ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 71265— 2024

Системы автоматизированного проектирования электроники

АНАЛИЗ ЦЕЛОСТНОСТИ СИГНАЛОВ И ПИТАНИЯ НА ПЕЧАТНЫХ ПЛАТАХ. МАРШРУТ АНАЛИЗА ПРОЕКТОВ И ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2024

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Обществом с ограниченной ответственностью «Научно-исследовательский институт «АСОНИКА» (ООО «НИИ «АСОНИКА»), Обществом с ограниченной ответственностью «Платформ» (ООО «Платформ») и Обществом с ограниченной ответственностью «ПСБ Софтвер» (ООО «ПСБ Софтвер»)

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 165 «Системы автоматизированного проектирования электроники»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 29 февраля 2024 г. № 260-ст

4 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

*Правила применения настоящего стандарта установлены в статье 26 Федерального закона от 29 июня 2015 г. № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации». Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а официальный текст изменений и поправок — в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ближайшем выпуске ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (*gost.e-ecolog.ru

© Оформление. ФГБУ «Институт стандартизации», 2024

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

Содержание

1 Область применения 1
2 Нормативные ссылки 2
3 Термины, определения и сокращения 2
4 Общие положения 3
5 Этапы анализа целостности сигналов и питаний проекта ПП 4
6 Оценка качества системы питания печатного узла 4
7 Оценка качества сигнальных линий на ПП. 5
Приложение А (справочное) Пример системы автоматизированного анализа целостности сигналов и питаний проекта ПП — САПР Sigrity 7
Библиография 9

Введение

Разработка стандарта продиктована необходимостью стандартизации выполнения анализа проектов печатной платы (ПП) с точки зрения целостности сигналов и питаний на ней как отдельного этапа до начала, в процессе и после окончания выполнения автоматизированного проектирования электронной аппаратуры. После завершения этапа создания схемы, при формировании задания на разработку топологии и конструкции, а также в процессе и по окончании разработки топологии ПП, требуется выполнить верификацию полученного проекта с точки зрения качественного формирования топологии соединений для сигналов, проходящих через печатную плату, и топологии системы земель, питаний, развязывающих конденсаторов и полигонов возвратных токов на печатной плате, в целях обеспечения заданных параметров работы схемы в составе конечного изделия и в заданных условиях эксплуатации. В литературе принято называть эту операцию анализом целостности сигналов и питаний (Signal Integrity, Power Integrity).

Стандарт распространяется на процесс анализа файла проекта ПП в автоматизированной системе виртуального ЭМ моделирования. Его цель — автоматизация обработки и анализа файла проекта ПП с применением математического моделирования, снижение затрат на разработку, производство и обслуживание за счет повышения качества разработок.

На основе данного стандарта могут быть основаны этап предварительного анализа (предтопологического), этап анализа в процессе разработки (встроенного); и обязательным этапом должен являться пост-топологический анализ целостности сигналов и питаний на печатной плате перед тем, как передать файл проекта ПП в технологическую и производственную подготовку. Также в стандарте организации может присутствовать этап «комплексной проверки целостности сигналов и питаний» для нескольких печатных узлов, соединенных кабелями, объединительными панелями, разъемами, или прибора «в сборе».

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Системы автоматизированного проектирования электроники

АНАЛИЗ ЦЕЛОСТНОСТИ СИГНАЛОВ И ПИТАНИЯ НА ПЕЧАТНЫХ ПЛАТАХ. МАРШРУТ АНАЛИЗА ПРОЕКТОВ И ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

Electronics automated design systems.
Signal integrity and power integrity analysis of printed circuit boards.
The flow of analysis of the projects, and interpretation of results

Дата введения — 2024—04—01

1 Область применения

1.1 Настоящий стандарт предназначен для применения предприятиями промышленности и организациями при использовании электронных систем моделирования виртуальных двойников электронных узлов (ЭУ) на ранних этапах проектирования, изготовления и испытаний ЭУ.

