



СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 539.210

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ЗАДАЧ ЭЛЕКТРОННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ МЕЖСХЕМНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПРИ РАЗРАБОТКЕ САПР ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ ЭВМ

М. А. КОЛЕСНИКОВ¹⁾
С. М. ЧУДИНОВ²⁾
А. А. ЧЕРЕПНЕВ³⁾

¹⁾ОАО «Научно-исследовательский институт суперЭВМ», г. Москва

²⁾ОАО «Научно-исследовательский институт вычислительных комплексов им. М.А. Карцева», г. Москва

e-mail:
kolesnikov@super-computer.ru,
chudinov@super-computer.ru,
hradi01@mail.ru

В работе проводится анализ современного состояния и тенденций развития в конструировании межсхемных соединений. Сформулированы основные требования к элементам конструкции и технологии межсхемных соединений, определяющим скоростные свойства проектируемых ЭВМ. Обоснованы основные направления развития методов машинного проектирования печатных и кабельных линий связи.

Ключевые слова: высокопроизводительные ЭВМ, межсхемные соединения, плотность монтажа, сквозное проектирование, электропитание, интерфейс, технология МПП.

Целевое назначение высокопроизводительных ЭВМ определяет, часто, противоречивые особенности конструктивно-технологических решений сквозного проектирования аппаратуры, таких как:

- Максимальное использование скоростных свойств логических элементов;
- Предельная плотность монтажа;
- Значительная удаленность периферийных устройств с большим объемом внешних связей;
- Максимальное энергосбережение;
- Эффективный теплоотвод.

Перечисленные особенности определяют пакет основных задач электронного проектирования ВПМ (рис. 1).

Благодаря успехам полупроводниковой технологии скорость переключения логических элементов достигла субнаносекундного диапазона. Но размеры элементов в планарной технологии подошли к своему пределу – сейчас таковой называют величину 22 нм. В то время как, суммарная производительность вычислителей растет значительно медленнее.

Эта тенденция связана в первую очередь с таким, общепризнанным фактом в том, что задержка распространения сигналов в межсхемных соединениях стала соиз-

меримой или превышает время переключения отдельных вентилях. Т.е. в настоящее время производительность конечного изделия – например, бортового вычислителя определяют именно конструкция и технология межсхемных соединений.



Рис. 1

Сильная зависимость скоростных характеристик ЭВМ от параметров монтажа стимулировала развитие теории линий передачи. Причем, основное внимание уделялось анализу однородных линий передачи, таких как идеальные полосковые линии, плоские кабели и т.д.

Однако, в системах автоматизированного проектирования (САПР) ЭВМ искажения сигналов в длинных линиях, практически, не учитывались. По мнению академика Стемпковского А.Л. [1], в силу своего консерватизма САПР всегда отставали от полупроводниковых технологий в среднем на 5-7 лет.

Анализ имеющихся в литературе данных, а также опыт проектирования ЭВМ показывает, что радикальный способ уменьшения влияния коммутирующих цепей на задержку передачи, состоящий в сокращении длины проводников и минимизации искажений формы логических сигналов, зависит от возможности совместной реализации комплекса противоречивых электронных, конструктивных и технологических требований к элементам монтажа:

- Максимальная плотность печатного монтажа;
- Согласование линий связи;
- Однородность всего тракта передачи;
- Высокая степень экранирования сигнальных линий;
- Эффективность фильтрации цепей электропитания;

Необходимость максимального использования скоростных свойств логических элементов субнаносекундного диапазона вынуждает разработчиков постоянно совершенствовать методы реализации указанных требований. Резервы в этом направлении, заложенные в разработке и постоянной модернизации пакета программ машинного моделирования переходных процессов при прохождении сигналов в межсхемных соединениях с учетом конструктивно-технологических характеристик реальных линий связи на всех конструктивных уровнях проектируемого устройства. В зарубежной терминологии анализ целостности сигналов впервые введен компанией Mentor Graphics [2].



С другой стороны, методы проектирования линий передачи должны быть основаны на достаточно простых конструктивно-технологических приемах для оперативного принятия проектных решений, т.к. сроки разработки аппаратуры, иногда, оказывают решающее влияние на целесообразность ее использования.

