

Управление параметрами сигналов при проектировании высокоскоростных печатных плат. Часть 1

Инженер-электронщик, имеющий дело с цифровыми и цифро-аналоговыми платами с высокой частотой сигналов, вынужден одновременно решать проблемы по нескольким направлениям: обеспечение контроля целостности сигналов; электромагнитная совместимость; распределение питания в схеме.

Современный дизайн высокоскоростных печатных плат требует совмещения многих данных и эффективного управления ими в процессе разработки, что, в свою очередь, ведет к повышению качества разработки и сокращению времени выполнения проекта (time to market). Как следствие, системы управления данными стали одним из главных инструментов в разработке печатных плат.

Евгений Махлин

design@schematica.ru

Введение

В прошлом задачи управления массивами данных осуществлялись с помощью документов и таблиц в различных форматах (Word, Excel и т. д.), которые сейчас являются «узким местом» для огромного количества данных, необходимых в современном дизайне многослойных печатных плат (МПП).

Всякая современная система проектирования требует четкого взаимодействия между САПР для электронной схемы и САПР для разработки плат. САПР должна позволять разработчику отслеживать ситуацию в режиме реального времени и предоставлять общую картину поведения всех сигналов как в графической, так и в текстовой форме.

Если говорить о разработке современных электронных устройств, то на первый план выходят следующие факторы (рис. 1):

- уменьшение длительности фронта сигнала;
- уменьшение напряжения питания;
- повышение количества контролируемых цепей;
- повышение тока потребления.

Для таких проектов особенно важным становится искусство дизайна печатных плат. Проявляется оно в правильном анализе, обработке и выполнении усло-

вий целостности сигналов в режиме реального времени, особенно когда существует потребность в скорейшем выпуске изделия на рынок. Рассмотрим подробнее, в чем состоит работа инженера-конструктора печатных плат на этапе обеспечения целостности сигналов.

Когда на основании технического задания выработана стратегия выполнения проекта, начинается работа по занесению необходимых параметров в массив данных в САПР. Это могут быть:

- особые свойства, присваиваемые некоторым цепям;
- описание различных шин (buses);
- согласование групп сигналов по длине (Relative Propagation Delay);
- дифференциальные пары и т. д.

Иногда выясняется, что существуют некоторые сигналы, которые необходимо проверить на выполнение определенных ограничений (Control Impedance, x-talk, Match Delay и т. д.). В этом случае после трассировки выполняется симуляция (Post Layout Simulation). Иными словами, создается виртуальная модель уже существующей печатной платы, и на ней проверяется поведение реально проведенных сигналов. По результатам делаются необходимые изменения, и вновь выполняется проверка. Понятно, что это не совсем эффективный процесс.

Чаще встречается картина, когда разработчик заранее знает места, требующие «особого внимания». Эти части проекта размещаются и разводятся в первую очередь, затем проверяют результат, исправляют ошибки и выполняют остальную часть работы.

Идеальным представляется вариант, когда еще до начала работы создается виртуальная модель необходимого интерфейса, а уже на основании проверки работы этой модели осуществляется размещение и разводка важных фрагментов МПП.

Разработка МПП — циклический процесс, включающий в себя несколько стадий:

- расчет SI (Signal Integrity) для необходимых сигналов;

