

БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИЕ СХЕМЫ И НЕКОТОРЫЕ СООБРАЖЕНИЯ ПО ПОВОДУ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

Предисловие

Читатель, если вы ищете информацию о ПЛИС со встроенными гигабитными передатчиками последовательного ввода/вывода, это глава не для вас: вам нужна гл. 21.

Когда мы были молодыми

В недалёком прошлом, где-то в 1990 году, жизнь разработчиков ПЛИС во многих отношениях была намного проще, чем у наших современников. В те безмятежные дни никто и не задумывался о том, до какой степени проектировщики были озадачены разработкой *печатных плат*.

Давайте проследим, как развивались события. В те далёкие времена даже самые мощные ПЛИС содержали всего лишь около 200 выводов, что ничтожно мало по сегодняшним меркам. Если эти выводы располагались в виде *матрицы штырьковых выводов* (или *PGA — Pin Grid Array*)¹⁾, то расстояние между ними составляло примерно 1/10 дюйма (2.5 мм), что по сегодняшним меркам является чудовищно огромным. К тому же, задержка сигналов при прохождении через подобные ПЛИС, была намного больше, чем при прохождении через проводники печатной платы. Все эти факторы способствовали тому, что методы проектирования отличались простотой и наглядностью.

Процесс проектирования устройств начинался с работы системных инженеров, которые вручную, на белой доске или на листе бумаги, создавали приблизительный компоновочный план печатной платы. На самом деле понятие «компоновочный план» — слишком громкое название, так как в действительности он представлял собой эскиз, на котором были изображены основные компоненты и основные соединения между ними (Рис. 15.1).

Взяв за основу этот компоновочный план, системные инженеры долго размахивали руками, делали всяческие умные предположения, и, в конечном итоге, высасывали из пальца некоторые временные ограничения на распространение сигнала от входа до выхода. Вооружившись этими временными ограничениями и спецификациями функций ПЛИС, системщик, а в то время, как правило, одним устройством занимался только один человек, уходил в подполье для осуществления своих махинаций.

Вообще говоря, системные инженеры довольно редко заботились о распределении выводов ПЛИС. Обычно они оставляли это на совести

Примерно с 90-х гг., ПЛИС в корпусах PGA выпускались в основном для военных нужд; для коммерческих приложений использовался плоский квадратный пластиковый корпус PQFR, в котором контакты располагались по периметру устройства.

¹⁾ PGA представляет собой массив выводов, расположенных на нижней поверхности корпуса устройства. Печатная плата под такой корпус изготавливалась с соответствующим набором отверстий. Корпус к плате крепился путём вставки всех выводов в соответствующие отверстия на печатной плате.

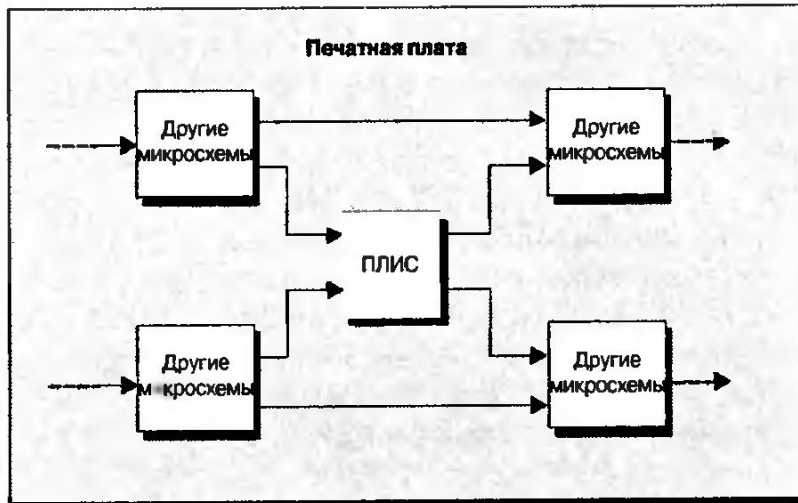


Рис. 15.1. Примерный компоновочный план устройства

программы размещения и разводки, позволяя ей самостоятельно выполнять все операции, и с радостью принимали любое выданное ею решение.