1.2 Системы моделирования и виртуальных испытаний применяют на ранних этапах проектирования ЭА и ЭКБ следующего назначения: промышленная, для энергетики, для оборонно-промышленного комплекса, для аэрокосмической отрасли, для судостроения, медицинская, автомобильная, для навигации и радиолокации, потребительская, для фискального и торгового оборудования, для связи (телекоммуникации), для вычислительной техники, для автоматизации и интеллектуального управления, для систем безопасности, для светотехники, для автоматизированного транспорта и движущейся робототехники.

1.3 На ЭА, содержащую в своем составе различные ЭУ и соединительные элементы, оказывают влияние внешние дестабилизирующие факторы — электрические, тепловые, механические, климатические, биологические, радиационные, электромагнитные, специальных сред и термические. Внешние дестабилизирующие факторы могут приводить к несоответствиям ЭКБ и ЭА требованиям к их выходным характеристикам и режимам работы. Настоящий стандарт устанавливает условия, которым должны соответствовать виртуальные модели ЭУ, а также результаты моделирования прохождения сигналов по соединительным элементам, в том числе линиям передачи, чтобы реальные ЭУ соответствовали заявленным в паспорте изделия характеристикам даже при воздействии дестабилизирующих факторов, оговоренных в паспорте (или ТУ) на изделие.

1.4 Результатом проведения проверок являются различные отчеты, предлагаемые для рассмотрения пользователю в форме таблицы. Данные отчеты содержат всю необходимую информацию для идентификации типов обнаруженных проблем и их локализации.

1.5 Для проведения проверок ПП следует применять специализированные программные средства. Требования к программным средствам, а также параметры, внесенные в параметрические таблицы, устанавливают в зависимости от технических требований к применяемой ЭКБ, стандартов на применяемые интерфейсы передачи данных и условий эксплуатации.

1.6 Виртуальное моделирование электроники не может полностью заменить натурные испытания, однако могут дополнить их и позволить получить данные, которые сложно и иногда даже невозможно получить методом натурных испытаний.

1.7 Виртуальные испытания электроники проводят:

на ранних этапах проектирования (до изготовления опытного образца);

Издание официальное

после изготовления и натурных испытаний опытного образца для проверки работоспособности ЭА и ЭКБ в условиях ВВФ, в том числе в критических режимах, которые не могут быть воспроизведены с помощью натурных испытаний.

1.8 Настоящий стандарт основан на [1].

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использована нормативная ссылка на следующий стандарт:

ГОСТ 15.016 Система разработки и постановки продукции на производство. Техническое задание. Требования к содержанию и оформлению.

Примечание — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого стандарта с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого стандарта с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины, определения и сокращения

3.1 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по ГОСТ 15.016, а также следующие термины с соответствующими определениями:

3.1.1 **электроника:** Электронная аппаратура и входящая в ее состав электронная компонентная база.

3.1.2 **виртуальные испытания электроники:** Воспроизведение на компьютере с помощью математического моделирования условий натурных испытаний или реальных условий эксплуатации электроники в соответствии с техническим заданием на разработку электроники.

3.1.3 **глазковая диаграмма:** Графическое представление цифрового сигнала, где на один график накладывается большое число интервалов передачи цифровой информации, что позволяет визуально или с помощью графической маски анализировать качество передачи данных.

3.1.4 **импеданс:** Волновое сопротивление.

Примечание — Термин применяют как при анализе системы питаний печатных плат, для обозначения полного сопротивления системы питания в зависимости от частоты, так и при анализе целостности сигналов, для обозначения волнового сопротивления линии передачи.

3.1.5 **линия передачи:** Совокупность элементов топологии печатной платы и/или соединительных элементов, используемая для передачи сигнала между двумя электрорадиоэлементами.

Примечание — Применяют, если ее физические и электромагнитные характеристики могут оказывать существенное влияние на качество передачи этого сигнала.

3.1.6 **печатный узел:** Печатная плата с установленными на ней электрорадиоэлементами (конденсаторами, резисторами, ИС и т. д.), в совокупности выполняющая определенные электронные функции и взаимодействующая с другими печатными узлами в составе электронной аппаратуры через соединяющие элементы.

3.1.7 **система автоматизированного проектирования электроники в части виртуальных испытаний;** САПР электроники ВИ: Составная часть системы автоматизированного проектирования электроники, предназначенная для автоматизированного схемотехнического и конструкторского моделирования и виртуальных испытаний электроники.

