**РЕФЕРАТ НА ТЕМУ**

**АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ СБИС НА БАЗОВЫХ МАТРИЧНЫХ КРИСТАЛЛАХ**

Предварительные сведения

В данном реферате рассматриваются технологии, связанные с особенностями проектирования СБИС на базовых матричных кристаллах. Рассказывается о самом понятии базового матричного кристалла. Анализируются основные этапы автоматизированного процесса пректирования

ПОТРЕБНОСТЬ ЭФФЕКТИВНОГО ПРЕКТИРОВАНИЯ СБИС

СТАНДАРТНЫЕ И ПОЛУЗАКАЗНЫЕ ИС

БАЗОВЫЕ КРИСТАЛЛЫ И ТИПОВЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Характерной тенденцией развития элементной базы современной электронно-вычислительной аппаратуры является быстрый рост степени интеграции. В этих условиях актуальной становится проблема ускорения темпов разработки узлов аппаратуры, представляющих собой БИС и СБИС. При решении данной проблемы важно учитывать существование двух различных классов интегральных схем: стандартных (или крупносерийных) и заказных. К первым относятся схемы, объем производства которых достигает миллионов штук в год. Поэтому относительно большие затраты на их проектирование и конструирование оправдываются. Этот класс схем включает микропроцессоры, различного вида полупроводниковые устройства памяти (ПЗУ, ОЗУ и т.д.), серии стандартных микросхем и др. Схемы, принадлежащие ко второму классу, при объеме производства до нескольких десятков тысяч в год, выпускаются для удовлетворения нужд отдельных отраслей промышленности. Значительная часть стоимости таких схем определяется затратами на их проектирование

Основным средством снижения стоимости проектирования и, главное, ускорения темпов разработки новых видов микроэлектронной аппаратуры являются системы автоматизированного проектирования (САПР). В результате совместных действий конструкторов, направленных на уменьшение сроков и снижение стоимости проектирования БИС и СБИС, появились так называемые полузаказные интегральные микросхемы, в которых топология в значительной степени определяется унифицированной конструкцией кристалла. Первые схемы, которые можно отнести к данному классу, появились в 60-х годах. Они изготавливались на унифицированном кристалле с фиксированным расположением функциональных элементов. При этом проектирование заключалось в назначении функциональных элементов схемы на места расположения соответствующих функциональных элементов кристалла и проведении соединений. Такой кристалл получил название базового, поскольку все фотошаблоны (исключая слои коммутации) для его изготовления являются постоянными и не зависят от реализуемой схемы. Эти кристаллы, однако, нашли ограниченное применение из-за неэффективного использования площади кристалла, вызванного фиксированным положением функциональных элементов на кристалле

Для частичной унификации топологии интегральных микросхем (ИС) использовалось также проектирование схем на основе набора типовых ячеек. В данном случае унификация состояла в разработке топологии набора функциональных (типовых ячеек, имеющих стандартизованные параметры (в частности, разные размеры по вертикали). Процесс проектирования при этом заключался в размещении в виде горизонтальных линеек типовых ячеек, соответствующих функциональным элементам схемы, в размещении линеек на кристалле и реализации связей, соединяющих элементы, в промежутках между линейками. Ширина таких промежутков, называемых каналами, определяется в процессе трассировки. Отметим, что хотя в данном случае имеет место унификация топологии, кристалл не является базовым, поскольку вид всех фотошаблонов определяется в ходе проектирования

