

УДК 621.38.001:681.3.066

ПРОБЛЕМНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ ПОДХОД К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ В САПР

С.К. Кутявина, Е.А. Аришин, И.В. Иванов*

Томский политехнический университет

*ОАО «Сибирьтелеком», г. Томск

E-mail: chiun1@yandex.ru

Предложен новый подход к проектированию электронной аппаратуры, основанный на ранжировании по частотному признаку и последующей оптимизации длины печатных проводников. Приводятся примеры исследовательских работ, выполненных с применением данного подхода.

Одна из тенденций развития электронной техники заключается в расширении областей ее применения, т. е. наблюдается большое разнообразие электронной аппаратуры, проектируемой для различных отраслей науки и техники. Электронная аппаратура усложняется, повышаются требования к ее надежности, с ее помощью решаются все более сложные, интеллектуально насыщенные задачи, повышающие производительность и качество работы пользователей. Другая тенденция – расширение возможностей систем автоматизированного проектирования (САПР) для осуществления сквозного проектирования на более высоком уровне [1].

В связи с этим возникают новые проблемы и в схемотехническом, и в конструкторском проектировании, а также на их стыке.

Среди проблем проектирования необходимо выделить следующие:

- отсутствие систематизированных рекомендаций, учитывающих современные методы проектирования и возникающие проблемы;
- недостаточный учет всех важных для устройства требований и специфических особенностей составляющих его элементов в связи с ограниченными возможностями их обработки в САПР;
- слабая информационная обеспеченность специалистов в вопросах использования автоматических, интерактивных и смешанных режимов при наличии широких, неиспользуемых возможностей САПР;
- сложность формирования стратегий компоновки и трассировки при наличии множества настраиваемых параметров (например, трассировщик SPECSTRA имеет 169 настраиваемых параметров);
- недостаточная формализация правил информационного обмена между схемотехниками и конструкторами, а также другими специалистами;
- сложность решения задач оптимизации проектирования в САПР, т. к. это – многопараметрические, слабоформализуемые задачи лабиринтного типа, требующие высокой квалификации как в предметной области, так и в информационных технологиях;
- повышение требований к топологии печатных проводников в связи со значительным увеличением быстродействия цифровых схем.

Перечисленные проблемы свидетельствуют о том, что для проектирования электронной аппаратуры в современных САПР и на современном уровне требуется новый подход, который даст специалистам необходимую для сокращения сроков проектирования и повышения качества изделий информацию. Как было отмечено в [1], информационные технологии проектирования обладают не только большими возможностями, но и новыми потребностями для оптимального использования этих возможностей.

Потребности информационных технологий заключаются в том, что ограниченные возможности формализации процессов проектирования и учета всех факторов, влияющих на проектные решения, по сравнению с вариабельностью решений, принимаемых человеком, требуют специальной исходной информации. Эта информация должна быть не набором элементарных рекомендаций, а формализованным и систематизированным инструментом, который объединит основные современные требования к аппаратуре, критерии выбора качественных решений и возможности современных САПР в рамках сквозной стратегии проектирования устройства.

Для формализации и систематизации всей информации, необходимой для проектирования, можно применить объектно-ориентированный подход. Все части устройства, будь то печатная плата (ПП) или электронный компонент, являются объектами с определенными параметрами. Набор свойств объектов, необходимых для проектирования, ограничивается типом применяемого компонента, требованиями к устройству, возможностями используемой САПР и т. д. Объединение этих свойств посредством специального метода с требованиями к устройству, критериями выбора технических решений и возможностями САПР даст необходимую информацию для формирования сквозной стратегии проектирования.

К данной информации справедливо применить термин «объектно-ориентированная информация», поскольку она описывает свойства объектов

устройства и их сочетания в необходимом для принятия и реализации проектных решений виде. Однако ввиду устоявшихся понятий о самом сочетании «объектно-ориентированный» предлагается применять другой термин – проблемно-ориентированная информация (ПОИ). Этот термин тоже отражает суть означенной информации, только с точки зрения ее непосредственного назначения.

Определение ПОИ можно озвучить так: это информация, созданная на основе объектно-ориентированного подхода, структура и состав которой определяется решаемой проблемой.