3.1.8 **система питания печатного узла:** Совокупность проводящего рисунка топологии печатной платы и электронных компонентов (разъемы, конденсаторы, резисторы и т. д.), обеспечивающих бесперебойное и устойчивое напряжение питания для энергопотребляющих компонентов на печатных платах.

3.1.9 **энергопотребляющие компоненты:** Электронные компоненты на печатной плате, производящие определенные действия при протекании через них электрического тока питания.

3.1.10 **BER, Bit error rate:** Частота возникновения битовых ошибок в канале передачи цифровой информации.

3.1.11 **IBIS:** Общепринятый в мире формат представления моделей приемных и передающих трактов цифровых электронных компонентов, позволяющий выполнить моделирование передачи и приема сигналов между электрорадиоэлементами через линию передачи.

3.1.12 **SPICE:** Общепринятый в мире формат представления моделей аналоговых электронных компонентов, позволяющий выполнять электрическое моделирование электронной схемы.

3.1.13 **S-параметры:** Общепринятый в мире формат представления моделей соединительных элементов (включая разъемы, линии передачи и многовыводные соединители типа «черный ящик»), позволяющий выполнять моделирование передачи сигналов через соединительные элементы.

3.2 Сокращения

В настоящем стандарте применены следующие сокращения:

ВВФ — внешние воздействующие факторы;
ВИ — виртуальные испытания;
ИС — интегральная схема;
НИОКР — научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы;
ПП — печатная плата;
ПУ — печатный узел — печатная плата с установленными на ней ЭРЭ (конденсаторами, резисторами, ИС и т. д.);
САПР — система автоматизированного проектирования;
СППУ — система питания печатного узла;
ТЗ — техническое задание;
ЭА — электронная аппаратура;
ЭУ — электронный узел;
ЭКБ — электронная компонентная база;
ЭРЭ — электрорадиоэлемент.

4 Общие положения

4.1 Целью разработки настоящего стандарта является установление требований к автоматизированному процессу анализа целостности сигналов и питаний для проекта ПП на основе проведения ВИ в выбранной системе моделирования.

Для достижения поставленной цели в стандарте установлены следующие единые требования:

к формату данных, передаваемых в систему технологической адаптации.

к порядку и виду проводимых проверок, по результатам которых выдают заключение о корректности проекта ПП с точки зрения целостности сигналов и питаний.

4.2 Организация работ по применению автоматизированного анализа целостности сигналов и питаний проекта ПП на основе данных, получаемых из САПР ПП

Разработчик схемы ЭУ и/или разработчик топологии ПП в САПР ПП передает всю необходимую информацию о проекте в заранее оговоренном составе и формате работникам подразделения предприятия, на которое возложена обязанность анализа целостности сигналов и питаний ПП, в соответствии с требованиями ТЗ на ЭУ и условиями эксплуатации. В некоторых случаях возможно выполнение данного анализа силами разработчика схемы, разработчика топологии или совместно, в том числе с использованием встроенных средств анализа в САПР ПП. По результатам анализа принимают решение о внесении корректировок в схему электрическую принципиальную, в ТЗ и/или в топологию печатной

платы, для обеспечения требуемых характеристик ЭУ с точки зрения качества питания и качества передачи сигналов.

5 Этапы анализа целостности сигналов и питаний проекта ПП

Пред-топологический анализ целостности сигналов и питаний проводят непосредственно перед началом разработки топологии печатной платы либо ранее, если подготовлены частичные схемы ЭУ, позволяющие вычленить локальные узлы и верифицировать их схемы согласования между передающими и приемными ЭРЭ, рассчитать требуемый импеданс линий передачи и определить другие параметры, влияющие на целостность сигналов и питаний. В дальнейшем результаты пред-топологического анализа необходимо использовать для задания констант, управляющих параметрами проводников линий передачи и полигонов земли/питания в САПР ПП, а также для верификации проекта в процессе разработки топологии, а также по окончании разработки ПП.

