

УДК 621.396.6/.3.011.75/.71

В.П. Алексеев, И.Д. Зырин, В.М. Карабан, Е.А. Морозов, С.Б. Сунцов

Топологическая трассировка и анализ схемы универсального электронного модуля бортовой РЭА космического назначения

Проведены сравнение и анализ результатов целостности сигналов цепей для разных вариантов топологии схемы, построенных двумя автотрассировщиками.

Ключевые слова: целостность сигналов, топология, автотрассировщик.

Постановка задачи и ее актуальность. В современной бортовой радиоэлектронной аппаратуре (РЭА) перспективных космических аппаратов (КА) технически реализована возможность применения высокоинтегрированных поверхностно-монтируемых элементов с принципиально новой конструкцией выводов: многовыводных микросхем с малым шагом расположения выводов 0,65 и менее, электрорадиоизделий (ЭРИ) с 4-сторонним расположением выводов, миниатюрных ЧИП-элементов, безвыводных ЭРИ с нижним расположением контактных поверхностей. Применение таких элементов возможно только за счет внедрения принципиально новых средств и технологий, связанных с разработкой и изготовлением УЭМ.

Объектом исследований являются УЭМ для систем управления и электропитания космических аппаратов связи, навигации и дистанционного зондирования земли с длительным сроком активного существования. УЭМ представляет собой конструктивно-законченный узел, учитывающий жесткие ограничения по габаритам, массе и потребляемой мощности с применением серийных компонентов промышленного и военно-космического назначения. На базе высокопроизводительной магистральной шины и совместимого набора УЭМ формируется модульная архитектура, позволяющая адаптировать радиоэлектронную аппаратуру для разных проектов.

В настоящее время наметилось отставание тактико-технических и экономических показателей отечественной бортовой РЭА ракетно-космической техники по сравнению с зарубежными аналогами. Кроме того, сроки ее разработки и изготовления значительно длиннее.

В данной работе предлагается исследовать и отработать подходы к топологической трассировке для проектирования высокоскоростных плат, сокращения времени проектирования, повышения надежности, электромагнитной совместимости УЭМ бортовой РЭА КА. Это позволит получить конкурентоспособную продукцию как на отечественном рынке космической техники, так и за рубежом.

Основная часть. Для выполнения каждого этапа разработки печатных плат предполагается использование специализированных прикладных программ, сокращенно именуемых РСВ – Printed Circuit Board [2].

Трассировка проводников на печатных платах является сложной задачей, причём её сложность меняется по мере развития технологии. Время проектирования вручную больших или высокоплотных плат резко возрастает [1]. В связи с этим появились узкоспециализированные программы, предназначенные исключительно для автоматической трассировки печатных проводников [2].

Такое разделение программ по выполняемым функциям вызвано, с одной стороны, сложностью разработки всеобъемлющих программ проектирования, а с другой – выпуском самостоятельных программ трассировки, что свидетельствует о том, что именно этот этап работы над проектом определяет качественные показатели разрабатываемого изделия. К печатным платам предъявляются многочисленные, конструктивные и технологические требования, диктуемые высоким быстродействием, искажениями сигналов, влиянием перекрестных наводок или другими крайностями: наличием высоких напряжений, больших токов. Все это заставляет применять разные варианты трассировки, используя для этой цели разные трассировщики [2].

Современные трассировщики имеют ряд ограничений, связанных с геометрической основой методов трассировки, которые сильно осложняют проектирование плат нерегулярной формы с компонентами со сложным расположением выводов. Результат работы таких автотрассировщиков требует обязательной ручной доработки проекта, что иногда ставит под сомнение выгоду от их использования [1].

На основе схемы универсального электронного модуля была разработана конструкция печатной платы (рис. 1), для которой требуется произвести трассировку печатных проводников.

Для этой цели были рассмотрены два автотрассировщика: зарубежный автотрассировщик 1, и отечественный автотрассировщик 2.

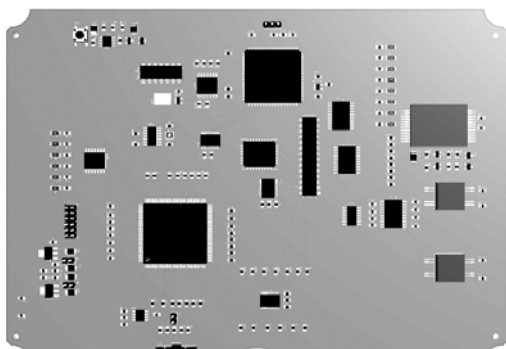


Рис. 1. Конструкция печатной платы

Перед началом трассировки выполнен один из важных этапов проектирования – установка правил проектирования: конструктивных и технологических ограничений проектирования платы. От установки правил зависит вся последующая работа над разработкой, т.е. размещение компонентов, трассировка печатных проводников и последующая верификация проекта [3]. Автотрассировщики в процессе работы для задания правил трассировки используют установленные ранее правила проектирования.