По завершении проектирования устройства на основе ПЛИС, включая процедуру распределения выводов, кому-то из разработчиков поручалось задание по созданию графического обозначения устройства, которое затем использовалось при разработке принципиальной схемы. Кроме того, необходимо было создать шаблон микросхемы для разводки печатной платы. На этих обозначениях указывались наименования всех физических контактов микросхемы и их физическое расположение для процедуры разводки.

Тем временем разработчики печатной платы продолжали свою работу, размещая на плате другие устройства и, насколько это было возможно, производили их разводку. После завершения работ по созданию ПЛИС, в том числе после создания графических обозначений, она интегрировалась на печатную плату и проводилась разводка всей системы. В итоге нелегкая задача по обеспечению функциональности всей конструкции ложилась на плечи разработчика печатной платы.

Теперь о грустном. Обычно после «финализации» микросхемы (ПЛИС) все искренне надеется, что работа над ней уже завершена. В действительности, фактически во всех без исключения случаях, как только разработчик печатной платы заканчивал разводку последнего проводника, разработчики ПЛИС тут же приступали к переделке того, что они уже произвели. Реализация этих переделок очень часто приводила к изменению распределения выводов ПЛИС, что до некоторой степени огорчало разработчиков печатных плат. Нетрудно догадаться, какие слова они при этом употребляли.

Время перемен

Как это не чудовищно, но эта примитивная последовательность проектирования, о которой только что шла речь, просуществовала большую часть 90-х годов. Ее кончина была предreshена размерами и сложностью современных ПЛИС, поскольку старые методы просто перестали справляться с нагрузкой.

В то время, когда я работал над этой книгой, ходили слухи о существовании высокотехнологичной ПЛИС, содержащей 1700 выводов, выполненной в корпусе BGA (Ball Grid Array)¹⁾ с расстоянием между выводами всего лишь 1 мм. Кроме того, современные микро-

1919 г. Разработаны принципы триггерных схем (устройств памяти).

1919 г. Вальтер Шоттки (Walter Schottky)
разработал
тетрод — первую
многосеточную
вакуумную лампу.

схемы, включая ПЛИС, стали настолько быстрыми по сравнению со своими предшественниками, что задержка распространения сигнала в таких микросхемах становится меньше, чем задержка на проводниках печатной платы.

На практике это значит, что системные инженеры больше не могут назначать временные ограничения ПЛИС произвольным образом и переадресовывают эту задачу проектировщикам печатных плат, чтобы в нужный момент всё заработало как надо. Не надо было быть семи пяди во лбу, чтобы понять — этот сценарий также не бог весть что, поскольку не отличался высокой скоростью работы. Теперь процесс разработки необходимо начинать на уровне печатной платы, где ПЛИС будет рассматриваться как «чёрный ящик» (Рис. 15.2).