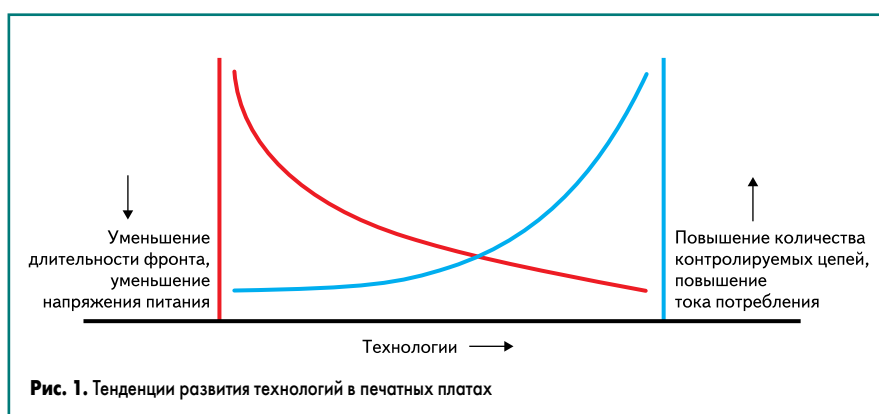


Рис. 1. Тенденции развития технологий в печатных платах

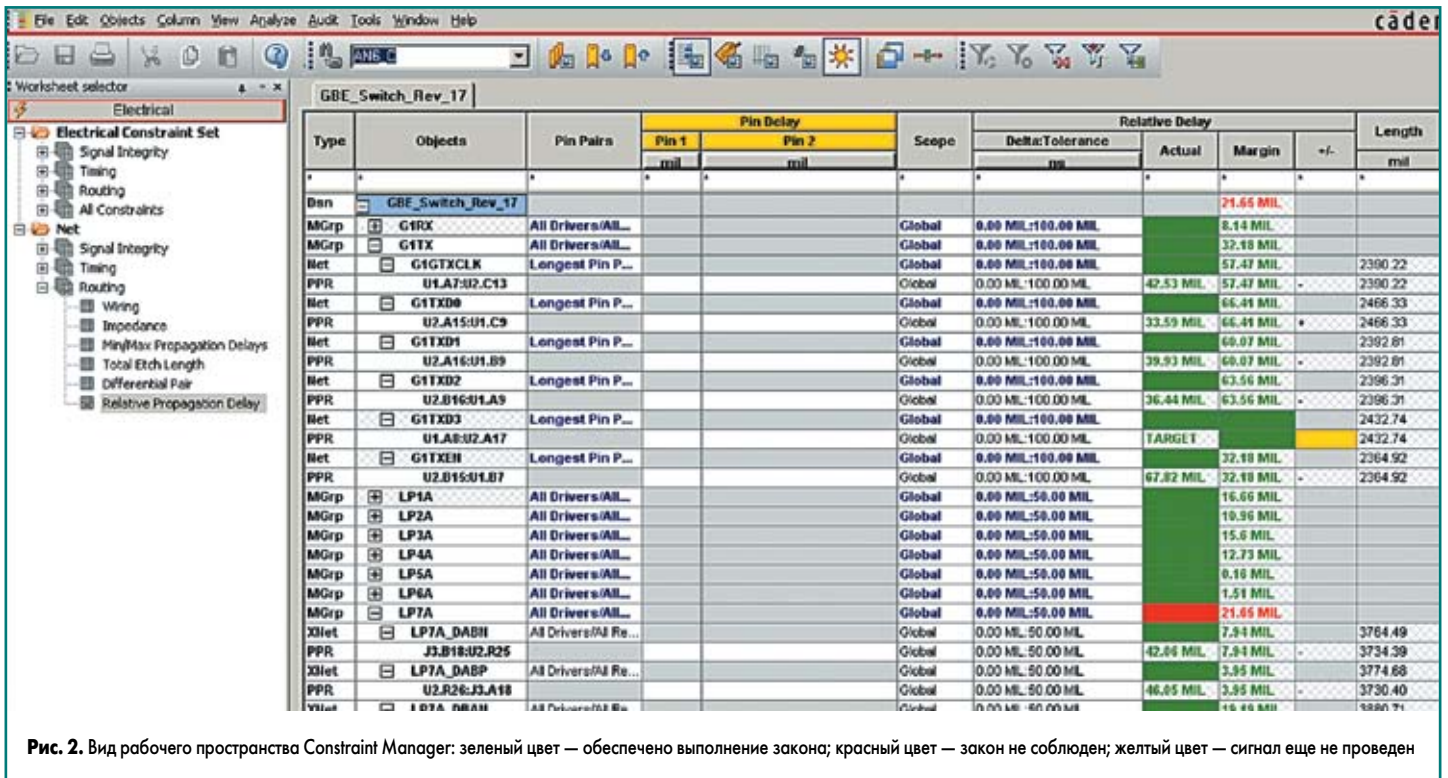


Рис. 2. Вид рабочего пространства Constraint Manager: зеленый цвет — обеспечено выполнение закона; красный цвет — закон не соблюдён; желтый цвет — сигнал еще не проведен

- занесение параметров в базу данных САПР для разработки МПП;
- анализ полученных результатов и выяснение выполнения условий для этих ограничений.

Весь процесс выполняется регрессивным методом, то есть до момента, когда мы получим необходимый результат. Часть данных можно взять из документации на компоненты. В любом случае, они должны быть внесены в редактор МПП на ранней стадии проектирования.

Сегодня специалисты КБ «Схематика», анализируя проекты заказчиков, отмечают тенденцию увеличения количества сигналов в плате, требующих такого подхода. Это совсем непросто, когда до 70% сигналов имеют те или иные ограничения. Решение задачи начинается еще на стадии компиляции списка электрических цепей (Netlist) в САПР электронной схемы. Таким образом можно задать различные группы сигналов как с разбиением по шинам, так и по сходным характеристикам: «дифференциальные пары», «клоки», «управляющие сигналы» и т. д.

Вся работа на стадии предварительной «симуляции» (Pre Layout Simulation) должна дать свод правил, которые затем будут соблюдены в процессе разработки МПП. Одной из ведущих систем, выполняющей эти задачи, является САПР Allegro фирмы Cadence. Это мощный пакет, позволяющий выполнять современный дизайн МПП с использованием передовых методик управления огромным массивом данных. Пакет Allegro получил широкое распространение во всем мире как очень эффективный инструмент для проектирования скоростных МПП.

Встроенное приложение для ввода ограничений и параметров сигналов Constraint Manager (CM) делает процесс управления САПР очень эффективным.

Многokrатное использование групп параметров

Преимущество системы управления данными состоит в том, что Constraint Manager позволяет разработчикам электрической схемы географически находиться удаленно от места разработки топологии МПП. После внесения необходимых параметров в электронный чертеж и последующей компиляции данные вносятся в МПП посредством импорта списка цепей («Нетлиста»), и разработчик МПП видит их в САПР ПП.

Кроме того, инженер, занимающийся анализом или моделированием целостности сигналов, может создать свою оригинальную библиотеку с различными параметрами и при необходимости просто интегрировать ту или иную модель в дизайн, не проводя одних и тех же операций, если МПП является типовой. Например, в различных проектах может повторяться топология шин, положение терминирующих резисторов и т. д.

