхемах общее количество элементов может достигать десятков или даже сотен тысяч.

Цифровая интегральная микросхема – это тип интегральной микросхемы, который предназначен для обработки и преобразования сигналов, изменяющихся в дискретном виде.

История и развитие интегральных микросхем

XX век стал свидетелем стремительного развития электронных технологий, которое кардинально изменило наш образ жизни и способы работы. Внедрение новых технологий сделало возможным развитие современных компьютеров, телекоммуникаций и множества других технологий, которые сегодня являются неотъемлемой частью повседневной жизни. Кремниевая эра началась с изобретения транзистора в 1947 году в Bell Laboratories. Джон Бардин, Уильям Шокли и Уолтер Браттейн изобрели первый рабочий биполярный транзистор. Они использовали германиевые кристаллы и успешно продемонстрировали его способность усиливать электрические сигналы, но вскоре стало ясно, что кремний обладает лучшими характеристиками для использования в качестве полупроводника. Транзисторы начали заменять электронные лампы в различных устройствах, но проблемы с соединением большого количества транзисторов и других компонентов оставались актуальными.

В 1956 году американский инженер Роберт Харрис (Robert N. Harris) и его коллеги из компании Fairchild Semiconductor представили один из первых логических цифровых вентилях на основе кремния. Этот вентиль стал важным шагом в развитии цифровых технологий, открыв путь к более сложным цифровым системам.



Рисунок 1.1. Макет первого транзистора

В конце 1958 года и в первой половине 1959 года произошло значимое событие в полупроводниковой промышленности, которое заложило основы для создания интегральных схем. В этот период три ключевых фигуры из разных американских компаний решали три фундаментальные проблемы, которые препятствовали созданию интегральных схем. Эти инновации не только изменили облик электроники, но и положили начало новой эре в вычислительной и электронной технике.

Первым из них был Джек Килби из компании Texas Instruments. В 1958 году Килби запатентовал принцип интеграции полупроводниковых элементов, что стало основополагающим шагом в разработке интегральных схем. Он создал первые несовершенные прототипы интегральных микросхем которые продемонстрировали возможность объединения транзисторов, резисторов и конденсаторов на одном кристалле полупроводника. Эти ранние прототипы стали основой для дальнейших разработок, и Килби сыграл ключевую роль в доведении их до серийного производства. Именно Килби был удостоен в 2000 году Нобелевской премии по физике «за личный вклад в изобретение интегральной схемы».



Рисунок 1.2. Первый прототип интегральных микросхем, представленный Джеком Килби

Следующим важным достижением было изобретение Курта Леговца из компании Sprague Electric Company. Леговец разработал метод электрической изоляции компонентов, сформированных на одном кристалле полупроводника. Этот метод изоляции был критически важен для предотвращения коротких замыканий и кросс-токов между элементами на кристалле, что обеспечивало надёжную работу интегральных схем. Его работа значительно улучшила стабильность и производительность интегральных схем, став стандартом в их производстве.

Не менее значимым вкладом стал метод Роберта Нойса из компании Fairchild Semiconductor. Нойс изобрёл способ электрического соединения компонентов на кристалле с использованием алюминиевой металлизации и предложил усовершенствованный вариант изоляции. Алюминиевое соединение позволило эффективно связать компоненты на кристалле, что улучшило их функциональность и надёжность. Эти технологии стали стандартом и позволили создавать более сложные и мощные интегральные схемы.

Кульминацией этих достижений стало создание первой работоспособной полупроводниковой интегральной схемы 27 сентября 1960 года в компании Fairchild Semiconductor. Эта схема была разработана группой под руководством Джея Ласта и основана на идеях Нойса и Эрни.

В 1965 году Гордон Мур, который на тот момент был директором исследований в компании Intel, сформулировал **Закон Мура**. Закон Мура – эмпирическое наблюдение, согласно которому количество транзисторов, размещаемых на кристалле интегральной схемы, удваивается каждые 24 месяца.

С начала 1970-х годов цифровые интегральные микросхемы начали активно развиваться. Появление стандартных логических элементов, таких как логические вентили и триггеры, стало основой для создания более сложных цифровых систем. В 1971 году Intel выпустила первый коммерчески успешный микропроцессор, Intel 4004, который стал

символом начала эры микроэлектроники и положил начало развитию многозадачных и многоканальных микросхем.

1980-е годы ознаменовались дальнейшим развитием технологий, которые позволили уменьшить размер микросхем и увеличить их функциональные возможности. Введение программируемых логических интегральных схем (ПЛИС) и развитие микроконтроллеров обеспечили новые возможности для создания сложных систем на основе интегральных схем.