После подготовки печатной платы была проведена ее топологическая трассировка двумя автотрассировщиками, которые имеют совершенно разный подход к получению печатного рисунка проводников.

Автотрассировщик 1 характеризуется теми же свойствами, что и Shape-based методы – бесщеточностью, ортогональностью разводки и негибкостью [4]. Трассировка производится линиями.

Автотрассировщик 2 характеризуется высокой скоростью трассировки, отсутствием преимущественных направлений трассировки, гладкими, без изломов, проводниками. В нем 100%-я разводка цепей обеспечивается практически мгновенно за несколько секунд. Разводятся все связи, даже если для этого придется нарушить некоторые технологические ограничения. В дальнейшем производится многокритериальная оптимизация топологии путем пересчета различных вариантов переключения проводников [5]. Еще одно из немаловажных достоинств автотрассировщика 2 – осуществление параллельной оптимизации нескольких альтернативных вариантов топологии, различающихся различным уровнем значений оптимизируемых параметров, в то время как пользователю предоставляется возможность выбора одного или нескольких вариантов [5].

Наглядное отличие итоговой топологии печатных проводников можно увидеть на Рис. 2.

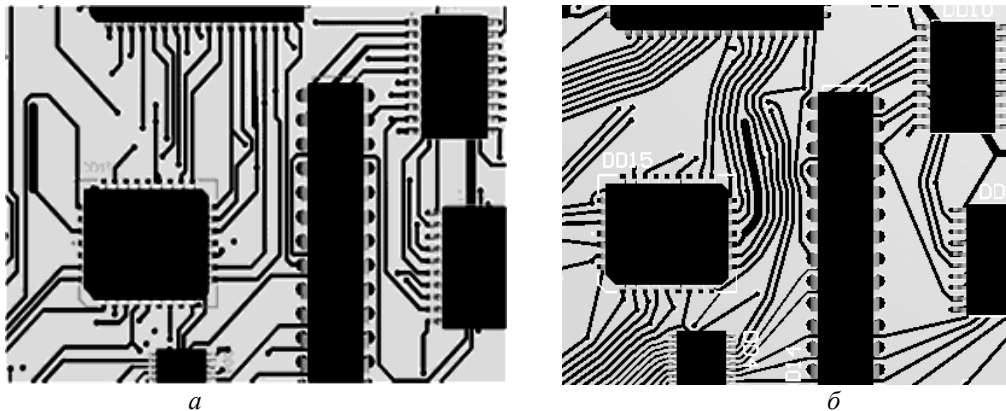


Рис. 2. Топология печатных проводников, полученная с помощью:
а – автотрассировщика 1; б – автотрассировщика 2

Было получено три варианта топологии печатных проводников: один вариант в автотрассировщике 1 и два варианта в автотрассировщике 2. После чего был проведен анализ целостности сигналов. Результат анализа представлен в таблице.

Далее приведено краткое описание характеристик, по которым проводился анализ целостности сигналов.

Топологическая трассировка печатной платы универсального электронного модуля в автотрассировщике 1 заняла 8 мин 25 с.

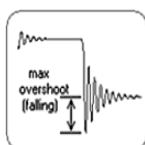
Получение варианта топологии проводников автотрассировщика_2_268 (без повторной трассировки) и достаточная автоматическая оптимизация заняли 15 мин 12 с.

Получение варианта топологии проводников автотрассировщика_2_277 (с повторной трассировкой) и достаточная автоматическая оптимизация заняли 19 мин 07 с.

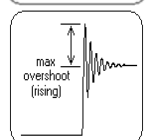
Первый 100%-й вариант трассировки в автотрассировщике 2 был получен меньше чем за 5 с.

Результат анализа трассировки

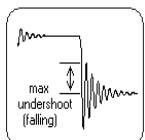
	Situs	Topor_268	Topor_277
Слои, шт	4	2	2
Переходные отверстия, шт	472	268	277
Длина проводников, мм	10020,22	8298,41	7986,63
Falling Edge Flight Time.ns	3,79	3,83	3,83
Falling Edge Overshoot.mV	54,05	46,97	36,92
Falling Edge Slope.ns	1,52	1,63	1,64
Falling Edge Undershoot.mV	43,7	44,07	36,45
Impedance, Ohm	66,32	66,05	60,88
Rising Edge Flight Time.ns	1,51	1,62	1,64
Rising Edge Overshoot.mV	84,36	71,72	53,54
Rising Edge Slope.ps	757,66	776,27	766,11
Rising Edge Undershoot.mV	76,63	75,49	55,59



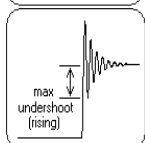
Falling Edge Overshoot – определяет максимально допустимый отрицательный выброс (затухающие колебания относительно низкого уровня значения напряжения) на заднем фронте импульса сигнала [6].



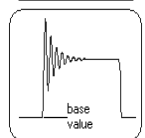
Rising Edge Overshoot – определяет максимально допустимый положительный выброс (затухающие колебания относительно высокого уровня значения напряжения) на переднем фронте сигнала [6].