Иерархия в установке параметров

Один из основных факторов удобства работы в управлении данными — возможность задания ограничений в иерархической форме. В этом случае тот или иной закон задается глобально, на «верхнем уровне», и в дальнейшем применяется к той или иной группе сигналов. Это очень удобно. Например, когда мы имеем дело с огромным количеством групп сигналов, то достаточно внести какое-либо изменение в законе, общем для нескольких групп, и он автоматически установится для всех групп, к которым применен данный закон.

Еще одна важная особенность такого подхода — наглядность процесса управления.

На рис. 2 можно видеть, как конструктор получает общую картину статуса сигналов в МПП, к которым применены те или иные законы. Пользователь видит как цифровые данные, так и цветные. Зеленый цвет свидетельствует о том, что обеспечено выполнение закона для данного объекта; красный сигнализирует о несоблюдении закона; желтый — о том, что сигнал еще не проведен или выключена та или иная проверка.

Преимущество метода еще и в том, что эти данные можно внести в другую МПП или похожую. Кроме того, если выполняется параллельное проектирование (над проектом работают два или более специалиста), у каждого из инженеров автоматически устанавливаются идентичные законы. При необходимости пользователь может получить отчет о сигналах в форме таблиц Excel или в текстовом формате, с указанием названия групп, объектов и их характеристик. Использование данной методики позволяет существенно поднять уровень выполнения проектов, обеспечить надежность выполнения заданных параметров, создать базу данных для последующих проектов и сократить время выполнения всего объема работ.

Как уже было сказано, в САПР Allegro решение этих задач возложено на встроенную программу управления ограничениями Constraint Manager (рис. 3). Это сквозная платформа, способная управлять массивами различного рода ограничений во всех инструментах Cadence, включая проектирование ПЛИС. Constraint Manager позволяет определять, просматривать и проверять ограничения на каждом этапе проектирования. Его можно использовать также при процессе электронной симуляции с использованием программы Cadence SigXplorer, чтобы промоделировать поведение реальной топологии МПП.

Мы рассмотрим лишь основные свойства и действия в Constraint Manager, позволяю-

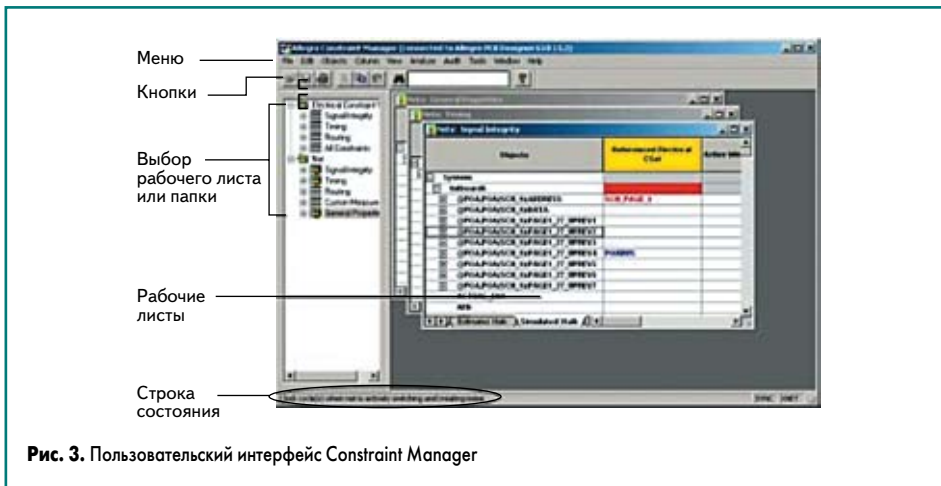


Рис. 3. Пользовательский интерфейс Constraint Manager

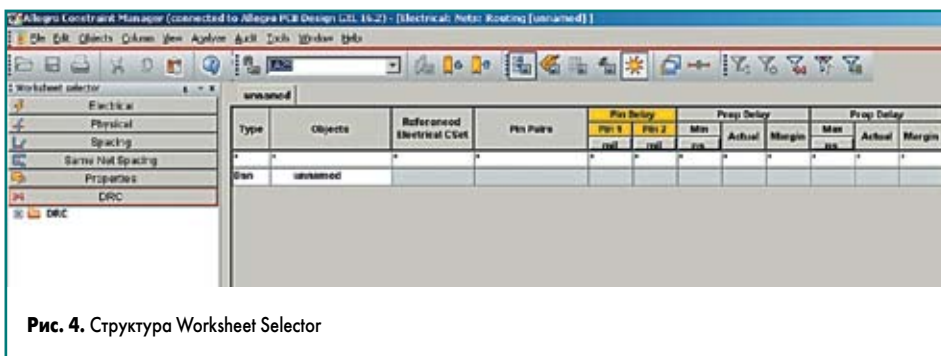


Рис. 4. Структура Worksheet Selector

щие сделать процесс проектирования МПП быстрым и эффективным. Пользовательский интерфейс СМ достаточно прост.

В Constraint Manager конструктор работает с объектами проектирования (символами, выводами и сигналами) и ограничениями над этими объектами. Вы определяете один или более законов и назначаете их на ваш объект проектирования. Вы можете в любой момент изменить закон, назначить другой закон для

данного объекта, поменять закон, действующий на объект, либо изменить правило взаимодействия между ограничениями, наложенными на данный объект. Каждое ограничение может быть применено к любому числу объектов.