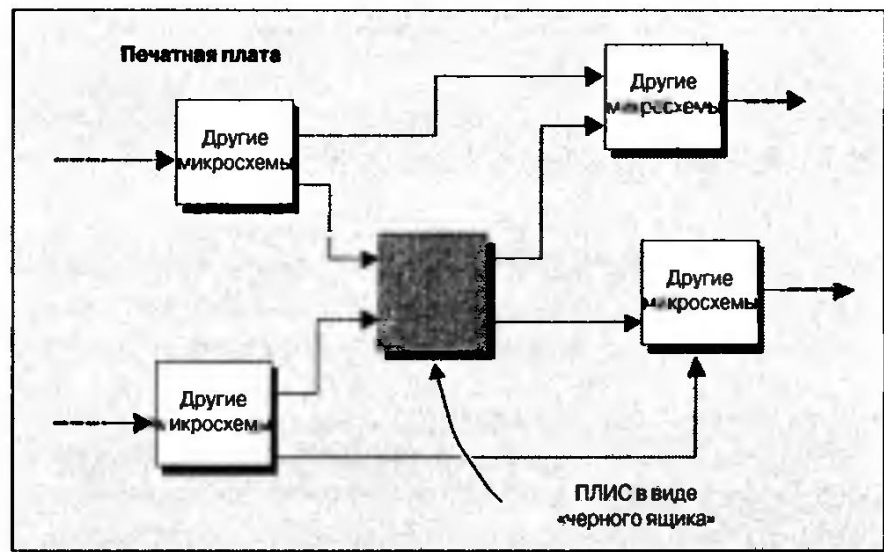


Рис. 15.2. Разработчики печатной платы выполняют предварительное размещение элементов

При этом разработчик печатной платы формирует временные параметры на уровне печатной платы на основе предварительного расположения элементов. Затем эта информация используется для вычисления реальных временных ограничений, которые передаются разработчикам ПЛИС. В современных устройствах насчитываются тысячи таких временных ограничений, и процесс их определения и расстановки по приоритетам был бы просто невозможным без анализа на уровне печатной платы.

Не стоит спешить, это только начало. Для уверенности в том, что разводка микросхемы (ПЛИС) может быть успешно завершена, разработчик платы должен выполнить начальное распределение сигналов по контактам ввода/вывода микросхемы. Для выполнения этих задач для проектировщиков плат стали разрабатывать специальные программы. Эти средства обеспечивают графическое представление физических шаблонов микросхем вместе с интерактивным интерфейсом,

¹⁾ ВГА представляет собой массив токопроводящих площадок, расположенный на нижней поверхности корпуса микросхемы. Под него на поверхности печатной платы изготавливался соответствующий массив токопроводящих площадок. На каждой площадке корпуса специальным образом наращивался шарик припоя. После её правильного расположения над соответствующими площадками на плате микросхема крепилась к плате путём расплавки припоя, при этом также соединялись между собой площадки на плате и на корпусе.

который позволяет пользователю объявлять наименования сигналов и связывать их с определенными контактами устройства¹⁾.

Эти программные продукты также обеспечивают автоматическое создание графических обозначений микросхемы. Если устройство содержит 1000 и более выводов, программа разбивает графическое обозначение устройства на несколько частей. Признаком для разбиения служат банки ввода/вывода ПЛИС или разбиение можно производить вручную на основе группировки отдельных контактов ввода/вывода.

После того как разработчики печатной платы выполнили эту предварительную работу, возникает необходимость в некотором механизме, с помощью которого можно передать сформированное ими распределение выводов микросхемы разработчикам ПЛИС. Это является физическим ограничением для управления процессом размещения и разводки. В реальном мире всё ещё возможны итерации, если разработчикам необходимо выполнить некоторые модификации в первоначальном распределении выводов, но такие приёмы встречаются всё реже в сравнении с ужасами прошлых лет, которые были нами только что рассмотрены.

FPGA Xchange

До недавнего времени передача данных между разработчиками печатных плат и разработчиками ПЛИС обычно включала в себя огромное количество пользовательских данных. Ситуация изменилась с появлением нового ASCII-формата файла под названием FPGA Xchange, который был разработан компанией Mentor совместно с другими компаниями-поставщиками ПЛИС (FPGA), такими как Altera, Xilinx и другие.

Этот формат позволял использовать для двух средств проектирования общие определения различных аспектов устройства, таких как, например, названия сигналов, соответствующих физическим выводам ПЛИС. Это дает возможность разработчикам ПЛИС легко и быстро обмениваться данными.

Например, разработчик печатной платы может создать начальное распределение выводов и, используя FPGA Xchange файл, передать их в качестве ограничений для приложения размещения и разводки ПЛИС. После этого приступает к разводке печатной платы.

Тем временем разработчик ПЛИС может модифицировать расположение некоторых выводов микросхемы. Эти изменения будут включены в первоначальный FPGA Xchange файл, который затем используется средствами разводки печатной платы для удаления проводников, связанных с модифицированными выводами. Затем эти проводники могут быть автоматически или интерактивно переразведены.