Подход к проектированию, основанный на формировании сквозной стратегии проектирования из проблемно-ориентированной информации, будем называть проблемно-ориентированным подходом.

Основная цель применения этого подхода – максимально возможное, качественное, осознанное использование возможностей САПР, и в первую очередь именно автоматических режимов, которые имеют множество различных настраиваемых параметров. При таком подходе основное внимание разработчиков будет уделяться принятию качественных проектных решений, а не многочисленным однотипным операциям, свойственным работе в интерактивном режиме.

Чтобы реализовать проектирование на таком высоком уровне, сначала необходимо осуществить поиск, систематизацию, структурирование и классификацию такой исходной информации, а также методику ее формирования и применения.

Далее приведены описания и результаты исследовательских работ, посвященных поиску и оптимизации применения проблемно-ориентированных параметров в процессе проектирования. Исследования производились в следующих направлениях: оптимизация конструирования ПП с применением ПОИ, и оптимизация контроля качества ПП посредством моделирования с применением ПОИ.

1. Оптимизация этапов проектирования в среде САПР P-CAD при сохранении и повышении качества трассировки ПП

Цель данных исследований заключалась в следующем:

- поиск и классификация ПОИ;
- определение возможности применения автоматической компоновки и трассировки ПП с применением ПОИ без потери качества передачи сигналов и других характеристик конструкции.

Решение данных задач было продиктовано результатами изучения и анализа проблем проектирования электронной аппаратуры в информационных средах САПР в России.

Результаты анализа показали, что конструирование ПП осуществляется в основном в интерактивном режиме, что подтверждается в [6]. Инженеры, с одной стороны, не доверяют автоматическим

режимам компоновки и трассировки в связи с неопределенностью обеспечения качества передачи сигналов, с другой стороны – не владеют методами решения многопараметрических задач по выбору оптимальных сочетаний параметров для стратегии компоновки и трассировки ПП. Разработчики трассировщика SPECCTRA не дают рекомендаций по выбору параметров стратегии компоновки и трассировки ПП, они предлагают усредненный вариант стратегии, который не учитывает особенностей различных вариантов схем. По этим причинам для решения вышеназванных задач необходимо провести исследование с постановкой большого числа компьютерных экспериментов.

В процессе выполнения работ по поиску проблемно-ориентированной информации была впервые разработана классификация схем по конструкторской, функциональной, и конструкторско-функциональной сложности (рис. 1). Для определения максимальной длины высокочастотных цепей и ее учета при проектировании были применены два проблемно-ориентированных параметра: функциональная сложность (ранжирование цепей в зависимости от частоты переключения сигнала в них), и конструкторско-функциональная сложность (учет максимально допустимой длины проводника для данной частоты). Использование этих критериев подразумевает разделение цепей устройства на низкочастотные и высокочастотные, и применение разных правил проектирования для каждой из этих групп. Такой подход объясняется тем, что в низкочастотных схемах сигналы не теряют четкости, и работа реальной схемы прекрасно согласуется с логической схемой, тогда как в быстродействующих схемах сигналы искажаются почти до неузнаваемости [4].

В работе предлагается методика применению двух вышеназванных параметров ПОИ в процессе конструирования ПП. Методика включает в себя следующие этапы:

I. Ранжирование цепей согласно максимальным частотам переключения сигнала в них и определение максимально допустимой длины.

Согласно сведениям о частотах переключения сигналов в проводниках разработчик разделяет цепи на две группы: высокочастотные (длина должна быть строго ограничена) и низкочастотные. Максимально допустимое значение частоты переключения сигнала в цепи будет определяться по двум группам параметров: максимально возможное значение частоты на выходе источника сигнала $f_{И\max}$ и максимально допустимые значения частоты переключения сигнала на входах приемников $f_{П\max} \cdot f_{П\max}$. Значения $f_{И\max}$ и $f_{П\max} \cdot f_{П\max}$ можно вынуть из паспортов на соответствующие элементы. Данная информация может быть указана как в явном виде (непосредственное значение частоты), так и в виде значений задержек распространения сигнала в элементе, из которых можно вычислить значение частоты.

Максимально допустимая частота переключения сигнала в цепи будет равна минимальному из $f_{И\max}$ и $f_{П\max} \cdot f_{П\max}$. Согласно этому значению частоты производится ранжирование цепей, т. е. разделение цепей на высокочастотные и низкочастотные.