С начала 1990-х годов и до настоящего времени цифровые интегральные микросхемы продолжали эволюционировать. Развитие многозадачных микросхем, таких как многоядерные процессоры и графические процессоры, а также специализированные ускорители, позволило создавать устройства с огромной вычислительной мощностью. Внедрение нанотехнологий и использование новых материалов, таких как графен, способствовали созданию ещё более мощных и энергоэффективных микросхем.

Современные тенденции в области цифровых интегральных микросхем включают акцент на энергетическую эффективность, развитие новых архитектур и технологий, таких как ARM и RISC-V, а также исследование квантовых вычислений и оптоэлектронных технологий. Эти инновации открывают новые возможности и перспективы для дальнейшего развития электроники и вычислительной техники.

Классификация интегральных микросхем

Интегральные микросхемы можно классифицировать по уровню интеграции, что определяет их сложность и функциональные возможности. Эти уровни интеграции называются малая интегральная схема (МИС), средняя интегральная схема (СИС), большая интегральная схема (БИС), сверхбольшая интегральная схема (СБИС) и ультрабольшая интегральная схема (УБИС). Каждый из них представляет собой ключевой этап в развитии интегральных схем и технологии микроэлектроники.

- **МИС** – это начальный уровень интеграции, на котором на одном чипе размещается небольшое количество логических элементов, таких как транзисторы, резисторы и конденсаторы. МИС обычно включает от 1 до 10 транзисторов на чипе. МИС микросхемы начали массово применяться в 1960-е годы и послужили основой для более сложных технологий интеграции.

- **СИС** – это следующий уровень, при котором на одном чипе размещается до 100 логических элементов. СИС микросхемы позволяют интегрировать более сложные функции, такие как счетчики, регистры и дешифраторы. Этот уровень интеграции стал популярным в 1970-е годы, когда стали разрабатываться более сложные цифровые схемы. Примером СИС микросхем могут служить различные логические устройства, такие как микросхемы памяти, которые начали использоваться в первых мини-компьютерах и вычислительных системах.

- **БИС** – это уровень, на котором на одном чипе размещается от 100 до 1 000 логических элементов. БИС микросхемы позволили создавать более сложные устройства, такие как микропроцессоры и более сложные схемы памяти. Появление БИС в 1980-е годы позволило значительно повысить производительность и функциональность электронных устройств, сделав возможным создание первых микропроцессоров и более сложных систем на одном чипе.

- **СБИС** – это уровень, при котором на одном чипе размещается от 10 000 до 100 000 логических элементов. СБИС микросхемы стали основой для создания современных процессоров, систем на кристалле и других сложных электронных устройств. С начала 1990-х годов СБИС технологии позволили интегрировать миллионы транзисторов на одном чипе, что привело к созданию многоядерных процессоров, графических процессоров и сложных цифровых систем.

- **УБИС** – это уровень, на котором на одном чипе размещается более 100 000 логических элементов, что позволяет интегрировать миллионы транзисторов на одном кристалле. УБИС технологии используются для создания самых современных микропроцессоров, чипов памяти и других высокопроизводительных устройств.

По технологии изготовления интегральные микросхемы можно классифицировать:

- **Пленочные** – все элементы и межэлементные соединения представляют собой пленки, нанесенные на диэлектрическую подложку.

- **Монолитные** (полупроводниковые интегральные схемы) – все элементы выполнены в тонком приповерхностном слое полированной полупроводниковой пластины (кристалле) и на ее поверхности в результате легирования, травления, оксидирования и др. с использованием метода литографии.

- **Гибридная** – пассивные элементы выполнены по пленочной технологии, а активные компоненты являются навесными. В качестве компонентов используются малогабаритные бескорпусные дискретные элементы или монолитные бескорпусные интегральные схемы, соединенные между собой пассивными элементами на подложке с помощью жестких проводников.

- **Совмещенные** – активные элементы изготовлены по монолитной технологии, а пассивные элементы и межэлементные соединения по пленочной. Основой схем является кристалл, на котором для пленочных структур создается изолирующий аморфный слой SiO_2 (подложка).

Интегральные микросхемы можно классифицировать по функциональному назначению на два основных типа: аналоговые и цифровые. Эти микросхемы выполняют разные задачи и используются в различных областях электроники и вычислительной техники. Рассмотрим подробнее каждый тип.