Другие элементы проектирования

Быстродействующие схемы

Одно заблуждение относительно термина *быстродействие* объясняется тем, что под ним подразумевают высокую частоту тактовых импульсов. На самом деле, эффект быстродействия связан с крутизной фронтов и спадов импульсов. Другими словами, этот процесс опреде-

¹⁾ Во время написания этой книги хорошим примером такого современного средства был программный продукт BoardLink от компании Mentor (www.mentor.com).

1921 г. Альберт Халл (Albert Hull) изобрёл магнетрон (микроволновый генератор).

ляется скоростью перехода импульсов с 0 в 1 и наоборот. При увеличении крутизны импульсов в большей степени начинают проявлять себя различные паразитные явления, например, увеличивается уровень шумов, появляются перекрёстные помехи и т. д. Увеличение тактовой частоты системы также всегда сопровождается увеличением крутизны фронтов и спадов импульсов. Но многих проблем можно избежать, если при тактовой частоте даже в один мегагерц устройство будет характеризоваться высокой скоростью перехода из одного состояния в другое. В наши дни подавляющее большинство сигналов отличается высокой крутизной фронтов и спадов.

Анализ искажений сигналов

Большинство поставщиков ПЛИС уже оснащают свои устройства некоторыми средствами для работы с основными видами искажения сигналов. Однако в наши дни также возникает необходимость анализа искажений сигналов на уровне печатной платы. Стоимость лучших средств такой проверки весьма высока, но они позволяют создавать работоспособные платы. Поэтому у пользователя есть выбор — или выполнить анализ искажений сигналов, или просто понадеяться на удачу.

SPICE и IBIS

Для анализа искажений сигнала на уровне печатной платы можно использовать так называемые модели SPICE¹⁾, но этот процесс может занять очень много времени. В начале 90-х годов компания Intel разработала и стала продвигать на рынок пакет IBIS (*Input/output buffer information specification* — Спецификация информации о буферах ввода/вывода), который представлял собой формат моделирования, описывающий аналоговые характеристики передающих и приемных узлов.

Причина такой щедрости компании Intel заключалась в нежелании предоставлять своим покупателям детальные SPICE-модели, так как они реализовывались на транзисторно-резисторно-конденсаторном уровне и могли содержать большой объем информации, которую поставщик компонентов не желал делать достоянием своих конкурентов.

Модели IBIS по своей природе являются поведенческими и скрывают от пользователя всю низкоуровневую информацию. Однако они довольно точны до некоторой максимальной частоты, значение которой находится в диапазоне от 500 мегагерц до 1 гигагерца. При работе на более высоких частотах приходится использовать более точные модели, такие как SPICE.

Еще одна проблема кроется в том, что применяемый язык описания аппаратных средств должен включать дополнительные расширения для поддержки новой технологии. Например, IBIS не поддерживает механизм моделирования коррекции предискажений (см. гл. 21). К тому же, синтаксис IBIS по своей природе не позволяет дополнять его новыми возможностями, а расширение этого языка с помощью различных открытых форумов может оказаться длительным и скучным

¹⁾ SPICE (simulation program with integrated circuit emphasis) представляет собой набор программ моделирования для интегральных микросхем. Эти программы аналогового моделирования развивались в Университете в Беркли, в Калифорнии, и стали доступны для широкого использования в начале 70-х.

процессом. Пока будет найдено решение одной проблемы, новые технологии породят несколько новых.

В конце 2002 года для расширения IBIS-стандарта был сформулирован ряд предложений, которые получили название BIRD75 (приставка BIRD — аббревиатура *buffer information resolution document*, что означает *документ о буферной информации*). Эти предложения позволили бы вызывать внешние модели для каждого используемого вывода. В случае принятия этого документа IBIS получит возможность наращивания своих возможностей, так как внешние модели могут быть написаны на языках SPICE, VHDL-AMS, Verilog-A и других.

Стартовая мощность потребления

Некоторые ПЛИС могут предъявлять существенные требования к источнику питания из-за кратковременного высокого тока потребления, возникающего в момент включения устройства. Разработчикам печатной платы необходимо согласовать эти требования с разработчиками ПЛИС, чтобы быть уверенным в способности печатной платы выдержать необходимую мощность. Это позволит избежать некоторых проблем.