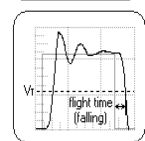
Falling Edge Undershoot – определяет максимально допустимое значение положительного выброса (затухающие колебания относительно низкого уровня значения напряжения) на заднем фронте сигнала [6].



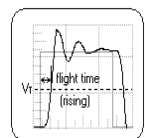
Rising Edge Undershoot – определяет максимально допустимое значение отрицательного выброса (затухающие колебания относительно высокого уровня значения напряжения) на переднем фронте сигнала [6].



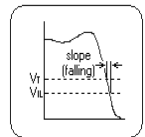
Signal Base Value – определяет максимально допустимый уровень значения напряжения сигнала низкого уровня [6].



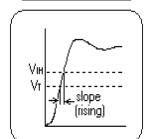
Falling Edge Flight Time – определяет максимально допустимое время задержки заднего фронта сигнала [6].



Rising Edge Flight Time – определяет максимально допустимое время задержки переднего фронта сигнала [6].



Falling Edge Slope – определяет максимально допустимый уровень значения крутизны заднего фронта импульса. Под этим значением здесь подразумевается время, затраченное на изменение уровня сигнала от порогового напряжения (V_T) до действительного значения напряжения низкого уровня (V_{IL}) [6].



Rising Edge Slope – определяет максимально допустимый уровень значения крутизны переднего фронта импульса. Под этим значением здесь подразумевается время, затраченное на изменение уровня сигнала от порогового напряжения (V_T) до действительного значения напряжения высокого уровня (V_{IH}) [6].

Impedance – определяет минимально и максимально допустимый уровень импеданса цепи [6].

Заключение. Согласно таблице и полученной топологии (рис. 2), автотрассировщик 2 (в сравнении с автотрассировщиком 1) позволяет:

- сократить количество переходных отверстий, слоев, суммарной длины проводников;
- увеличить толшины проводников и зазоры между ними, т.е. выполнять трассировку проводников и изготовление УЭМ по меньшему классу точности;
- улучшить показатели по сохранению целостности сигналов, повысить быстродействие работы УЭМ.

Вышеперечисленное в конечном счете приводит к улучшенным показателям по электромагнитной совместимости и помехоустойчивости, повышению надежности; сокращению времени и удешевлению процесса разработки и изготовления УЭМ.

Работа выполнена в рамках реализации Постановления № 218 Правительства РФ от 09.04.2010 г. «О мерах государственной поддержки развития кооперации российских высших учебных заведений и организаций, реализующих комплексные проекты по созданию высокотехнологичного производства» и договора № 13.G25.31.0017 от 07.09.2010 между ОАО «ИСС» им. акад. М.Ф. Решетнева» и Минобрнауки РФ.

Литература

1. Хингстон Д. Новый топологический автотрассировщик / Д. Хингстон, Ф. Логхрид, Р. Ирвин // Chip News. – 2002. – № 2. – С. 60–64.
2. Уваров А.С. Автотрассировщики печатных плат. – М.: ДМК Пресс, 2006. – 288 с.
3. Сабунин А.Е. Altium Designer. Новые решения в проектировании электронных устройств. – М.: Солон-Пресс, 2009. – 432 с.
4. Лузин С.Ю. Топологическая трассировка: реальность или миф? / С.Ю. Лузин, О.Б. Полу-басов // EDA Expert. – 2002. – № 5. – С. 42–46.
5. Сокращение времени проектирования // eremex.ru: оф. сайт компании Эремекс [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.eremex.ru/products/topor/competitiveadvantages/pcbdesignertime.html>, свободный (дата обращения: 18.08.2011).
6. Анализ целостности сигналов в системе Protel 99 SE // eurointech.ru: оф. сайт компании ООО «Евроинтех» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.eurointech.ru/index.sema> (дата обращения: 18.08.2011).

Алексеев Валерий Павлович

Канд. техн. наук, доцент каф. конструирования и производства радиоэлектронной аппаратуры ТУСУРа
Тел.: +7-913-812-23-81
Эл. почта: 106@vtomske.ru

Зырин Игорь Дмитриевич

Лаборант теплового и механического анализа и синтеза НИИ космических технологий ТУСУРа
Тел.: +7-923-422-30-20
Эл. почта: igorpnk@mail.ru

Карaban Вадим Михайлович

Канд. физ.-мат. наук, зав. лаб. теплового и механического анализа и синтеза НИИ космических технологий ТУСУРа
Тел.: +7-913-872-4521
Эл. почта: karaban_vm@mail.ru

Морозов Егор Александрович

Аспирант ТУСУРа
Тел.: +7-913-834-22-06

Сунцов Сергей Борисович

Аспирант ТУСУРа
Тел.: +7-908-020-38-25

Alekseev V.P., Zyryin I.D., Karaban V.M., Morozov E.A., Suncov S.B.

Topological routine and analysis of the multipurpose electronic module scheme

A comparison and analysis of circuit signal integrity for different scheme topologies constructed by two autorouters.

Keywords: signal integrity, topology, autorouter.