Результаты ранжирования, а также найденные значения максимально допустимой частоты для каждого проводника предлагается занести в таблицу (табл. 1).

Далее необходимо вычислить значения максимально допустимой длины для проводников, длина которых должна быть ограничена, и занести эти данные в таблицу.

Сделать это можно как вручную, вычисляя значения по формуле (1), так и с применением разработанной авторами программы MaxLength, которая позволяет быстро произвести необходимый расчет, и сохранить результаты в файле в удобном для применения виде.

$$l_{\max} = t_{\phi} \cdot v / 4, \quad (1)$$

где t_{ϕ} – длина фронта, $v=2 \cdot 10^8$ м/с – скорость распространения сигнала в линии [7].

II. Ограничение длин проводников в САПР.

Согласно результатам вычислений (табл. 1) разработчик в P-CAD PCB устанавливает ограничения на длину проводников. Для выполнения данной операции разработан алгоритм и инструкция пользователю [8].

Таблица 1. Результаты ранжирования цепей и вычисления допустимых длин проводников

Цепь	Соединения	Тип вывода	Частота, МГц	Длина, мм
A2	DD2-6	Вход	–	54
	DD3-6	Выход	9	
A4	1-A3	Выход	7,3	68
	DD2-8	Вход	–	

III. Компоновка и трассировка платы с учетом полученных ограничений на длины высокочастотных цепей.

Для оптимизации компоновки и трассировки были поставлены эксперименты по проектированию ПП для выбранной принципиальной схемы. Компоновка и трассировка платы были сделаны в трех вариантах: с применением интерактивного, автоматического и смешанного режимов (рис. 2).

После выполнения трассировки в трех вышеназванных режимах было произведено сравнение ее результатов по нескольким критериям (рис. 3). На данных гистограммах столбец № 1 относится к интерактивному режиму, столбец № 2 – к автоматическому, а столбец № 3 – к смешанному.

Анализ результатов эксперимента позволяет сделать следующие выводы:

1. Смешанный режим проектирования является наиболее эффективным за счет минимума интерактивной обработки и применения автоматической трассировки;
2. Качество трассировки, выполненной с применением ПОИ, является более определенным, поскольку:

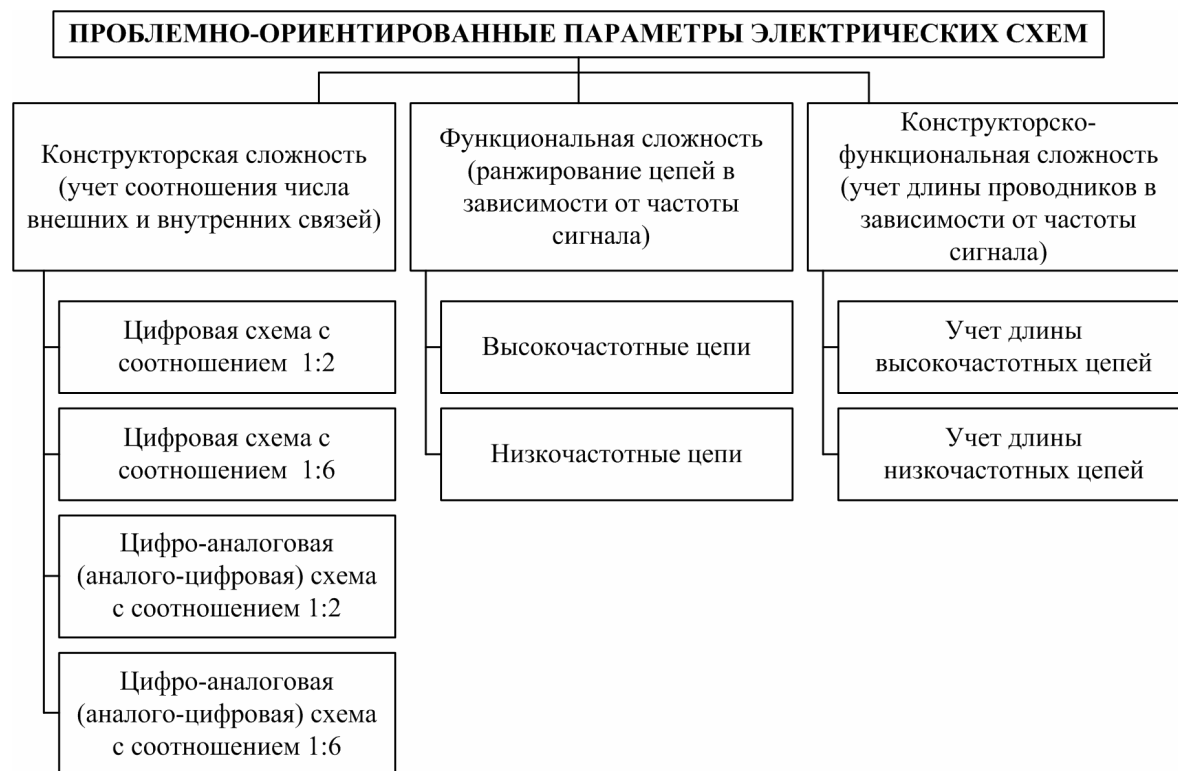
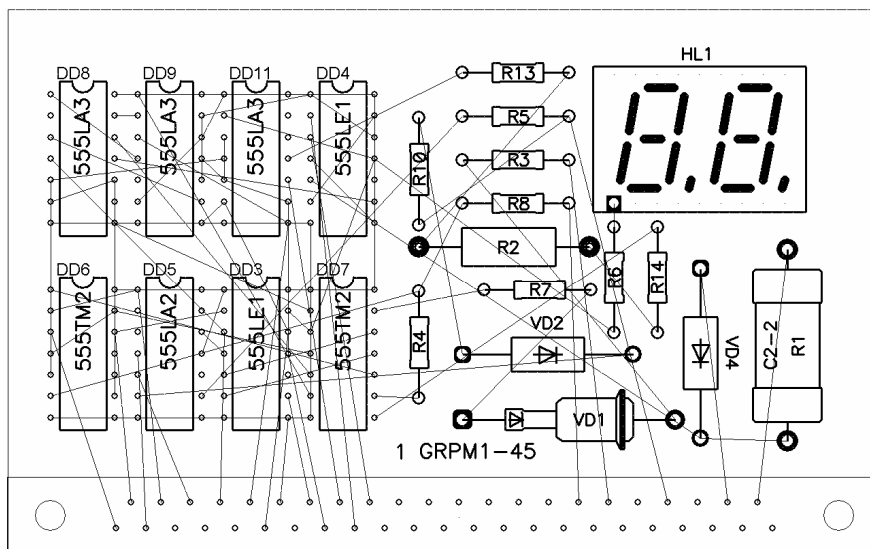
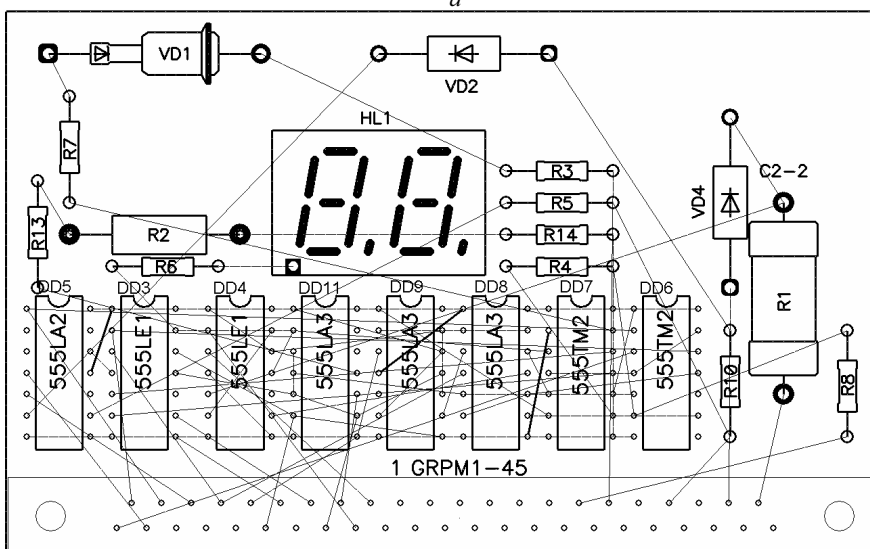


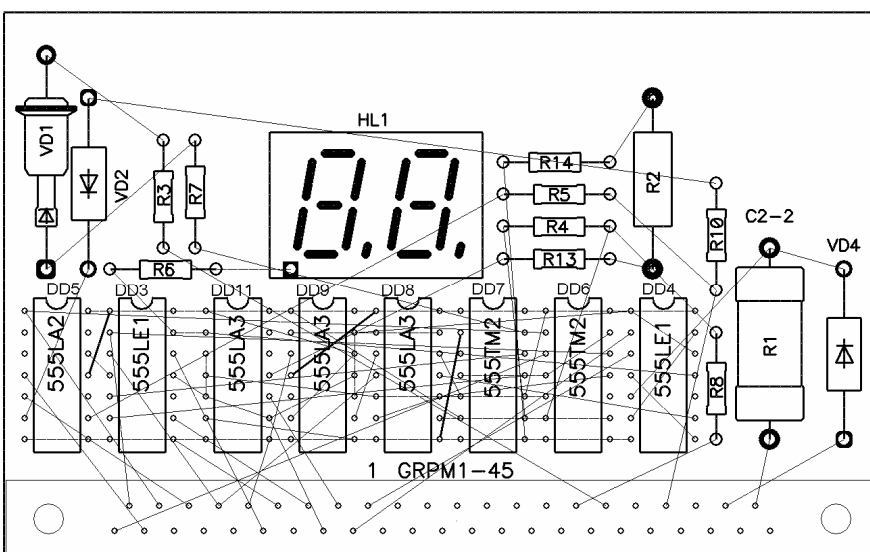
Рис. 1. Классификация проблемно-ориентированных параметров электрических схем



a



б



в

Рис. 2. Варианты компоновки, полученные в разных режимах: а) интерактивном, б) автоматическом и в) смешанном

- надежность функционирования схемы обеспечена за счет ограничения максимальной длины высокочастотных цепей в процессе интерактивной трассировки;
- полученный в автоматическом режиме вариант трассировки оптимизирован, т. к. суммарная длина проводников и количество переходных отверстий минимизированы за счет оптимизации стратегии с применением ПОИ (классификация схем по конструкторской сложности).

В итоге повышение производительности инженера-конструктора значительно приближается к возможностям САПР при ощутимом снижении напряженности его труда, сокращении времени конструирования ПП и обеспечении надежности работы схемы.

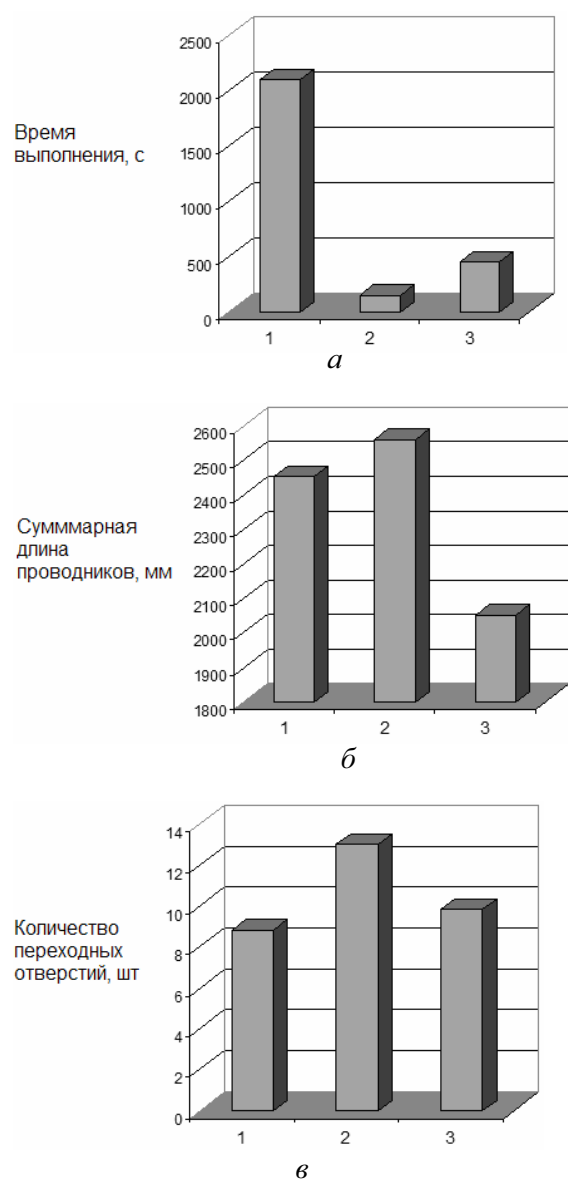


Рис. 3. Сравнение результатов трассировки по критериям: (а) времени выполнения, (б) суммарной длине проводников и (в) количеству переходных отверстий

2. Исследование качества проекта ПП по электромагнитной совместимости в САПР P-CAD 2002

В работе были исследованы возможности САПР по моделированию прохождения цифровых сигналов по печатным проводникам с учетом возможных искажений. После анализа возможностей моделирования была разработана методика построения процесса исследования качества ПП с учетом возникающих помех.

В процессе работы над методикой стало ясно, что проверку качества сигнала моделированием можно произвести для всех цепей устройства, с многочисленными сочетаниями параметров сигналов в исследуемой и соседних цепях. Однако такая избыточность является нецелесообразной ввиду следующих причин:

- большие затраты времени на моделирование;
- трудоемкость анализа результатов ввиду их большого числа;
- отсутствие ясности при выработке рекомендаций по снижению помех (неясно, какие именно меры нужно принять для снижения помех в конкретной цепи).

Поэтому было предложено разделение цепей на группы и присвоение ранга каждой цепи. При этом была использована классификация по функциональной сложности (рис. 1). Ранжирование осуществлялось по следующим критериям:

- важность выполняемой функции;
- частота переключения сигнала в цепи;
- помехозащищенность подключенных к цепи элементов.

По выполняемой функции цепи можно разделить на группы согласно возможным общим последствиям, которые повлечет за собой искажение сигнала в ней. Например, сбой в тактовых сигналах или цепях управления по возможным последствиям будет хуже, чем простое искажение данных. Внутри одной группы важность цепей тоже может быть различной.

Помехозащищенность элемента определяется тем, как реагирует элемент на всплески напряжения на его входе. Быстродействующий элемент может среагировать на импульс напряжения, вызываемый перекрестной помехой (рис. 5, б), тогда как низкочастотный элемент на этот импульс не отреагирует [2, 3]. Поэтому высокочастотные цепи и элементы более уязвимы, чем низкочастотные, следовательно, они являются более важными.

Ранжирование цепей даст возможность определить, насколько детально нужно исследовать искажения сигналов в каждой цепи, как много испытаний нужно проводить, сколько вариантов настройки параметров моделирования нужно использовать.

Процесс исследования качества предлагается осуществлять в последовательности, отраженной алгоритмом на рис. 4.

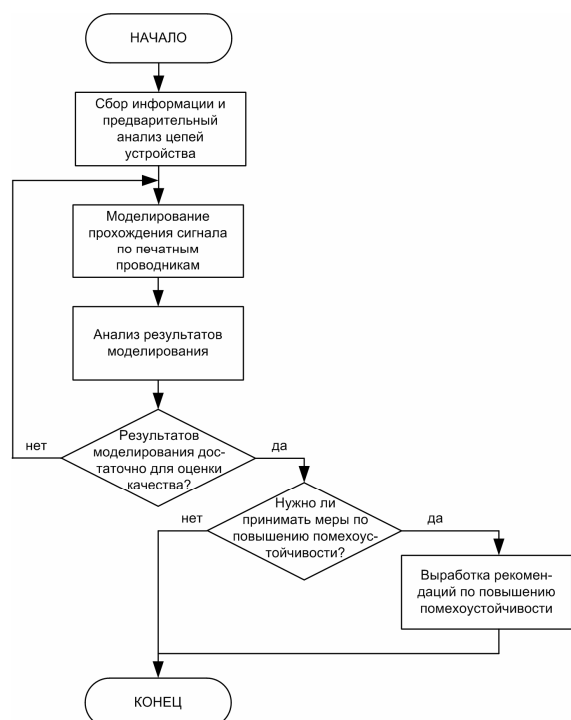


Рис. 4. Алгоритм процесса исследования качества печатной платы посредством моделирования

Ранжирование цепей производится на этапе сбора предварительной информации. В рамках данной работы ранжирование осуществлялось в два этапа:

1. Разбиение цепей на группы по важности и частоте переключения сигнала, с присвоением ранга каждой группе.
2. Присвоение ранга каждой цепи согласно сведениям о помехоустойчивости компонентов.

Пример ранжирования цепей представлен в табл. 2. В данном случае цепи были объединены в три группы: цепи синхронизации, управления, и информационные.

Таблица 2. Таблица характеристик цепей, элементов и рангов

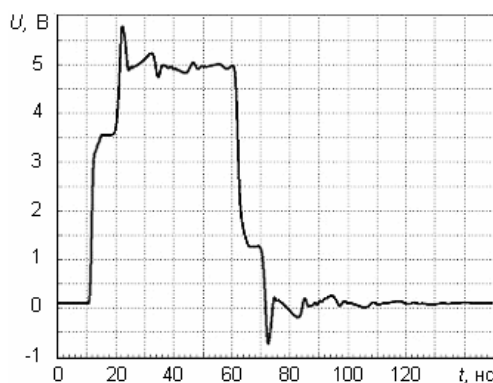
Цепь	Обозначение ИМС	Типономинал ИМС	$U_{Lmin},$ В	$U_{Lmax},$ В	$U_{Hmin},$ В	$U_{Hmax},$ В	Ранг
Цепи синхронизации							
CLK0	U1, U6	SN74ACT2440FN	-1	0,8	2	7	102
OSC	U2	SN74ACT2440FN	-1	0,8	2	7	101
	U4	TLC34058-80GA	-0,8	0,7	2	6,8	
Цепи управления							
HRD	U2	SN74ACT2440FN	-1	0,8	2	7	202
	U4	TLC34058-80GA	-0,8	0,7	2	6,8	
AEN	U2	SN74ACT2440FN	-1	0,8	2	7	201

Ранг каждой цепи складывается из двух составляющих. Старший разряд – это ранг группы, остальные разряды – ранг цепи внутри этой группы. Ранги цепей и групп нумеруются по возрастанию в порядке убывания важности и помехоустойчивости.

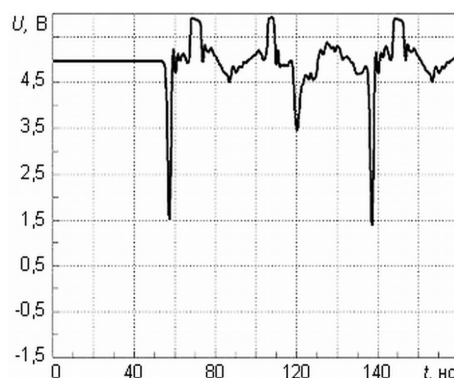
Например, цепи CLK0 присвоен ранг 102. Это означает, что группа, в которой эта цепь состоит, является самой важной, а сама цепь – вторая по значимости среди цепей своей группы.

Далее, с учетом рангов цепей необходимо определить количество испытаний для каждой цепи, и настройки среды для каждого испытания. Эти сведения рекомендуется занести в таблицу испытаний, что позволит осуществить моделирование в кратчайшие сроки.

Если исследование качества выявило искажения сигналов в длинных несогласованных проводниках (рис. 5, а), или возможные искажения сигналов из-за перекрестных помех (рис. 5, б), то при анализе результатов моделирования и выработке решений по повышению помехоустойчивости устройства ранг цепи будет определять, насколько серьезными являются отклонения в качестве сигнала, и насколько серьезные меры должны быть приняты для обеспечения целостности этого сигнала.



а



б

Рис. 5. Разновидности искажения сигналов в проводниках: а) искажение фронта сигнала из-за эффекта отражений, б) искажение постоянного сигнала из-за перекрестных помех

Результаты исследовательских работ по оптимизации проектирования электронной аппаратуры в САПР показали, что интеллектуальные системы проектирования работают гораздо эффективнее, если в качестве входных параметров и настроек им дается интеллектуально обработанная, структурированная информация, учитывающая возможности и особенности используемой системы. При таком подходе сам процесс проектирования качественно меняется, поскольку основное внимание уделяется анализу характеристик устройства, разработке и реализации сквозной стратегии проектирования, а не многочисленным однотипным операциям, свойственным проектированию в интерактивном режиме.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Разевиг В.Д. Проектирование печатных плат в P-CAD 2001. – М.: Солон-Р, 2001. – 557 с.
2. Ненашев А.П., Коледов Л.А. Основы конструирования микроэлектронной аппаратуры. – М.: Радио и связь, 1981. – 109 с.
3. Барнс Дж. Электронное конструирование: Методы борьбы с помехами: Пер. с англ. – М.: Мир, 1990. – 246 с.
4. Джонсон Г., Грэхем М. Конструирование высокоскоростных цифровых устройств: начальный курс черной магии: Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2006. – 1016 с.
5. Кутявина С.К., Кошелева С.Ю., Жердев А.А. Оптимизация проектирования печатных плат в среде САПР P-CAD 2001 с учетом конструкторской сложности электронных схем // Современные средства и системы автоматизации: Труды IV научно-практ. конф. – Томск, ТУСУР, 2004. – С. 124–128.
6. Стешенко В.Б. P-CAD. Технология проектирования печатных плат. – СПб.: БХВ-Петербург, 2003. – 652 с.
7. Овсищев П.И., Лившиц И.И., Орчинский А.К. и др. Компонировка и конструкции микроэлектронной аппаратуры: Справочное пособие / Под ред. Б.Ф. Высоцкого, В.Б. Пестрякова, О.А. Пятлина. – М.: Радио и связь, 1982. – 270 с.
8. Кутявина С.К., Аришин Е.А. Оптимизация этапов проектирования в средах САПР для повышения качества трассировки ПП // Молодежь и современные информационные технологии: Сб. трудов IV Всеросс. научно-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. – Томск: Изд-во ТПУ, 2006. – С. 72–75.

Поступила 06.06.2007 г.

УДК 004.67:514.83

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДВУМЕРНЫХ ГЕОПОЛЕЙ: ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ

М.В. Копнов, Р.В. Ковин

Институт «Кибернетический центр» ТПУ
E-mail: kopnovmv@tpu.ru

Проанализированы сложности восстановления двумерных геополей. Приведены результаты исследований и разработок в области геоинформационных систем и технологий для анализа двумерных геополей.

Введение

Одним из наиболее актуальных и динамично развивающихся сегодня направлений в геоинформатике является пространственный анализ объектов, представляющих собой протяженные непрерывные поверхности. Такие поверхности могут показывать распределение в пространстве температуры и давления, высот рельефа местности над уровнем моря, распределение химических элементов в почвах и т. д. В геоинформатике поверхности, однозначно описываемые скалярной функцией от двух пространственных координат x и y , получили название двумерные геополы [1].

Наиболее распространенной задачей при работе с пространственно распределенными данными является получение значений геополя в областях, где измерения не проводились. Решение этой задачи осложняется следующими особенностями исходных пространственных данных:

- информация об исследуемом явлении с определенной степенью достоверности известна лишь в некоторых областях геополя;
- чаще всего эти области представляют собой точки опробования (точки на местности, точки измерения поля в некоторой среде, где проводилось исследование, в результате которого в них определено значение геополя и т. д.);
- как правило, точки опробования представляют собой нерегулярную сеть точек.

Требования к методам восстановления двумерных геополей

При восстановлении геополей по мнению большинства исследователей [1, 2] метод должен:

- быть устойчивым к ошибкам измерений, обеспечивать эффективную фильтрацию этих ошибок;
- быть устойчивым относительно структуры сети исходных данных;
- обеспечивать получение приближающей функции, достаточно гладкой как в окрестностях экспериментальной точки, так и в пределах всего геополя, исключая появление ложных (не обусловленных имеющейся информацией) аномалий, т. е. сильного отклонения от региональной составляющей геополя, которое может возникнуть из-за особенностей применяемых методов приближения;
- обеспечивать возможность проведения вариантов расчетов в процессе восстановления геополя;
- быть достаточно технологичным, т. е. достаточно точным и экономичным в расходовании машинных ресурсов.

Среди наиболее успешных коммерческих пакетов, позволяющих решать задачи восстановления геополей, можно отметить программные продукты Spatial Analyst и Geostatistical Analyst для ГИС ArcGIS фирмы ESRI (США), Vertical Mapper от Ма-