Применение внутренней согласованной нагрузки

Почти все современные стандарты высокоскоростных систем ввода/вывода требуют, чтобы дорожки на печатной плате имели строго определённое полное (волновое) сопротивление и предусматривали наличие согласующих резисторов — терминаторов. Правильные значения полного сопротивления проводников устраняют эффекты отражения и «эха», которые приводят к искажению сигналов и уменьшению производительности системы.

Применение согласующих резисторов, которые являются внешними по отношению к ПЛИС, может потребовать дополнительных слоёв на печатной плате, что, в свою очередь, приведёт к удорожанию устройства и увеличению времени её разработки. При использовании ПЛИС с сотнями или тысячами выводов задача размещения такого количества резисторов в непосредственной близости к корпусу становится почти невыполнимой (расстояние большее, чем 1 см от вывода, может стать причиной определённых проблем). Для решения этой задачи поставщики ПЛИС включают в некоторые микросхемы *цифровое управления импедансом* (*DCI — digitally controlled impedance*).

Система управления импедансом устанавливается на входах и выходах микросхемы и может быть сконфигурирована для поддержки параллельной или последовательной схемы согласования. Значения сопротивлений внутрикристалльных резисторов этой системы полностью определяются пользователем, а их цифровая реализация подразумевает, что величина сопротивления не будет зависеть от изменений температуры или нестабильности источника питания.

На практике существует простое правило, которое гласит: для любых сигналов с длительностью фронта или спада менее 500 пикосекунд применение внешних согласующих резисторов вызывает неоднородности в этих сигналах, и в этих случаях для согласования необходимо использовать внутрикристалльные компоненты.

1921 г. Канада-Америка. Джон Ларсон (John Augustus Larson) изобрёл детектор лжи.

Параллельная и последовательная передача данных

В электронных системах принято группы бит, которые называются словами, обрабатывать параллельно, при этом ширина слова зависит от типа системы. Например, при использовании 8-битного микропроцессора или 8-битного микроконтроллера, ширина слова, как это не удивительно, равна 8 битам.

В прошлом, когда производители сражались за каждый дополнительный вывод на корпусе микросхемы, очень часто в их состав включалась функция, называемая *универсальным асинхронным приёмопередатчиком* — УАПП (*universal asynchronous receiver transmitter* — UART). При работе с 8-битными словами, если устройство собиралось передать информацию во внешний мир, УАПП преобразовывал 8-битные данные внутренней шины в последовательность импульсов для передачи. Аналогично, если устройству было необходимо произвести чтение внешней информации, УАПП принимал последовательность импульсов, собирал их в 8-битное слово, и выкладывал на внутреннюю шину. Таким образом, для реализации такого метода в микросхеме требовалось только 2 вывода — для *передачи данных (TXD)* и для *приема данных (RXD)*.

По мере совершенствования технологии изготовления корпусов увеличение количества выводов стало не таким уж трудным делом, и для обмена данными всё чаще стали применять целые слова. Для 8-битной системы в этом случае требовалось восемь проводников на печатной плате и восемь выводов на каждой микросхеме, подключенной к этой шине.

Со временем стали повышаться требования к скорости и объёму передаваемой информации. Вследствие этого стала расти ширина шины: сначала до 16-ти бит, потом до 32-х, потом до 64-х и так далее. В это же время увеличилась скорость передачи данных: сначала были единицы мегагерц, потом десятки, затем сотни и тысячи.

С ростом частоты системной шины становилось всё сложнее производить разводку широких шин на печатной плате с надеждой получить требуемую информацию с нужного места, в нужное время, и без искажений сигналов в виде шумов и перекрёстных помех. Таким образом, в случае проектирования высокоскоростных приложений разработчики вернулись к последовательной передаче данных, реализуемой в виде гигабитных передатчиков, которые более детально будут рассматриваться в гл. 21.