Пост-топологический анализ печатного узла, когда проект топологии ПП полностью подготовлен, может быть разбит как минимум на два этапа. Начинать следует с анализа целостности питаний проекта ПП, включая анализ по постоянному току и по переменному току. Рекомендуется приступать к анализу целостности сигналов только после того, как качество системы питаний верифицировано, найденные ошибки проектирования исправлены и скорректированный проект ПП загружен в систему моделирования.

6 Оценка качества системы питания печатного узла

6.1 Оценка качества СППУ начинается с передачи информации о ПУ из системы проектирования ПП в систему моделирования электрических процессов, проходящих в ПУ при его работе. Передача информации осуществляется трансляцией данных проекта из одного стандарта хранения информации, применяемой САПР ПП, в другой стандарт, применяемый системой моделирования электрических процессов.

6.2 После передачи данных о проводящем рисунке ПП и установленных на ней элементах с обозначением контуров данных элементов приступают к анализу системы питания ПП по постоянному току.

6.2.1 Для выполнения анализа по постоянному току выбирают цепи, указанные в ТЗ на анализ ПП.

6.2.2 В исследуемых цепях организуют контур постоянного тока. Устанавливают виртуальный аналог источника напряжения на посадочное место, где на ПП должна стоять микросхема питания или элемент, с которого снимается питающее напряжение. На место потребителя тока в исследуемой цепи устанавливают виртуальную модель потребителя. Как правило, модели источника и потребителя описывают в формате SPICE.

6.2.3 После установки источника и потребителя задают их свойства. Для источника напряжения — это генерируемое напряжение. Для потребителя — это потребляемый ток.

6.2.4 После задания всех параметров источника и потребителя тока производят моделирование падения напряжения на пути тока от источника до потребителя. Данное падение происходит из-за наличия сопротивления в проводящем рисунке ПП. Чем больше сопротивление, тем больше падение напряжения (по закону Ома).

6.2.5 Из-за того, что в современных электронных цифровых устройствах потребляемые токи, как правило, составляют от единиц до десятков Ампер, проводящая структура, соединяющая источник и потребитель токов, формируется из полигонов и переходных отверстий. Применение относительно узких проводников не допускается. Под относительно узким проводником понимают участок трассировки, длина которого больше ширины в пять и более раз.

6.2.6 После проведения итеративных расчетов определяют конечное значение падения напряжения и плотностей токов в исследуемой проводящей структуре. Падение напряжения в контуре токов обычно не должно превышать 5 % от номинального напряжения питания исследуемой цепи. Плотность токов в проводящей структуре не должна быть выше 100—150 А/мм^2. Ток, проходящий через одно переходное отверстие ПП, должен соответствовать диаметру данного переходного отверстия. Пример требования в ТЗ: при диаметре переходного отверстия 0,5 мм ток, текущий через отверстие, не должен превышать 500 мА. (Иногда данное соотношение может быть нарушено в пользу повышения проводимого переходным отверстием тока. Максимальное значение проводимого переходным отверстием тока

составляет 1 А для диаметра более чем 0,3 мм, хотя данное значение тока является рекомендацией, а не правилом).

6.2.7 Результаты расчетов параметров тока, текущего по проводящему рисунку, должны быть сформированы в табличной форме и сохранены на жестком диске персонального компьютера для дальнейшего хранения и анализа.

6.2.8 После анализа полученных результатов производят коррекцию проводящего рисунка ПП для уменьшения плотности тока в полигонах, если она превышает указанную выше. Матрицу переходных отверстий системы питания ПП корректируют таким образом, чтобы через все отверстия, расположенные близко друг от друга, тек практически одинаковый ток. То есть перегруженные отверстия ликвидируют перерасстановкой и повторным моделированием.

6.3 После того, как все недочеты, обнаруженные при симуляции системы питания по постоянному току, устранены, приступают к рассмотрению частотного отрезка, на котором будут определять полное сопротивление системы питания по переменному току (так называемый импеданс).

6.3.1 Для оценки качества системы питания применяют понятие полного волнового сопротивления — импеданс.

6.3.2 На начальном этапе задают модели источника и потребителя тока для исследуемой цепи питания. После этого задают частотный диапазон, на котором будет происходить подсчет импеданса системы питания.