На уровне модулей и блоков успешному согласованию электронных и конструктивных требований способствует развитие многослойного печатного монтажа (МПП). Однако, даже с помощью прецизионных, полосковых МПП невозможно обеспечить абсолютное согласование линий связи с нагрузкой из-за наличия в реальных связях нерегулярных неоднородностей типа переходных отверстий, ортогонального сигнального слоя, контактных площадок и др., определяющих конструктивный разброс волнового сопротивления, а также из-за технологического разброса конструктивных параметров печатных линий. Причем, в МПП с максимальной плотностью печатных линий конструктивный разброс волнового сопротивления сигнальных проводников соизмерим с технологическим разбросом, что заставляет учитывать влияние конструктивных неоднородностей при расчете геометрии МПП.

Можно показать, если коэффициент отражения больше относительной помехозащищенности, то дополнительные потери времени на передачу сигналов составят величину двойного пробега сигнала в линии ($2T_{01}$). Для максимального использования скоростных свойств элементной базы такие потери недопустимы т.к. они могут достигать 40 нс и более.

Отсюда следует основное ограничение на разброс волнового сопротивления печатных линий:

$$U_{\text{пом.мах}} / U_{\text{лог}} + K_{\text{отр}} < U_{\text{пу}} / U_{\text{лог}},$$

где: $U_{\text{пом.мах}} / U_{\text{лог}}$ – суммарная помеха монтажа;

$$K_{\text{отр}} = (Z_{02} - Z_{01}) / (Z_{02} + Z_{01}) = \delta Z_0.$$

Помехозащищенность элементной базы составляет (20-25)% от логического перепада, поэтому целесообразно ограничить допустимый разброс волнового сопротивления печатных линий величиной не более 15%.

Введение воспроизводимости волнового сопротивления сигнальных линий связи в заданных пределах при серийном производстве МПП позволяет комплексно контролировать качество технологического процесса производства печатных плат. Как комплексный параметр, связывающий электрические и конструктивные параметры полосковых линий допусковый анализ волнового сопротивления позволяет сформулировать ограничения на точность изготовления геометрии печатных проводников, а следовательно позволяет прогнозировать временные потери передачи сигналов при различной стабильности технологического процесса производства МПП.

Безусловным лидером в области анализа высокоскоростных печатных плат стала компания Mentor Graphics, выпустившая на рынок в 1995 г. первую версию системы HyperLynx, позволяющую решать основные задачи сквозного проектирования ЭВМ, в том числе:

Предварительный анализ целостности сигналов на уровне принципиальной схемы и полный посттрассировочный анализ с учетом параметров, экстрагированных из топологии. Обеспечивает решение большинства проблем, не прибегая к дорогостоящему макетированию и физическому тестированию, существенно сокращая цикл проектирования.

Анализ электромагнитного излучения и наведенного электромагнитного поля трасс проводников на раннем этапе проектирования.

Поддерживает модели типа IBIS и SPICE.

Поддерживает анализ и моделирование дифференциальных пар, включая планирование импеданса и оптимизацию параметров согласующих резисторов.



Модуль оптимизации согласования формирует рекомендации по использованию типа согласования, включая схемы последовательного параллельного согласования, параллельного согласования по переменному току, дифференциального согласования и др.

Анализ перекрестных наводок между корпусами ИС, соединенными мультигигабитными высокоскоростными шинами, используя многобитные тестовые воздействия, анализ шума, метод глазковых диаграмм и масок, и формируя рекомендации по допустимому взаимному расположению компонентов.

Обеспечивает точное моделирование передающих линий с потерями, включая анализ скин-эффекта и потерь в диэлектрике.

Основным недостатком пакета HyperLynx, с нашей точки зрения, является отсутствие количественных критериев сохранения работоспособности проектируемых устройств. Результаты моделирования переходных процессов, полученные с помощью данной программы, носят, скорее, качественный, информационный характер, чем регламентирующий. Например, метод глазковых диаграмм, только информирует, что чем меньше свободное окно, тем больше вероятность сбоя, проектируемого устройства.

Другой класс межсхемных соединений представляют собой шины разводки электропитания интегральных модулей. Проектирование шин электропитания активных компонентов является традиционной задачей конструирования межсхемных соединений электронных устройств, оптимальное решение, которой во многом определяет работоспособность и компактность разрабатываемой аппаратуры.