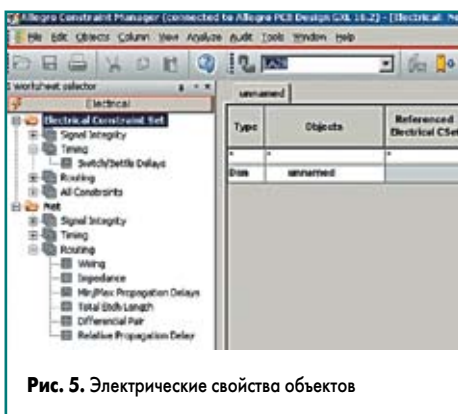


Рис. 5. Электрические свойства объектов

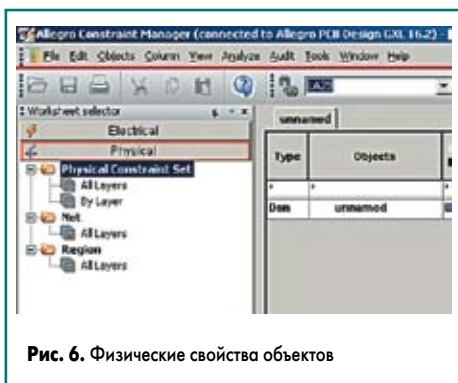


Рис. 6. Физические свойства объектов

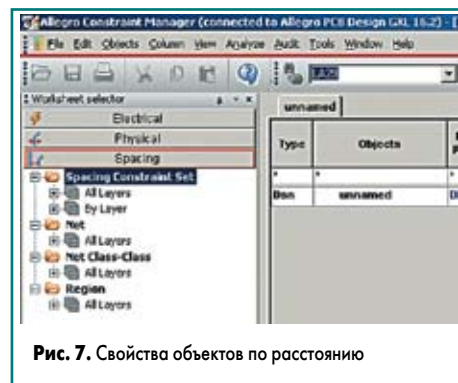


Рис. 7. Свойства объектов по расстоянию

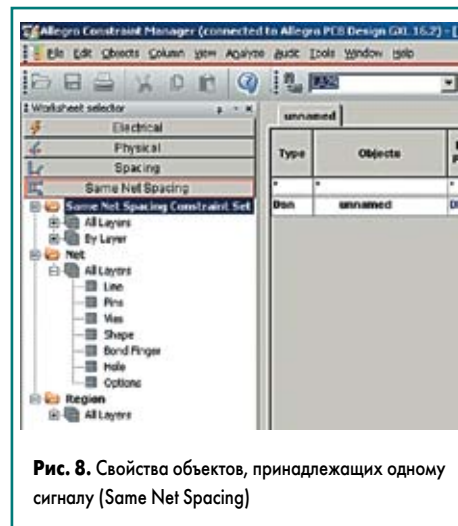


Рис. 8. Свойства объектов, принадлежащих одному сигналу (Same Net Spacing)

The Worksheet Selector — управление выбором рабочего листа

Используя Worksheet Selector, вы обращаетесь к листу, в котором хотите работать. Функция выбора рабочего листа организует законы и свойства по типу объекта. Эти типы представлены на самом верхнем иерархическом уровне в виде папок (рис. 4):

1. **Electrical** — электрических ограничений;
2. **Physical** — физических ограничений;
3. **Spacing** — ограничений по расстоянию между объектами;
4. **Same Net Spacing** — ограничений по расстоянию для объектов, принадлежащих одной цепи;
5. **Properties** — свойств различных объектов (компонентов, сигналов, выводов, переходных отверстий, полигонов и т.д.);
6. **DRC** — ограничений по заданию параметров оповещения об ошибках в течение процесса проектирования МПП.

На рис. 5–10 показаны примеры папок для объектов проектирования.

Находясь в «родительской» папке, из списка Worksheet Selector вы можете организовывать необходимое число папок согласно представленным свойствам для группы выбранных объектов (рис. 11).

Рассматривая в этой статье основы работы с Constraint Manager, мы поговорим о создании таких объектов проектирования, как:

- шины сигналов (Bus);
- дифференциальные пары;
- группы сигналов, объединенных одним законом по расстоянию между объектами (например, зазор или отступ от проводника);