6.3.3 Поскольку обеспечение низкого значения импеданса на высоких частотах невозможно только при использовании медной проводящей топологии ПП, на поверхность ПП устанавливают специальные (развязывающие) конденсаторы, соединенные одним контактом с цепью земли, а другим контактом с исследуемой цепью питания. Данные конденсаторы надо группировать около критически важного потребителя тока, так как одна из задач, которую они выполняют — создание локального высокочастотного источника тока питания для потребляющих ЭРЭ. Однако некоторое количество конденсаторов должно всегда присутствовать около источника напряжения питания, а также по всей площади полигона питания исследуемой цепи. Конкретные места установки конденсаторов определяют при визуализации свойств проводящей структуры ПП при выполнении моделирования.

6.3.4 Поскольку полигоны питания, передающие энергию от источника напряжения к потребителю тока, имеют неидеальные параметры, в частности у них имеется паразитная индуктивность, то с ростом частоты проходящего по полигонам тока данные структуры начинают создавать все большее сопротивление. Это вызывает падение напряжения в характерных местах полигонов. Критическими местами, например являются протяженные узкие отрезки, обладающие относительно большой индуктивностью, либо участки полигонов, удаленные друг от друга на 1/2, 1/4, 1/8 и так далее длины волны передаваемого переменного тока. Система моделирования должна иметь возможность визуализировать электромагнитные излучения в таких характерных местах для последующей установки на них конденсаторов, которые будут локально уменьшать полное сопротивление системы питания в месте установки.

6.3.5 Электрические модели, применяемые при расчетах, записывают в формате SPICE либо в формате S-параметров.

6.3.6 Полное волновое сопротивление системы питания, состоящей из моделей источника напряжения, потребителя тока и специальных конденсаторов на рассматриваемом (критически важном для данной ЭА) диапазоне частот, как правило, не должно превышать 0,1 Ом. Если данное значение превышается, то необходимо стремиться, чтобы превышение произошло на как можно более высокой частоте. Также подбором номенклатуры применяемых конденсаторов и их расположения необходимо добиваться, чтобы повышение волнового сопротивления с ростом частоты происходило плавно без резких подскоков (резонансов). Резкое изменение полного волнового сопротивления является критическим и недопустимым.

7 Оценка качества сигнальных линий на ПП

7.1 Для передачи сигналов между ЭРЭ на печатной плате с высокой скоростью используют печатные проводники и переходные отверстия со специальным образом рассчитанными характеристиками. На высоких скоростях передачи и соответственно высоких частотах, содержащихся в электрическом сигнале, эти проводники и переходные отверстия становятся линией передачи, и их физические параметры начинают оказывать сильное влияние на качество передачи сигнала. Оценка качества линии передачи обычно формируется из двух критериев: оценки вносимых потерь (Insertion Loss в зарубежной литературе) и оценки возвратных потерь (Return Loss).

7.2 При моделировании процессов, происходящих в линии передачи на ПП, происходит экстракция S-параметров данной линии с помощью вычислительных алгоритмов, 2D и 3D-моделирования с учетом структуры слоев, параметров диэлектрика и топологии ПП, и построение графиков Insertion и Return Loss на заданном диапазоне частот.

7.3 При моделировании линий передачи используют модели источников и приемников сигнала, составленные в общепринятом формате IBIS, либо IBIS-AMI для высокоскоростных интерфейсов, передающих данные на частотах выше 2 ГГц. Для пассивных компонентов, включенных в линию передачи данных, используют модели в формате SPICE либо в форме S-параметров.

7.4 IBIS модели и IBIS-AMI модели описывают процесс переключения драйвера линии из состояния логического нуля в состояние логической единицы и наоборот. IBIS-AMI модели содержат алгоритмический блок, позволяющий более точно моделировать высокоскоростные микросхемы передатчиков и приемников.

7.5 После проведения итеративных вычислений с заданной точностью и получения графиков Insertion Loss и Return Loss приступают к их анализу на соответствие ТЗ. В общем случае график Insertion Loss не должен опускаться ниже 17 дБ на всем исследуемом диапазоне частот. График Return Loss не должен подниматься выше –5 дБ на всем диапазоне исследуемых частот. Необходимо стремиться, чтобы график Return Loss не поднимался выше –10 дБ, однако это не всегда возможно.