Современные полузаказные схемы реализуются на базовом матричном кристалле (БМК), содержащем не соединенные между собой простейшие элементы (например, транзисторы), а не функциональные элементы как в рассмотренном выше базовом кристалле. Указанные элементы располагаются на кристалле матричным способом (в узлах прямоугольной решетки). Поэтому такие схемы часто называют матричными БИС. Как и в схемах на типовых ячейках топология набора логических элементов разрабатывается заранее. Однако в данном случае топология логическиго элемента создается на основе регулярно расположенных простейших элементов. Поэтому в ходе проектирования логическимих элемент может быть размещен в любом месте кристалла, а для создания всей схемы требуется изготовить только фотошаблоны слоев коммутации. Основные достоинства БМК, заключающиеся в снижении стоимости и времени проектирования, обусловлены: применением БМК для проектирования и изготовления широкого класса БИС; уменьшением числа детализированных решений в ходе проектирования БИС; упрощением контроля и внесения изменений в топологию; возможностью эффективного использования автоматизированных методов конструирования, которая обусловлена однородной структурой БМК

Наряду с отмеченными достоинствами БИС на БМК не обладают предельными для данного уровня технологии параметрами и, как правило, уступают как заказным, так и стандартным схемам. При этом следует различать технологические параметры интегральных микросхем и функциональных узлов (устройств), реализованных на этих микросхемах. Хотя технологические параметры стандартных микросхем малой и средней степени интеграции наиболее высоки, параметры устройств, реализованных на их основе, оказываются относительно низкими

ОСНОВНЫЕ ТИПЫ БМК Базовый кристалл представляет собой прямоугольную многослойную пластину фиксированных размеров, на которой выделяют периферийную и внутреннюю области (рис. 1). В периферийной области располагаются внешние контактные площадки (ВКП) для осуществления внешнего подсоединения и периферийные ячеики для реализации буферных схем (рис. 2). Каждая внешняя ячейка связана с одной ВКП и включает диодно-транзисторную структуру, позволяющую реализовать различные буферные схемы за счет соответствующего соединения элементов этой структуры. В общем случае в периферийной области могут находиться ячейки различных типов. Причем периферийные ячейки могут располагаться на БМК в различных ориентациях (полученных поворотом на угол, кратный 90', и зеркальным отражением). Под базовой ориентацией ячейки понимают положение ячейки, расположенной на нижней стороне кристалла

+--¬

---------------¬ +¬ ¦

¦ Переферийная ¦ +- ¦

¦ ---------¬ ¦ +--+ ВО

¦ ¦Внутрен.¦ ¦ +¬ ¦

¦ ¦область ¦ ¦ +- ¦

¦ L--------- ¦ +--+-----T-----T-----T---

¦ область ¦ ПО+-¬¦ --¬ ¦ --¬ ¦ --¬ ¦

L--------------- L-++-+-+-+-+-+-+-+-+-+----

ПЯ ВКП

рис. 1 рис 2.

Во внутренней области кристалла матричным способом располагаются макроячейки для реализации элементов проектируемых схем (рис. 3). Промежутки между макроячейками используются для электрических соединений. При матричном расположении макроячеек область для трассировки естественным образом разбивается на горизонтальные и вертикальные каналы. В свою очередь в пределах макроячейки матричным способом располагаются внутренние ячейки для реализации логических элементов. Различные способы расположения внутренних ячеек и макроячейках показаны на рис. 4. Причем наряду с размещением ячеек "встык" применяется размещение с зазорами, в которых могут проводиться трассы электрических соединений

¦ -------- --T-¬ --T-T-T-T-T

¦ L-------- a)+-+-+ c)+-+-+-+-+-+-

¦ ----------¬ ---- L-+-- L-+-+-+-+-+-+

¦ L---------- L--- --T-T-T-T-T --TT-TT-TT-TT-TT

¦ ----------¬ ----- b)L-+-+-+-+-+- d)L-++-++-++-++-

¦ L---------- L----

L------------------- Примеры структур макроячеек.

Структура ВО

Особенностью ячейки является специальное расположение выводов, согласованное со структурой макроячейки. А именно, ячейки размещаются таким образом, чтобы выводы ячеек оказались на периферии макроячейки. Так, в одной из макроячеек выводы каждой ячейки дублируются на верхней и нижней ее сторонах. При этом имеется возможность подключения к любому выводу с двух сторон ячейки, что создает благоприятные условия для трассировки. Последнее особенно важно при проектировании СБИС

В другой макроячейке выводы ячейки располагаются только на одной стороне, т. е. выводы ячеек верхнего ряда находятся на верхней стороне макроячейки, а нижнего - на нижней. Применение таких макроячеек позволяет сократить требуемую площадь кристалла, но приводит к ухудшению условий для трассировки. Поэтому данный тип макроячеек используется лишь при степени интеграции, не превышаюшей 100 200 вентилей на кристалл. Отметим, что в некоторых типах БМК, кроме однотипных макроячеек, во внутренней области могут присутствовать специализированные макроячейки, реализующие типовые функциональные узлы (например, запоминающее устройство)

Помимо ячеек, являющихся заготовками для реализации элементов, на БМК могут присутствовать фиксированные части соединений. К ним относятся шины питания, земли, синхронизации и заготовки для реализации частей сигнальных соединений. Например, для макроячеек (b) шины питания и земли проводятся вдоль верхней и нижней сторон соответственно. Для макроячеек (a,d) шины проводятся вдоль линии, разделяюшей верхний и нижний ряды ячеек, что приводит к уменьшению потерь площади кристалла. Для реализации сигнальных соединений на БМК получили распространение два вида заготовок: фиксированное расположение однонаправленных (горизонтальных или вертикальных) участков трасс в олном слое; фиксированное расположение участков трасс в одном слое и контрактных окон, обеспечиваюших выход фиксированных трасс во второй слой

В первом случае для реализации коммутации проектируемой схемы не требуется разработка фотошаблона фиксированного слоя, т. е. число разрабатываемых фотошаблонов уменьшается на единицу. Во втором случае число разрабатываемых фотошаблонов уменьшается на два (не требуется также фотошаблон контактных окон). Отметим, что в настоящее время получили распространение различные виды формы и расположения фиксированных трасс и контактных окон. Целесообразность использования того или иного вида определяется типом макроячеек, степеныо интеграции кристалла и объемом производства

При реализации соединений на БМК часто возникает необходимость проведения трассы через область, занятую макроячейкой. Такую трассу будем называть транзитной. Для обеспечения такой возможности допускается: проведение соединения через область, занятую ячейкой, проведение через зазоры между ячейками. Первый способ может применяться, если в ячейке не реализуется элемент, или реализация элемента допускает использование фиксированных трасс и неподключенных выводов для проведения транзитной трассы

Таким образом, в настоящее время разработано большое многообразие типов БМК, которые имеют различные пераметры. При проектировании микросхем на БМК необходимо учитывать конструктивно-технологические характеристики кристалла. К ним относятся геометрические параметры кристалла, форма и расположение макроячеек на кристалле и ячеек внутри макроячеек, расположение шин и способ коммутации сигнальных соединений

Итак, следует отметить, что задача определения структуры БМК является достаточно сложной, и в настоящее время она решается конструктором преимущественно с использованием средств автоматизации

РЕАЛИЗАЦИЯ ЛОГИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ НА БМК Выше было показано, что БМК представляет собой заготовку, на которой определенным образом размещены электронные приборы (транзисторы и др.). Следовательно, проектирование микросхемы можно было бы вести и на приборном уровне. Однако этот способ не находит распространения на практике по следующим причинам. Во-первых, возникает задача большой размерности. Во-вторых, учитывая повторяемость структуры частей кристалла и логической схемы, приходится многократно решать однотипные задачи. Поэтому применение БМК предполагает использование библиотеки типовых логических злелентов, которая разрабатывается одновременно с конструкцией БМК. В этом отношении проектирование матричных БИС подобно проектированию печатных плат на базе типовых серий микросхем

Таким образом, при применении БМК проектируемая схема описывается на уровне логических элементов, а каждый элемент содержится в библиотеке. Эта библиотека формируется заранее. Она должна обладать функциональной полнотой для реализации широкого спектра схем. Традиционно подобные библиотеки содержат следующие элементы: И-НЕ, ИЛИ-НЕ, триггер, входные, выходные усилители и др. Для реализации элемента используется одна или несколько ячеек кристалла, т. е. размеры элемента всегда кратны размерам ячейки. Топология элемента разрабатывается на основе конструкции ячейки и представляет собой совокупность трасс, которые совместно с имеющимися на кристалле постоянными частями реализуют требуемую функцию. Именно описание указанных соединений и хранится в библиотеке

В зависимости от того, на каких ячейках реализуются элементы, можно выделить внешние (согласующие усилители, буферные схемы и др.) и внутренние, или просто логические элементы. Если внешние элементы имеют форму прямоугольников независимо от типа кристалла, то для логических элементов сушествует большое разнообразие форм, которое определяется типом макроячеек. Так, для макроячейки,

г========¬ г========¬ г===T====¬ г========¬

¦ ¦ ¦ ¦ ¦---¦ ¦ ¦--------¦

¦----¬ ¦ ¦--------¦ ¦---L----¦ ¦--------¦

¦----¦ ¦ ¦--------¦ ¦--------¦ ¦--------¦

L====¦===- L========- L========- L========-

рис. 5

занной на рис. 4(a), возможные формы элементов приведены на рис. 5. При этом следует иметь в виду, что каждая форма может быть реализована с поворотом относительно центра макроячейки на угол, кратный 90'. Для расширения возможностей наилучшего использования площади кристалла для каждого логического элемента разрабатываются варианты тапологии, позволяющие его реализовать в различных частях макроячейки. Поскольку структура макроячейки обладает симметрией, то эти варианты топологии, как правило, могут быть получены из базового вращением относительно осей симметрии

При проектировании на уровне элементов существенными данными являются форма логического элемента и расположение его выводов (цоколевка)

СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ МАТРИЧНЫХ БИС ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Задача конструирования матричных БИС состоит в переходе от заданной логической схемы к ее физической реализации на основе БМК. При этом исходные данные представляют собой описание логической схемы на уровне библиотечных логических элементов, требования к его функционированию, описание конструкции БМК и библиотечных элементов, а также технологические ограничения. Требуется получить конструкторскую документацию для изготовления работоспособной матричной БИС. Важной характеристикой любой электронной аппаратуры является плотность монтажа. При проектировании матричных БИС плотность монтажа определяется исходными данными. При этом возможна ситуация, когда искомый вариант реализации не существует. Тогда выбирается одна из двух альтернатив: либо матричная БИС проектируется на БМК больших размеров, либо часть схемы переносится на другой кристалл, т. е. уменьшается объем проектируемой схемы

Основным требованием к проекту является 100%-ная реализация соединений схемы, а традиционным критерием, оценивающими проект, суммарная длина соединений. Именно этот показатель связан с такими эксплуатационными параметрами, как надежность, помехоустойчивость, быстродействие. В целом задачи конструирования матричных БИС и печатных плат родственны, что определяется заранее заданной формой элементов и высоким уровнем унификации конструкций. Вместе с тем имеют место следующие отличия: элементы матричных БИС имеют более сложную форму (не прямоугольную); наличие нескольких вариантов реализации одного и того же типа элемента; позиции для размещения элементов группируются в макроячейки; элементы могут содержать проходы для транзитных трасс; равномерное распределение внешних элементов по всей периферии кристалла; ячейка БМК, не занятая элементом, может использоваться для реализации соединений; число элементов матричных БИС значительно превышает значение соответствующего параметра печатных плат

Перечисленные отличия не позволяют непосредственно использовать САПР печатных плат для проектирования матричных БИС. Поэтому в настоящее время используются и разрабатываются новые САПР, предназначенные для проектирования матричных БИС, а также дорабатываются и модернизируются уже действующие САПР печатных плат для решения новых задач. Реализация последнего способа особенно упрощается, когда в системе имеется набор программ для решения задач теории графов, возникающих при конструировании

Поскольку трассировка соединений на БМК ведется с заданным шагом на дискретном рабочем поле (ДРП), то необходимо чтобы выводы элементов попадали в клетки ДРП. Однако внешние выводы макроячеек могут располагаться с шагом, не кратным шагу ДРП. В этом случае используется простой прием введения фиктивных контактных площадок, связанных с внутренними частями ячейки. Если трасса к макроячейке не подходит, то область фиктивной площадки остается свободной

При разработке САПР БИС на БМК необходимо учитывать требования к системам, диктуемые спецификой решаемой задачи. К ним относятся: 1. Реализация сквозного цикла проектирования от схемы до комплектов машинных документов на изготовление, контроль эксплуатацию матричных БИС

2. Наличие архива данных о разработках, хранимого на долговременных машинных носителях информации

3. Широкое применение интерактивных режимов на всех этапах проектирования

4. Обеспечение работы САПР в режиме коллективного пользования. Учитывая большую размерность залачи проектирования, большинство существующих САПР матричных БИС реализовано на высокопроизводительных ЭВМ. Однако в последнее врем все больше зарубежных фирм применяет и мини-ЭВМ

ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ Процесс проектирования матричных БИС традиционно делится на следующие укрупненные этапы: 1. Моделирование функционирования объекта проектирования. 2. Разработка топологии. 3. Контроль результатов проектирования и доработка. 4. Выпуск конструкторской документации

Рассмотрим каждый шаг в отдельности. Поскольку матричная БИС является ненастраиваемым и не ремонтоспособным объектом, то необходимо еще на этапе проектирования обеспечить его правильное функционирование. Достижение этой цели возможно двумя способами: созданием макета матричных БИС на основе дискретных элементов и его испытанием и математическим моделированием. Первый способ связан с большими временными и стоимостными затратами. Поэтому макет используется тогда, когда он специально не разрабатывается, а уже существует (например, при переходе от реализации устройств на печатных платах к матричным БИС). Второй способ требует создания эффективной системы моделирования схем большого размера, так как при моделировании необходимо учитывать схемное окружение матричных БИС, которое по числу элементов во много раз больше самой схемы

Этап разработки топологии связан с решением следующих задач: размещение элементов на БМК, трассировка соединений, корректировка топологии. Иногда в качестве предварительного шага размещения решается специальная задача компоновки (распределения элементов по макроячейкам). В этом случае возможны различные методы решения задачи размещения. Первый метод состоит в том, чтобы после компоновки размещать группы элементов, соответствующих макроячейкам, а затем размещать элементы внутри каждой макроячейки. При этом критерий оптимальности компоновки включает составляющие, определяемые плотностью заполнения макроячеек и связностью элементов макроячейки. Достоинствами этого метода являются сокращение размерности задачи размещения и сведение исходной задачи к традиционным задачам компоновки и размещения. Возможность применения традиционных методов компоновки предопределяется тем, что условие существования реализации группы элементов в макроячейке для получивших распространение БМК легко выражается через суммарную площадь элементов и отношение совместимости пар элементов. Отметим, что так как расположение элементов внутри макроячеек существенно влияет на условия трассировки соединений между макроячейками, рассмотренный метод решения задачи размещения для некоторых типов БМК может давать сравнительно низкие результаты

Другой метод размещения состоит в распределении элементов по макроячейкам с учетом координат макроячеек. В этом случае в ходе компоновки определяются координаты элементов с точностью до размеров макроячеек и появляется возможность учета положения транзитных трасс. Для матричных схем небольшой степени интеграции (до 1000 элементов на кристалле) применяются модификации традиционных алгоритмов размещения и трассировки. Для СБИС на БМК необходима разработка специальных методов

Задача корректировки топологии возникает в связи с тем, что существующие алгоритмы размещения и трассировки могут не найти полную реализацию объекта проектирования на БМК. Возможна ситуация, когда алгоритм не находит размещение всех элементов на кристалле, хотя суммарная площадь элементов меньше площади ячеек на кристалле. Это положение может быть обусловлено как сложностью формы элементов, так и необходимостью выделения ячеек для реализации транзитных трасс. Задача определения минимального числа макроячеек для размещения элементов сложной формы представляет собой известную задачу покрытия

Возможность отсутствия полной трассировки обусловлена эвристическим характером применяемых алгоритмов. Кроме того, в отличие от печатных плат навесные проводники в матричных БИС запрещены. Поэтому САПР матричных БИС обязательно включает средства корректировки топологии. При этом в процессе корректировки выполняются следующие операции: выделение линии соединяемых фрагментов; изменение положения элементов и трасс с контролем вносимых изменений; автоматическая трассировки указанных соединений; контроль соответствия результатов трассировки исходной схеме. Уже сейчас актуальной является задача перепроектирования любого фрагмента топологии. Для матричных БИС таким фрагментом может быть канал для трассировки, или макроячейка, в которой варьируется размещение элементов и др. Решение последней задачи, помимо реализации функций проектирования с заданными граничными условиями (определяемыми окружением фрагмента), требует разработки аппарата формирования подсхемы, соответствующей выделенному фрагменту

На этапе контроля проверяется адекватность полученного проекта исходным данным. С этой целью прежде всего контролируется соответствие топологии исходной принципиальной (логической) схеме. Необходимость данного вида контроля обусловлена корректировкой топологии, выполненной разработчиком, поскольку этог процесс может сопровождаться внесением ошибок. В настоящее время известны два способа решения рассматриваемой задачи. Первый сводится к восстановлению схемы по топологии и дальнейшему сравнению ее с исходной. Эта задача близка к проверке изоморфизма графов. Однако на практике для ее решения может быть получен приемлемый по трудоемкости алгоритм ввиду существования фиксированного соответствия между некоторыми элементами сравниваемых объектов. Дополнительная сложность данной задачи связана с тем, что в процессе проектирования происходит распределение инвариантных объектов (например, логически эквивалентных выводов элементов), поэтому для логически тождественных схем могут не существовать одинаковые описания и, следовательно, требуются специальные модели, отображающие инвариантные элементы. В общем случае универсальные модели для представления инвариантных элементов не известны, что и явилось одной из причин развития второго способа, согласно которому проводится повторное логическое моделирование восстановленной схемы

Функционирование спроектированной схемы мотает отличаться от требуемого не только из-за ошибок, внесенных конструктором, но и в результате образования паразитных элементов. Поэтому для более полной оценки работоспособности матричных БИС при восстановлении схемы по топологии желательно вычислять значения параметров паразитных емкостей и сопротивлений и учитывать их при моделировании на логическом и схемотехническом уровнях

Существуют причины, по которым перечисленные методы контроля не позволяют гарантировать работоспособность матричных БИС. К ним относятся, например, несовершенства моделей и методов моделирования. Поэтому контроль с помощью моделирования дополняется контролем опытного образца. Для этого на этапе лроектирования с помощью специальных программ осуществляется генерация тестов для проверки готовых БИС. Отметим, что при проектировании матричных БИС проведение трудоемкого геометрического контроля не требуется, так как трассировка ведется на ДРП, а топология элементов контролируется при их разработке

Заключительным этапом проектирования матричных БИС является выпуск конструкторской документации, которая содержит информацию (на соответствующих носителях) для управления технологическими станками-автоматами и сопроводительные чертежи и таблицы, состав и содержание которых регламентируются ГОСТами, а оформление требованиями ЕСКД. Для автоматизированного выпуска графической и текстовой документации обычно разрабатывается входной язык, который позволяет: компактно и наглядно описывать отдельные фрагменты документа; размещать отдельные фрагменты на площади документа; извлекать требуемую информацию из архива и включать ее во фрагменты документов; распечатывать требуемый документ.