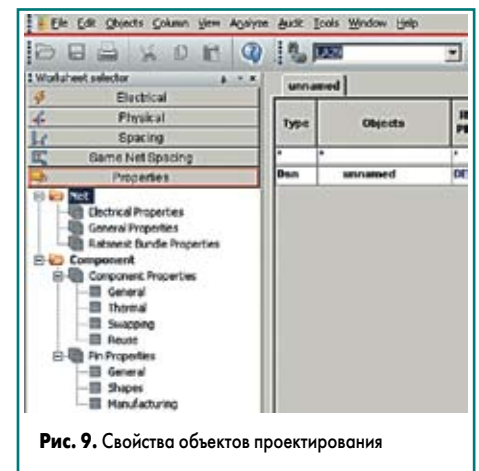


Рис. 9. Свойства объектов проектирования

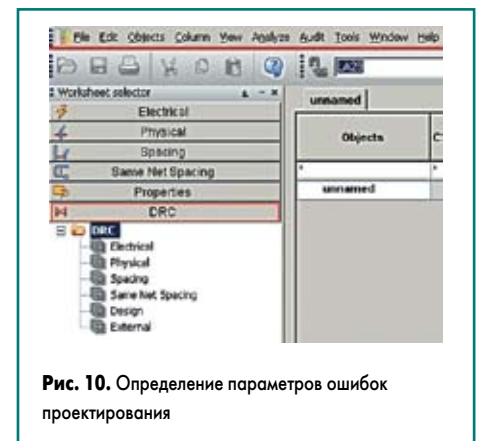


Рис. 10. Определение параметров ошибок проектирования

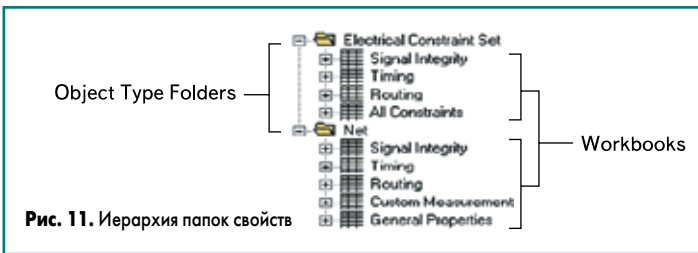


Рис. 11. Иерархия папок свойств

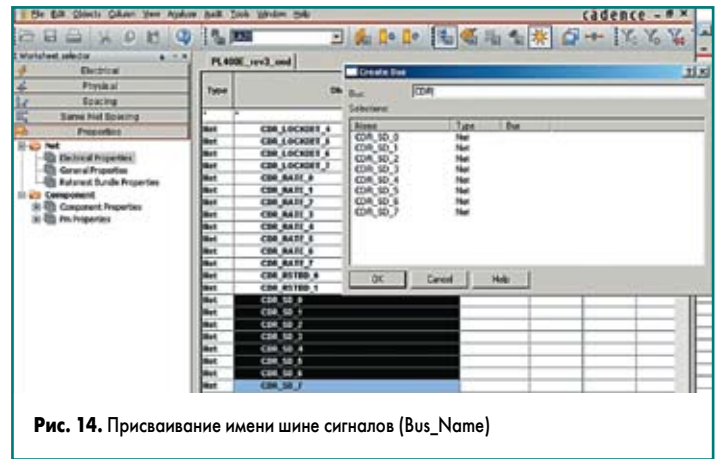


Рис. 14. Присваивание имени шине сигналов (Bus_Name)

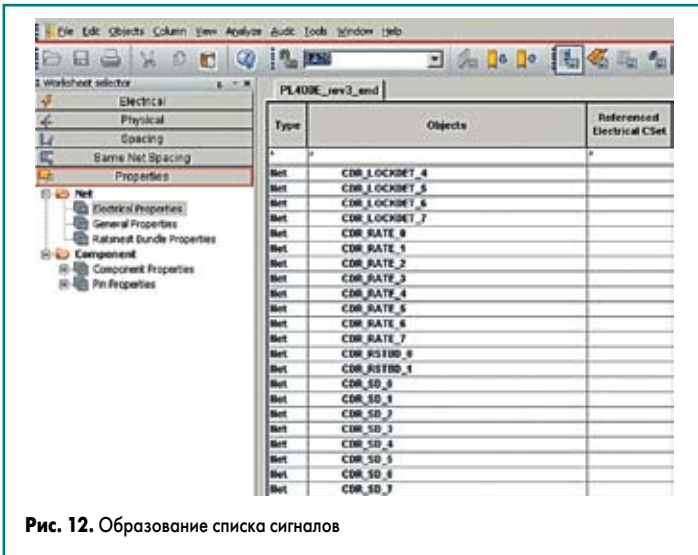


Рис. 12. Образование списка сигналов

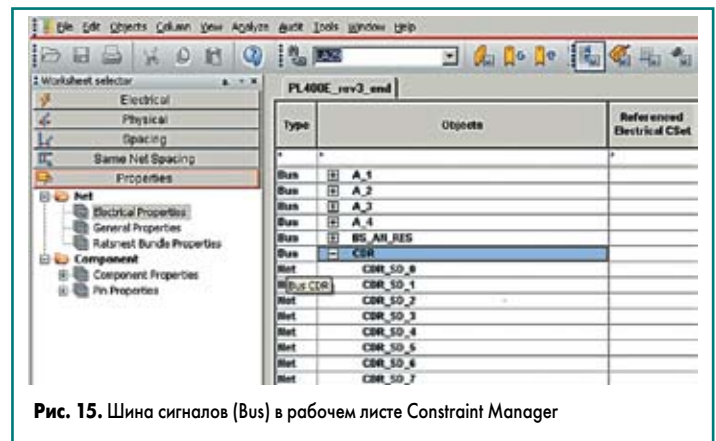


Рис. 15. Шина сигналов (Bus) в рабочем листе Constraint Manager

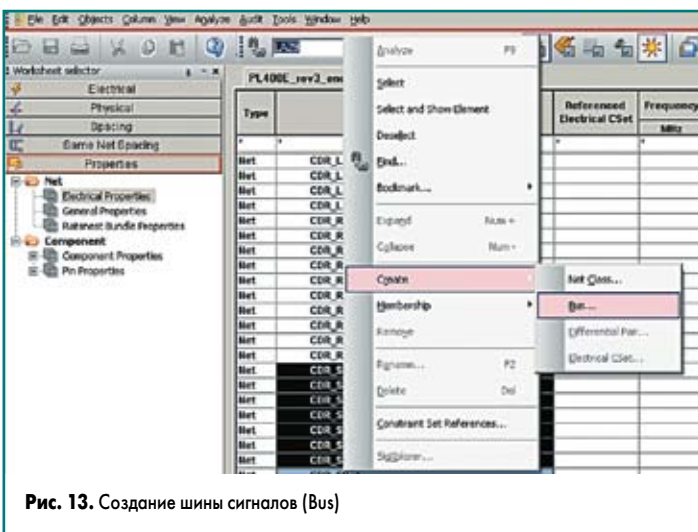


Рис. 13. Создание шины сигналов (Bus)