7.6 Если параметры Insertion и Return Loss укладываются в рамки ТЗ, или в значения, приведенные в предыдущем пункте, то построение глазковой диаграммы нецелесообразно. Если график Return Loss находится в диапазоне от –10 до –5 дБ, рекомендуется приступить к построению глазковой диаграммы передаваемого сигнала и подбору оптимальной величины предыскажений, вводимых AMI блоком IBIS-модели, если есть такая возможность.

7.7 Для построения глазковой диаграммы передаваемого сигнала система моделирования должна иметь блок, позволяющий обеспечить представление линий передачи данных на системном уровне абстракции. На таком уровне вся линия передачи данных делится на участки. Каждый участок представляется блоком, который содержит виртуальную модель в формате IBIS, SPICE или S-параметров. Блоки связываются в виде цепочки или графа и формируют линейную структуру. При моделировании строят график передачи последовательных переключений источника сигналов из состояния логической единицы в состояние логического нуля и обратно, для разных последовательностей нулей и единиц.

7.8 Полученные графики переключения источника во временной области анализируют при применении специальных шаблонов и масок, определяемых конкретным отраслевым стандартом, описывающим применяемый в данном случае интерфейс передачи данных. Конкретный список проверок и конкретные параметры (таблицы значений) проверок составляет отдел, отвечающий за анализ целостности сигналов и питаний, они должны соответствовать отраслевым стандартам на конкретные интерфейсы передачи данных.

Приложение А
(справочное)

Пример системы автоматизированного анализа целостности сигналов и питаний проекта ПП — САПР Sigrity

Одним из самых популярных и мощных инструментов для анализа целостности сигналов и питаний проекта печатной платы считается программный продукт Sigrity производства компании Cadence Design Systems. Этот инструмент постоянно обновляется и имеет простой, доступный для понимания интерфейс.

Инструмент Sigrity является автоматизированной программной системой, позволяющей провести виртуальные испытания печатного узла, совокупности печатных узлов и соединительных элементов, а также ЭА в целом. Входные данные проекта ПП для анализа могут быть представлены в общепринятых форматах ODB++ или IPC-2581, что позволяет импортировать проекты из популярных форматов САПР ПП, таких как Cadence OrCAD/Allegro, Xpedition, Altium, P-CAD.

Для решения различных задач анализа целостности сигналов и питаний в Sigrity присутствуют отдельные инструменты, связанные через единую среду визуализации и анализа проектов, а также объединяемые производителем в наборы лицензионных продуктов в зависимости от назначения: набор для экстракции электромагнитных характеристик печатной платы, набор для анализа целостности питаний, набор для анализа целостности сигналов, набор для анализа тепловых характеристик и распределения тепла. Ниже приведено краткое описание отдельных инструментов системы Sigrity.

PowerDC — уникальный программный продукт, позволяющий совместно выполнять температурное и электрическое моделирование ЭУ. Система моделирования учитывает не только нагрев медных проводников и полигонов питания из-за протекающего по ним тока, но и изменение свойств материалов (снижение теплопроводности и проводимости) вследствие нагрева. Это позволяет как получить достоверную картину тепловых распределений на печатном узле, ИС и радиаторах, с учетом параметров окружающей среды, скорости обдува и свойств радиатора, так и близкие к реальным значения падения напряжения питания на высокопотребляющих ЭРЭ. Для моделирования применяют метод конечных элементов (FEM).

Объекты моделирования:

проводники, выводы, шарики BGA, переходные отверстия ПП;

все медные и диэлектрические слои ПП;

температурные свойства и зависимости материалов;

радиаторы, термальные слои ПП, теплостоки.

Размеры, тип и материал радиатора задают при вводе параметров моделирования. Свойства и температуру окружающей среды, а также скорость обдува задают в параметрах.

Точность симуляции подтверждают практическими измерениями.

PowerSI — инструмент для экстракции электромагнитных параметров проекта печатной платы. Он помогает быстро и точно провести такие виды виртуальных испытаний, как анализ шума земли из-за одновременного переключения множества потребителей, перекрестных помех, определение емкостной связи между сигналами. Проводят одновременное электромагнитное моделирование всей печатной платы. Данный программный модуль может использоваться как для пред-топологического моделирования для выработки рекомендаций для трассировки, так и после завершения трассировки ПП, для проверки ее качества. Результаты работы модуля PowerSI могут быть использованы в дальнейшем анализе во временной области с помощью модуля SystemSI.