Актуальность задачи анализа и проектирования системы разводки электропитания определяется повышением концентрации импульсных токов на практически неизменной площади больших интегральных схем (БИС), что приводит к сильной зависимости помехозащищенности и плотности компоновки электронного оборудования от конструкции шин электропитания и фильтрующих компонентов.

Увеличение крутизны фронтов импульсных токов питания в сторону субнаносекундного диапазона вынуждает учитывать при анализе переходных процессов параметры, влиянием, которых можно было пренебречь в устройствах меньшего быстродействия. Такие паразитные параметры, как емкость слоев питания МПП, индуктивность конденсаторов «развязки», последовательное, омическое сопротивление электролитических конденсаторов резко усложняют полную эквивалентную схему разводки электропитания ЭВМ.

При массовом, синфазном переключении логических элементов (ЛЭ) в шинах электропитания возникает импульсное изменение потребляемого тока (скачкообразное изменение нагрузки на источник питания). В свою очередь, импульсный ток формирует на паразитных индуктивностях конструктивных элементов шин выбросы напряжения, которые с некоторым коэффициентом (зависит от типа применяемой логики) передаются на входы активных компонентов и могут вызывать сбои функционирования проектируемых устройств.

Задача разработчика заключается в оптимальном выборе номинала и количества «развязывающих» емкостей, компенсирующих влияние паразитных индуктивностей, с целью сохранения целостности логических сигналов на допустимом уровне.

С ростом быстродействия логических элементов и повышением плотности компоновки эта задача непрерывно усложняется, что обусловлено расширением частотного спектра информационных сигналов (уменьшение фронтов) и растущей концентрацией импульсных токов на единицу площади.

С расширением частотного спектра логических сигналов переходные процессы, возникающие в проводниках, подводящих напряжение от источников питания, начинают охватывать контуры, образованные паразитными индуктивностями таких элементов межсхемных соединений, как выводы «развязывающие» емкостей и согласующих резисторов, а также, контактов питания и «земли» разъемных соединителей.



Повышение суммарного импульсного тока от управляемых синфазно вентилей требует усложнения конструкции шин электропитания (увеличение числа «развязывающих» конденсаторов, сечения проводников и т.д.), что в свою очередь может отрицательно сказаться на общей плотности компоновки проектируемых устройств.

Малый уровень помех без значительных потерь плотности компоновки можно обеспечить за счет выбора оптимальной формы переходного процесса на каждой ступени «развязки» с учетом следующих факторов:

Значение импульсной помехозащищенности элементной базы;

Соотношение длительности переходного процесса и частоты следования тактовых импульсов;

Значение коэффициента передачи помехи по питанию на вход логических элементов;

Реальная форма импульсного воздействия;

Форма и величина помех по питанию зависят не только от электрических параметров контурных линий, но и от факторов имеющих нерегулярный (случайный) характер:

Логическая структура модулей;

Алгоритм обработки информации;

Разброс фронтов элементов и задержек линий связи.

Поэтому при выборе оптимальных конструктивных параметров шин электропитания большое значение приобретают вероятностные методы анализа. Это особенно важно при определении ожидаемого максимального, синфазного импульсного тока модулей.

Таким образом, для оптимального проектирования системы разводки электропитания разработчик должен обладать следующим инструментарием:

Методика разбиения полной эквивалентной схемы системы электропитания на простейшие контура второго порядка;

Математические модели, учитывающие реальную форму импульсного воздействия, для расчета параметров переходного процесса на каждом уровне «развязки»;

Простой математический аппарат для инженерного экспресс – анализа переходных процессов в шинах разводки электропитания и оценке необходимого количества и номинала «развязывающих» конденсаторов;

Механизм передачи помехи по питанию на вход ЛЭ;

Подпрограмма САПР для моделирования переходного процесса на каждом уровне «развязки» системы электропитания, а также для расчета необходимого количества и номинала блокировочных конденсаторов.

Машинное моделирование переходных процессов в цепях питания с учетом реальной формы импульсного воздействия позволяет проектировать систему разводки электропитания сложных, многоуровневых устройств с параметрами близкими к оптимальным.