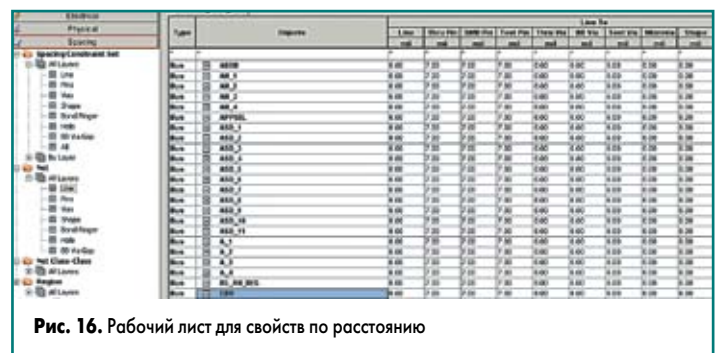


Рис. 16. Рабочий лист для свойств по расстоянию

стоянию «зазор не менее 10 MIL». В Worksheet Selector это папка Spacing. В рабочем листе Spacing (рис. 16) указываются расстояния между всеми объектами проектирования.

В Worksheet Selector можно выбирать объекты, для которых будут определяться расстояния. В данном случае выбран Line, то есть сигнал. Но это может быть и ножка элемента (Pin), и переходное отверстие (Via), и полигон (Shape), и глухие/сквозные переходные отверстия (BB/Via Gap).

- группы сигналов, объединенных одним законом по физическим параметрам (например, ширина проводника);
- группы сигналов, которые надо выравнять по длине (Match Group).

Известно, что шины сигналов можно задавать как в схемном редакторе, так и непосредственно в редакторе плат Allegro путем выбора группы сигналов и придания им свойства Bus_Name.

Таким же образом можно задать эти свойства и в Constraint Manager. Для этого в Worksheet Selector нужно поместить в список объектов полный перечень сигналов (рис. 12). Это можно сделать в любой секции, будь то электрические, физические и другие папки.

Затем нужные сигналы выбираются при помощи клавиш Ctrl или Shift одновременно с нажатием правой кнопки мыши. В появившемся меню нам нужна опция Create -> Bus (рис. 13). Созданной шине сигналов присваивается имя (CDR на рис. 14). В результате мы получили шину сигналов CDR, которую сразу можно увидеть в рабочем списке сигналов как Bus (рис. 15). Подобным образом можно создавать необходимое количество шин, присваивая им электрические, физические ограничения и ограничения по расстоянию.

Пример. Предположим, мы хотим задать в созданной нами шине сигналов CDR (будем называть ее в дальнейшем Bus CDR) свойства по рас-