- **Аналоговые** интегральные микросхемы предназначены для обработки сигналов, которые изменяются по закону непрерывной функции. Они работают с непрерывными сигналами и обеспечивают выполнение функций, связанных с преобразованием и усилением этих сигналов. Примеры аналоговых микросхем: операционные усилители, компараторы, генераторы сигналов, фильтры, аналоговые умножители, преобразователи сигналов, т.д. Применения аналоговых интегральных микросхем: аппаратура звукоусиления и звуковоспроизведения, видеоманитофоны и телевизоры, в устройствах передачи и приема сигналов, измерительные приборы, аналоговые компьютеры, блоки питания, т.д.

- **Цифровые** интегральные микросхемы предназначены для работы с сигналами, изменяющимися по закону дискретной функции. Эти сигналы представлены в виде двоичных кодов (0 и 1) и обрабатываются цифровыми устройствами. Цифровые ИС выполняют различные функции, такие как логические операции, хранение данных и управление процессами. Основные типы цифровых микросхем включают: логические элементы, триггеры, счетчики, регистры, шифраторы, дешифраторы, мультиплексоры, сумматоры, т.д. Применения: компьютеры и вычислительные системы, микроконтроллеры и микропроцессоры, электронные устройства, системы управления.

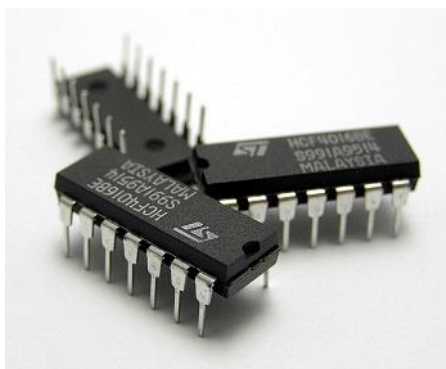


Рисунок 1.3. Пример цифровой интегральной микросхемы

Преимущества цифровых интегральных микросхем

Цифровые интегральные микросхемы обладают рядом значительных преимуществ по сравнению с аналоговыми микросхемами, что делает их предпочтительным выбором для большинства современных электронных устройств и систем.

- **Устойчивость к помехам и шумам.** Цифровые интегральные микросхемы обрабатывают информацию в дискретной форме, используя бинарные уровни (0 и 1), что делает их менее чувствительными к помехам и шумам. В аналоговых схемах сигнал может искажаться из-за электрических шумов и вариаций, что приводит к ошибкам в обработке информации. В цифровых системах наличие четко определенных уровней напряжения делает их более устойчивыми к внешним воздействиям и снижает вероятность ошибок.

- **Надежность и точность.** Цифровые схемы обеспечивают высокую надежность и точность работы благодаря своей дискретной природе. Ошибки в цифровых системах чаще всего исправляются с помощью корректирующих алгоритмов и схем, что повышает их общую надежность. В отличие от аналоговых схем, где небольшие изменения в сигнале могут приводить к значительным отклонениям, цифровые схемы обеспечивают стабильные и предсказуемые результаты.

- **Энергоэффективность.** Цифровые схемы часто более энергоэффективны, чем аналоговые. Они потребляют меньше энергии при выполнении логических операций, особенно когда используются современные технологии низкого энергопотребления. Энергоэффективность цифровых микросхем особенно важна для портативных и встраиваемых систем, где ограниченные источники питания являются ключевым фактором.

- **Стандартизация и совместимость.** Цифровые схемы часто проектируются с использованием стандартных интерфейсов и протоколов, что упрощает их интеграцию в различные системы и устройства. Стандартизация компонентов и технологий облегчает совместимость и взаимодействие между различными частями электронных систем.

Контрольные вопросы:

1. Что такое интегральная микросхема (ИМ) и как она отличается от цифровой интегральной микросхемы (ЦИМ)?
2. Какое событие считается началом кремниевой эры в электронике?
3. Какие три ключевых изобретения и кто их авторы сделали значительный вклад в развитие интегральных микросхем?
4. Когда была создана первая работоспособная полупроводниковая интегральная схема и кем?

5. Что такое Закон Мура и какое предсказание он сделал в отношении числа транзисторов на чипе?
6. Какие уровни интеграции существуют в классификации интегральных микросхем и чем они отличаются друг от друга?
7. Каковы основные типы интегральных микросхем по технологии изготовления?
8. В чем ключевые отличия между аналоговыми и цифровыми интегральными микросхемами?
9. Какие преимущества имеют цифровые интегральные микросхемы по сравнению с аналоговыми?