Не смотря на ежегодную модернизацию пакета HyperLynx, компания Mentor Graphics только анонсировала на 2010 год выпуск подпрограммы средств анализа целостности цепей питания – Power Integrity.

Важное место среди задач электронного проектирования межсхемных соединений занимает проблема выбора интерфейса, приемо-передатчиков и типа кабельных линий между центральным и периферийными устройствами. Максимальная производительность конечного устройства может быть достигнута при максимальном темпе обмена оборудования комплекса.

Известно, что «завал» фронта импульса в длинной линии (кабель, шлейф, плосковая линия) прямо пропорционален квадрату длины и обратно пропорционален квадрату его диаметра [17]. Следовательно, для уменьшения временных потерь при передаче сигналов необходимо стремиться к сокращению длины связей и увеличению диаметра используемых кабелей.

Однако, несмотря на значительное уменьшение габаритов отдельных, специализированных модулей, протяженность связей в некоторых сложных системах, например, в многопроцессорных вычислительных комплексах (МВК), даже возросла.



Кроме того, возросший объем внешних связей создает трудно решаемую проблему подсоединения кабельного жгута (шлейфа) большого диаметра к малогабаритному устройству.

Возникающая в результате значительной протяженности проводников и вынужденного использования микроминиатюрных кабелей дополнительная задержка передачи может оказаться сравнимой с собственной задержкой линии связи.

Противоречивые требования к длинным линиям связи между модулями вынуждают разработчиков особенно тщательно подходить к расчету искажения формы передаваемых импульсных сигналов и выбору типа кабеля наименьших габаритов, гарантирующего достижение заданного темпа передачи информации.

Необходимо выделить основные требования к системе сквозного проектирования межсхемных соединений ВПМ:

Точность прогнозирования возможных искажений логических сигналов в линиях связи на начальных этапах разработки вычислительной техники;

Унификация критериев оптимальности конструктивно-технологических параметров межсхемных соединений. Т.е. единый инструмент проектирования (стандарт предприятия) обеспечивает единый документооборот подразделений проектной организации.

В итоге, задача анализа сохранения целостности логических сигналов при их распространении в межсхемных соединениях распадается на 4, относительно, независимых модуля:

Моделирование процесса помехообразования в цепях электропитания;

Моделирование помех отражения и взаимной связи сигнальных линий печатного монтажа;

Моделирование искажений фронта в длинных линиях с потерями (с учетом скин-эффекта);

Влияние стабильности технологического процесса производства МПП на временные потери передачи логических сигналов.

Все четыре блока имеют непосредственное отношение к задаче оптимального проектирования устройств на основе высокоплотных процессорных модулей. Причем, каждый из модулей должен постоянно пополняться и совершенствоваться т.к. в противном случае библиотеки устаревают, и теряется совместимость с новыми технологиями.

Литература

1. Ф.Л. Стемповский. Развитие отечественных САПР – задача национальной безопасности. – ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ, 2008, №8, с.14-19;
2. И. Кочиков. Система HyperLynx компании Mentor Graphics пропуск в мир высокоскоростных печатных плат. – ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ, 2005, с.62-66.

FORMALIZATION OF TASKS OF ELECTRONIC DESIGNING OF INTERCIRCUIT CONNECTIONS BY DEVELOPMENT САPР OF HIGH-EFFICIENCY COMPUTERS

M. A. KOLESNIKOV¹⁾

S. M. CHUDINOV²⁾

A. A. CHEREPNEV²⁾

¹⁾JSC «NII superIBM»,
Moscow

²⁾JSC «Research Institute
for Computing Systems
of M.A. Karcev», Moscow

e-mail :

kolesnikov@super-computer.ru;

chudinov@super-computer.ru;

hradio1@mail.ru

The summary: in job the analysis of a modern condition and tendencies of development in designing intercircuit connections is spent. The basic requirements to elements of a design and technology of intercircuit connections determining high-speed property of projected COMPUTERS are formulated. The basic directions of development of methods of machine designing of printed and cable communication lines are proved.

Key words: high-efficiency COMPUTERS, intercircuit connections, density of installation, through designing, power supplies, interface, technology MPP.