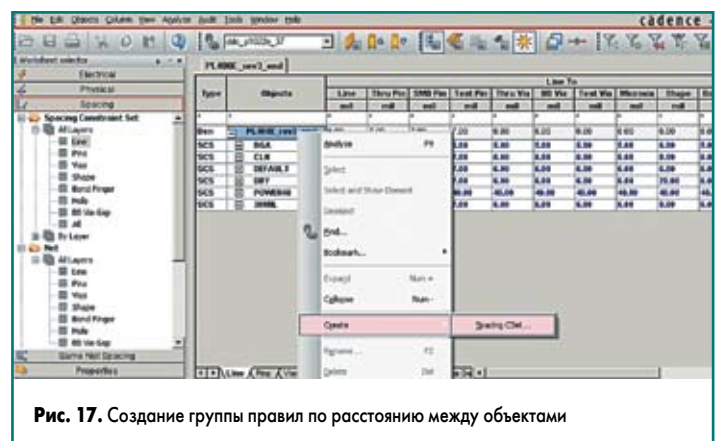


Рис. 17. Создание группы правил по расстоянию между объектами

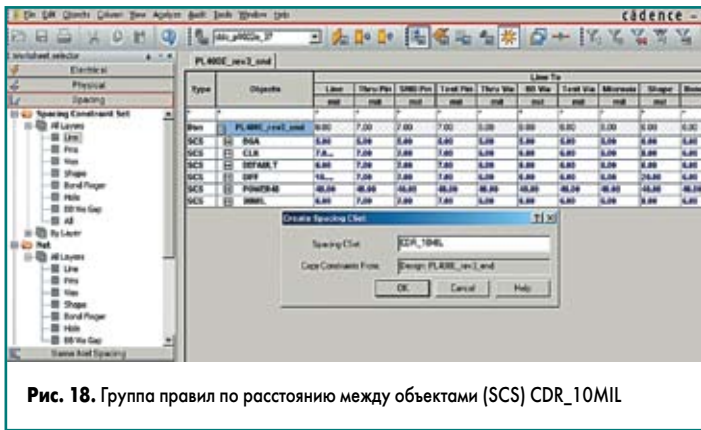


Рис. 18. Группа правил по расстоянию между объектами (SCS) CDR_10MIL

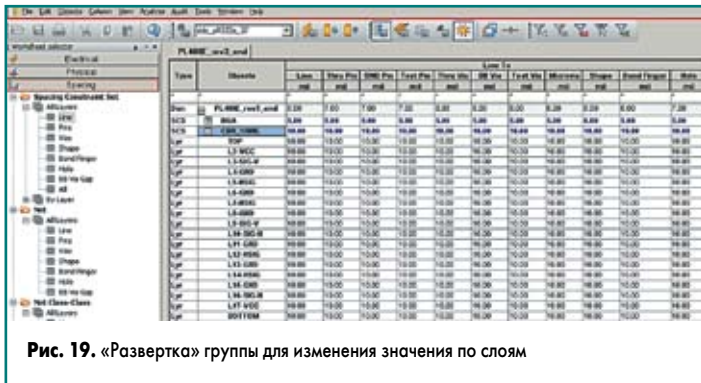


Рис. 19. «Развертка» группы для изменения значения по слоям

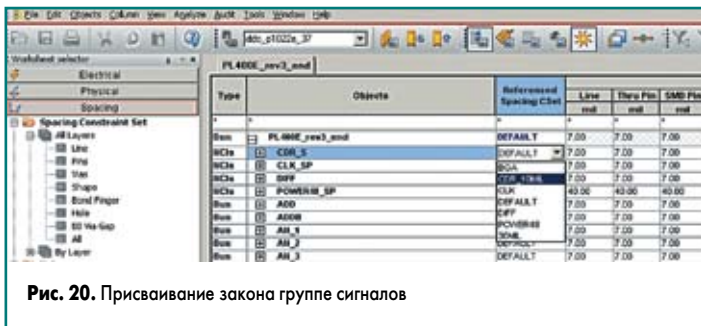


Рис. 20. Присваивание закона группе сигналов

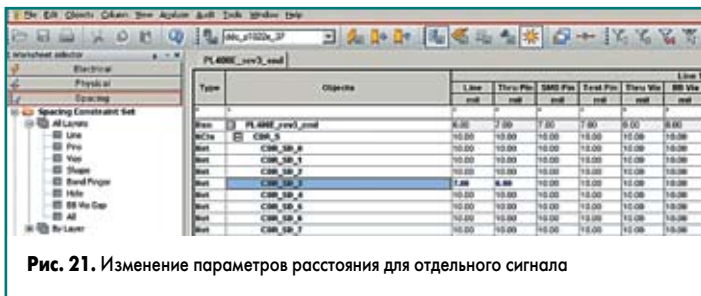


Рис. 21. Изменение параметров расстояния для отдельного сигнала

Затем нужно задать набор правил по расстоянию (*Spacing Constraint Set*) (рис. 17). Для этого в Worksheet Selector выбираем папку *Spacing Constraint Set*, а в рабочем листе устанавливаем курсор на имени нашего проекта, нажимаем правую кнопку мышки и выбираем опцию *Create Spacing CSet*.

Для определенности назовем нашу группу CDR_10MIL (рис. 18). Установив в этой группе расстояние между всеми объектами проектирования 10 MIL. Необходимо заметить, что по умолчанию это значение распространяется на все слои МПП. Если есть необходимость внести по разным слоям другие значения, необходимо раскрыть данную группу, нажав на значок «+» (рис. 19). После этого возвращаемся в рабочий лист ограничения по расстояниям (Spacing) и присваиваем классу CDR_S набор ограничений, который мы только что создали (рис. 20). Преимущество такого метода в том, что, создав всего лишь несколько таких наборов ограничений, мы можем присваивать их огромному количеству групп сигналов в зависимости от технического задания, затратив

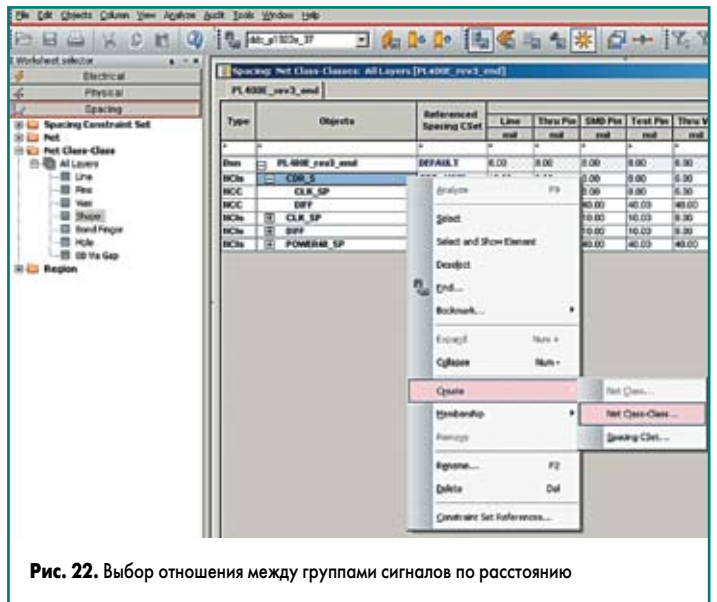


Рис. 22. Выбор отношения между группами сигналов по расстоянию

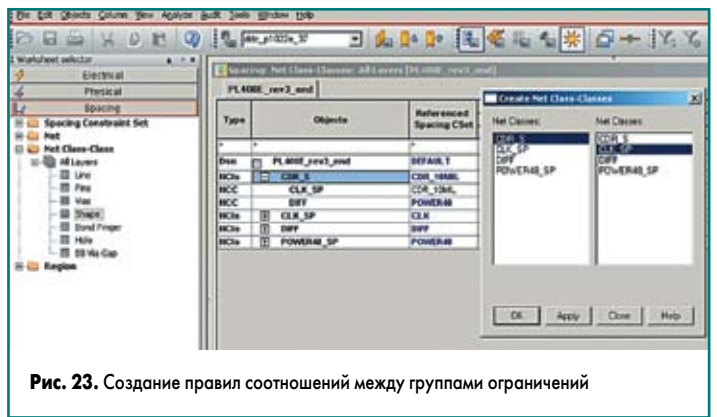


Рис. 23. Создание правил соотношений между группами ограничений

на этот процесс минимальное количество времени. В случае, когда надо внести изменения по расстояниям в те или иные группы сигналов, достаточно внести изменение лишь в закон, и все группы с этим законом моментально получают обновленное значение. При этом сохраняется возможность внести изменения и на уровне отдельного сигнала, что позволяет сохранить весь закон неизменным для остальных групп (рис. 21).

Последнее, что нам остается сделать, — определить, согласно какому закону по расстоянию будет вести себя созданная группа сигналов по отношению к другой группе.

Для этого в диспетчере рабочего листа выбираем папку *Net Class-Class*, находим нужный нам класс, вызываем правой кнопкой мыши меню и в нем выбираем *Create -> Net Class-Class* (рис. 22).

Из таблицы (рис. 23) выбираем, согласно какому закону по расстоянию наша группа CDR_S будет вести себя по отношению к ранее созданным.

В результате мы получим (рис. 24), что группа CDR_S будет взаимодействовать с группой Clock_SP по закону CLK, с группой DIFF — по закону DIFF, а с группой POWER48_SP — по закону POWER48.

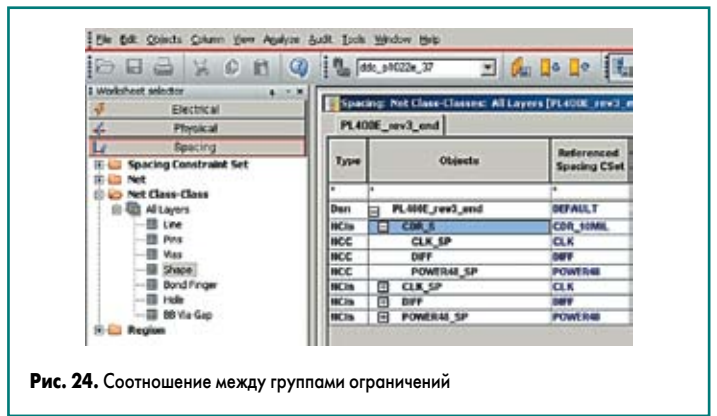


Рис. 24. Соотношение между группами ограничений

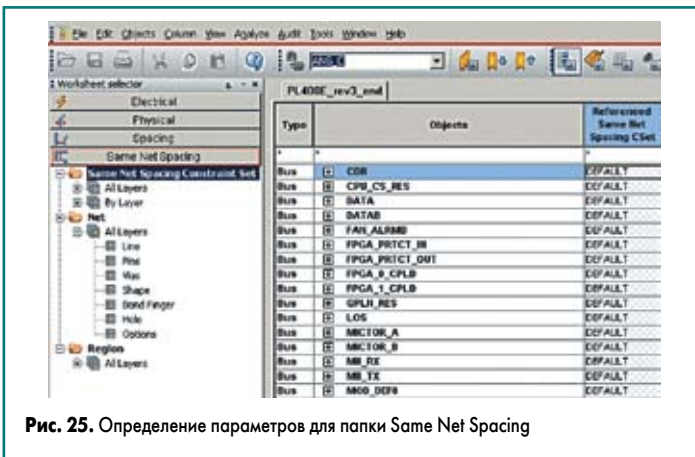


Рис. 25. Определение параметров для папки Same Net Spacing

Еще раз отметим, что эффективность такого способа особенно ярко проявляется во время работы с большим массивом данных, когда конструктор имеет дело со многими тысячами сигналов, которые необходимо разделить на многие группы согласно расстояниям между объектами. Расстояния эти определяются в результате анализа целостности сигналов, либо получены в результате расчетов, либо взяты из стандартов и приложений к тем или иным интерфейсам или компонентам.

Таким же способом определяются параметры для папки **Same Net Spacing Constraint Set**, то есть ограничения внутри одной цепи (рис. 25).

Необходимость определения такого рода законов появляется, когда надо разделить взаимодействие сигнала с другими сигналами и поведение сигнала с объектами, принадлежащими к той же цепи.

Например, пусть у нас имеется сигнал из разряда Clock и для него определено правило по расстоянию до любых объектов не менее $3W$ (где W — ширина сигнала). Очевидно, дабы предотвратить появление ненужного количества ошибок в проекте (DRC), желательно определить другой закон с меньшими расстояниями для объектов, которые относятся к самому сигналу.

Мы познакомились с функциями Constraint Manager — назначением, основными разделами и определением свойств сигналов по расстоянию. В следующий раз разговор пойдет о других свойствах и возможностях этой программы управления ограничениями.