Clarity — инструмент, дополняющий PowerSI и позволяющий произвести более точную экстракцию электромагнитных параметров для сложных и трехмерных структур (выходя за рамки просто печатной платы и позволяя моделировать разъемы и кабели).

OptimizePI — инструмент, который позволяет оптимизировать размещение развязывающих конденсаторов по питанию на основании анализа импеданса и локальных резонансов системы питаний:

можно обнаружить «горячие точки» в топологии полигонов земли и питания платы;

можно устранить локальные резонансы за счет авто-подбора положения и номиналов конденсаторов;

можно оптимизировать конфигурацию полигонов на основе результатов электромагнитного анализа топологии;

можно уменьшить количество развязывающих конденсаторов до минимально необходимого, без снижения качества системы питаний, и за счет этого уменьшить стоимость, габариты и вес печатного узла;

получить возможность снизить ЭМ излучение от печатного узла.

SystemSI — программный инструмент, ориентированный на моделирование пути сигнала от кристалла передающей ИС до кристалла приемной ИС, в таких интерфейсах как PCI Express (PCIe), HDMI, SFP+, Xaui, Infiniband, SAS, SATA, USB и других, а также в параллельных интерфейсах типа DDR. Можно выполнять оценку качества линии передачи предварительно, используя наборы моделей передатчиков и приемников от различных производителей ИС. Используя качественные модели ИС, соединителей и экстрагированную ЭМ модель печатной платы,

можно получить результаты виртуальных испытаний целостности сигналов канала передачи данных в ЭУ, максимально близкие к реальности.

Моделирование помогает организациям, разрабатывающим ЭА, спрогнозировать перекрестные помехи и качество работы механизмов синхронизации и защиты от потери данных, определить параметры качества канала передачи информации (количество потерянных бит, джиттер и уровень шума). Моделирование параллельных интерфейсов в SystemSI, таких как DDRx, учитывает особенности реальной топологии системы питания печатного узла или блока (ухудшение их параметров работы относительно идеального случая). При работе в SystemSI сначала нужно создать или взять из библиотеки начальную структурную схему требуемого интерфейса (библиотека содержит готовые структурные схемы и модели большинства современных цифровых интерфейсов), а затем, после разработки топологии ПП и выбора конкретных ИС и соединителей, дополнить данными из нее, чтобы учесть влияние конструкции, расположения слоев и соседних проводников. Моделирование позволяет проверить наличие отражения, перекрестных помех, шумы в моменты переключения и многое другое.

В итоге организация, разрабатывающая ЭА, получает:

точное моделирование передачи сигналов в диапазоне частот от постоянного тока до 10 ГГц;

виртуальные испытания каналов передачи информации на основании моделей IBIS-AMI;

автоматическую генерацию «глазковой» диаграммы и U-образной кривой для определения частоты битовых ошибок (BER);

обнаружение отражений и перекрестных помех;

учет шумов одновременного переключения;

измерение времени установления и фиксации сигнала.

Библиография

[1] Шалумов А.С. Дорожная карта развития «САПР электроники выше мирового уровня». — Ковров: ООО «НИИ «АСОНИКА», 2020. — 24 с. — Режим доступа: gost.e-ecolog.ru

УДК 621.865:8:007.52:006.354

ОКС 31.020
29.100.01

Ключевые слова: система автоматизированного проектирования; программируемые, логические, интегральные схемы; маршрут проектирования; электронная аппаратура

Редактор *Н.А. Аргунова*
Технический редактор *И.Е. Черепкова*
Корректор *С.И. Фирсова*
Компьютерная верстка *М.В. Малеевой*

Сдано в набор 01.03.2024. Подписано в печать 18.03.2024. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 1,86. Уч.-изд. л. 1,58.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении в ФГБУ «Институт стандартизации»
для комплектования Федерального информационного фонда стандартов,
117418 Москва, Нахимовский пр-т, д. 31, к. 2.
gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru