

# КЛЮЧЕВЫЕ АСПЕКТЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ ДЛЯ УСТРОЙСТВ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ

Дж.Макмиллан<sup>1</sup>

УДК 621.3.049  
БАК 05.13.00

Разработка электронных изделий с возможностями Интернета вещей (IoT) уже не является исключением, скорее, становится правилом. Для инженеров открываются широкие перспективы создания новых категорий IoT-продуктов и модернизации существующих устройств, которые наделяются дополнительными возможностями. При проектировании IoT-изделий следует учитывать ряд факторов, чтобы исключить возможные проблемы с надежностью конечных устройств, снизить их стоимость, сократить время вывода на рынок продуктов. Поэтому создание высококачественных печатных плат для изделий Интернета вещей требует применения интегрированной среды проектирования с расширенным функционалом, включающим в себя пред- и посттопологическое моделирование, управление ограничениями топологии, верификацию и многое другое.

С тремительное развитие технологии Интернета вещей открывает возможности, которые раньше было трудно вообразить. Представьте, вы на работе и кто-то позвонил в видеодомофон с поддержкой IoT, который подключен к домашней сети Wi-Fi. На смартфон приходит уведомление о том, что в дверь позвонили, и вы получаете доступ к видеопотоку домофона. Можете поговорить с посетителем напрямую и, сославшись на занятость, попросить его оставить посылку у двери, не уточняя, дома вы или нет. Реальность такова, что многие возможности новой технологии уже доступны.

Экосистема устройств IoT растет быстрее, чем когда-либо, соединяя объекты реального мира, системы и людей с продуктами, которые, в свою очередь, объединяют пользователей, различные устройства и даже производителей. Не вставая с дивана, можно использовать голосовые команды для включения и выключения света или уменьшения яркости освещения. Управление устройствами IoT при помощи интуитивных мобильных

приложений позволяет взаимодействовать с умными браслетами, часами, фитнес-трекерами, дверными замками, терморегуляторами, мультимедиа-устройствами и многим другим (рис.1).

Хотя IoT-устройства выглядят простыми и изящными, в них реализованы уникальные проектные и компоновочные решения, в частности на основе гибко-жестких печатных плат. Рассмотрим ключевые аспекты и особенности, которые следует учитывать при разработке печатных плат для устройств Интернета вещей.

## ОСНОВНЫЕ СОСТАВНЫЕ ЧАСТИ IoT-УСТРОЙСТВА

**Схемы смешанного сигнала.** Аналого-цифровые преобразователи в устройствах IoT используются для обработки, хранения и передачи практически любого аналогового сигнала в цифровой форме на микропроцессор. Цифровой сигнал описывает входное напряжение или уровень тока. Благодаря преобразованию аналогового в цифровой сигнал электроника позволяет взаимодействовать с аналоговым миром вокруг.

**Микроэлектромеханические системы, или МЭМС.** По технологии МЭМС в устройствах IoT выполняются

<sup>1</sup> Компания Mentor Graphics.



Рис.1. Примеры носимых устройств Интернета вещей

миниатюрные датчики и приводы. МЭМС-датчики собирают информацию из окружающей среды, а приводы исполняют заданные команды. МЭМС-компоненты – ключевые элементы устройства IoT – выполняют множество задач: от фиксации шагов в фитнес-трекерах до реакции смартфона на его повороты и наклоны.

**Радиочастотные тракты.** Радиомодули подключают устройство IoT к облачным сервисам через Wi-Fi, Bluetooth или другие специализированные протоколы. Для обеспечения беспроводной связи необходимо учитывать множество факторов, включая потребности приложений, технологические ограничения и требования к интеграции оборудования и программного обеспечения. Решающее значение имеет учет электропотребления, радиуса действия, возможности соединения и пропускной способности IoT-изделия.

## ВЫБОР ФОРМ-ФАКТОРА IoT-УСТРОЙСТВА

Поскольку конструкция IoT-устройства может быть довольно сложной, программное обеспечение, сетевые компоненты и печатные платы обрабатываются на прототипе. Основным требованием для продуктов массового потребления, в частности IoT-устройств с интерфейсом пользователя, является форм-фактор. Если фитнес-трекер не легкий, не удобный или не стильный, если умные часы слишком громоздки, если дверной замок с возможностями IoT не эстетичен, такие продукты вряд ли будут востребованы рынком.

IoT-устройства обычно разрабатываются двумя способами. Первый – проведение исследований, проектирование и разработка продукта на основе экспериментального прототипа. Как только

прототип проверен, можно оценить рыночный спрос путем исследования возможности выполнения устройства в удобном для пользователя форм-факторе и соответствия продукта ценовым ориентирам.

Второй путь типичен для солидных компаний. Он начинается с составления требований к физическим параметрам продукта. Например, для носимого IoT-устройства размер и вес определяют форму и внешний вид конечного продукта. Другими словами, неэргономичный и непривлекательный для потребителя продукт не будет востребован на рынке.

## КОМПОНЕНТЫ IoT-УСТРОЙСТВА

Важные этапы проектирования IoT-устройства – исследование и выбор необходимых компонентов. Выбор аналоговых микросхем, ИС смешанного сигнала, ЦАП и АЦП, датчиков, приводов, МЭМС-компонентов и радиомодулей (рис.2) имеет ключевое значение как для функциональных возможностей, так и для стоимости изделия. В IoT-продуктах часто используются миниатюрные компоненты: светодиоды, дисплеи, фото-, видеокамеры, микрофоны и динамики. Кроме того, в этих устройствах обычно применяют элементы физического интерфейса, такие как кнопки, переключатели, сенсорные датчики и зарядные порты.

Устройства IoT могут содержать даже герконовые датчики, сканеры отпечатков пальцев, датчики давления и гибкие датчики. Устройства с интерфейсом пользователя (HID-устройства), например, смартфоны, содержащие батареи с проводной или беспроводной зарядкой, характеризуются низким потреблением и высокой эффективностью. В то же время устройства с поддержкой IoT, которые исторически не были высокотехнологичными, такие как дверные звонки и терморегуляторы, используют для питания существующую электросеть.

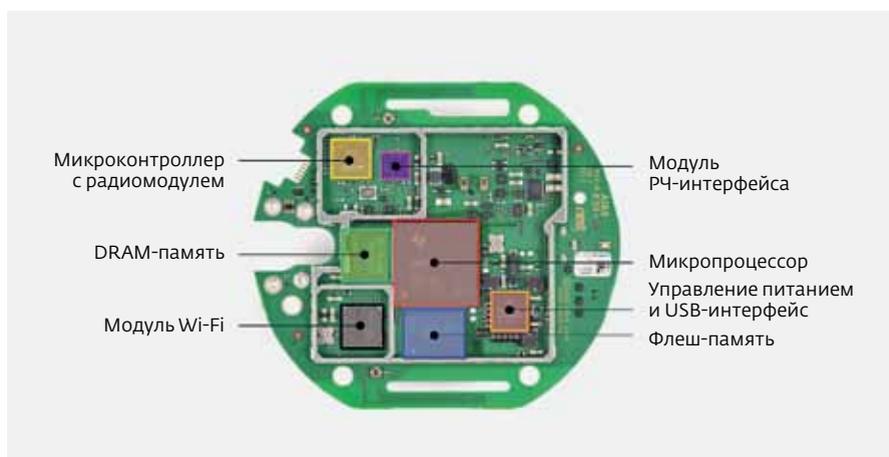


Рис.2. Типовые компоненты IoT-устройства на примере терморегулятора Nest

## ОТОБРАЖЕНИЕ ПРОЕКТА IoT-УСТРОЙСТВА НА ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ СХЕМЕ

Следующий после выбора компонентов и создания библиотеки символов этап проектирования – соединение компонентов на принципиальной схеме. Чтобы обеспечить высокую эффективность и производительность работ при создании схемы в программной среде проектирования, нужно предусмотреть средства управления компонентами для их быстрого поиска. Для достижения заданных характеристик проекта необходимо иметь доступ к инструментам аналогового/смешанного моделирования и предтопологического анализа целостности сигналов непосредственно из среды схемотехнического проектирования (рис.3).

## МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОТЛАДКА СХЕМЫ ДЛЯ IoT-ПРОЕКТА

IoT-устройства содержат аналоговые блоки и схемы смешанного сигнала. Высокие характеристики аналого-цифровых схем достигаются благодаря применению на этапе проектирования моделирования и анализа схем на основе сигнальных моделей (SPICE, VHDL, C) (рис.4). Для обеспечения заданных характеристик и показателей надежности IoT-устройства используют такие виды анализа схем, как анализ по постоянному току, анализ во временной и частотной области, параметрический анализ, анализ чувствительности, исследования методом Монте-Карло и методом наихудших случаев, функциональное моделирование, анализ сценариев и оптимизация схемных компонентов.

Особенность IoT-устройств состоит в том, что обычно они работают в нескольких режимах: ожидания, передачи/приема, активного зондирования, подзарядки и т.д. Поэтому следует проводить функциональную верификацию каждого режима, а также состояний перехода от одного к другому режиму. Чтобы гарантировать соответствие продукта заявленным функциональным требованиям, важную роль играет предтопологическое моделирование, в том числе на транзисторном уровне, и посттопологическая проверка IoT-проекта.

Многие из популярных сегодня IoT-устройств являются компактными и носимыми. Они должны быть небольшими, легкими и чрезвычайно энергоэффективными. Для того чтобы продлить срок службы батарей устройства, потребляемую мощность необходимо регулировать в зависимости от режима работы устройства. Чтобы предотвратить сбой или отказ устройства из-за падения напряжения в критических цепях питания, важно проанализировать целостность питания на стадии разработки топологии. Неожиданное или непредсказуемое поведение схемы также может быть вызвано проблемами с подачей питания. Чтобы обеспечить бесперебойное и качественное питание микросхем, уже на

ранних этапах проектирования важно найти и исправить участки топологии с чрезмерно высокой плотностью тока.

В IoT-продуктах используются современные микропроцессоры, которые обычно соединены с DRAM- или флеш-памятью. Чтобы получить полное представление о работе интерфейса памяти с учетом таких паразитных эффектов в печатных платах, как потери в линиях передачи, отражения, изменения импеданса, влияние переходных отверстий, межсимвольные помехи, перекрестные помехи, временные задержки и т.д., необходимо обеспечить детальное моделирование всех узлов проекта.

Точное соблюдение ограничений при разводке цепей, связанных с памятью, крайне важно для сокращения времени разработки и отладки схем. Благодаря таким возможностям, как расширенное управление ограничениями (рис.5) и расширенные инструменты трассировки DDR-памяти (рис.6), разработчики могут быстро и точно прокладывать высокоскоростные трассы.

## ТОПОЛОГИЯ ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ

Конструкция IoT-изделия, в частности носимого устройства потребительского назначения, обусловлена отвечающим требованиям рынка форм-фактором, который обычно разрабатывается с помощью механических 3D-систем проектирования. Для того чтобы гарантировать соответствие проекта физическим требованиям к создаваемому продукту, необходимо отобразить плату в корпусе в трехмерном (3D) виде перед этапом трассировки или заливкой полигонов. Кроме формы и внешних габаритов платы, следует учитывать и другие факторы, в том числе условия эксплуатации изделия и способность платы гнуться.

Перечислим наиболее важные факторы, учет которых позволяет создать качественную топологию печатной платы, отвечающую всем требованиям для IoT-устройств.

**Размещение компонентов.** После завершения разработки схемы IoT-устройства и импорта контура платы (включая расположение компонентов физического интерфейса, монтажных отверстий, вырезов и т.д.) в редактор топологии необходимо обеспечить быстрое и простое размещение компонентов. Решению задачи помогает двунаправленное перекрестное выделение объектов между схемой и топологией. Возможность размещения компонентов в 2D или 3D в соответствии с проектными ограничениями сокращает время проектирования и позволяет избежать нарушений правил разводки.

**Управление ограничениями.** Интегрированное управление заданными электрическими ограничениями по всему маршруту проектирования дает возможность

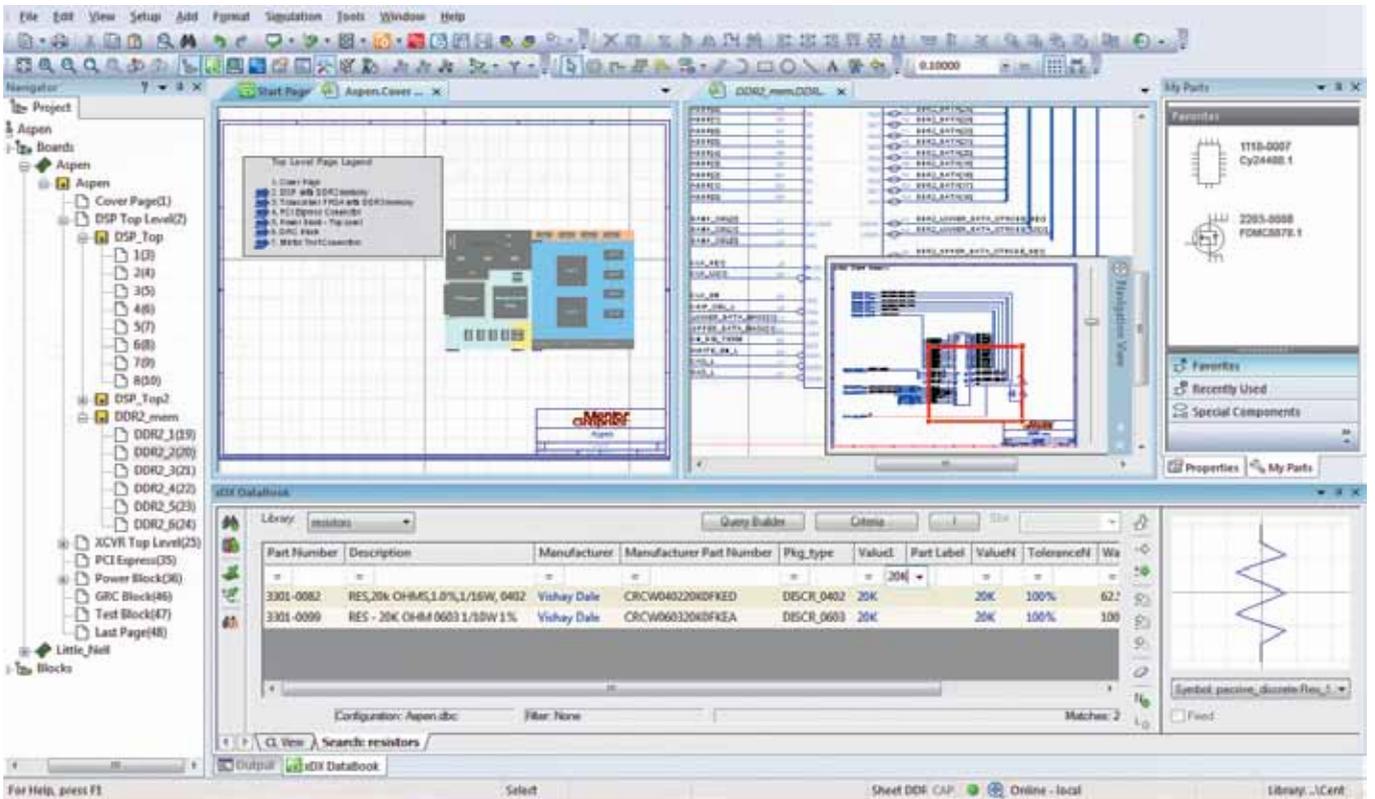


Рис.3. Интегрированная среда разработки электрических схем

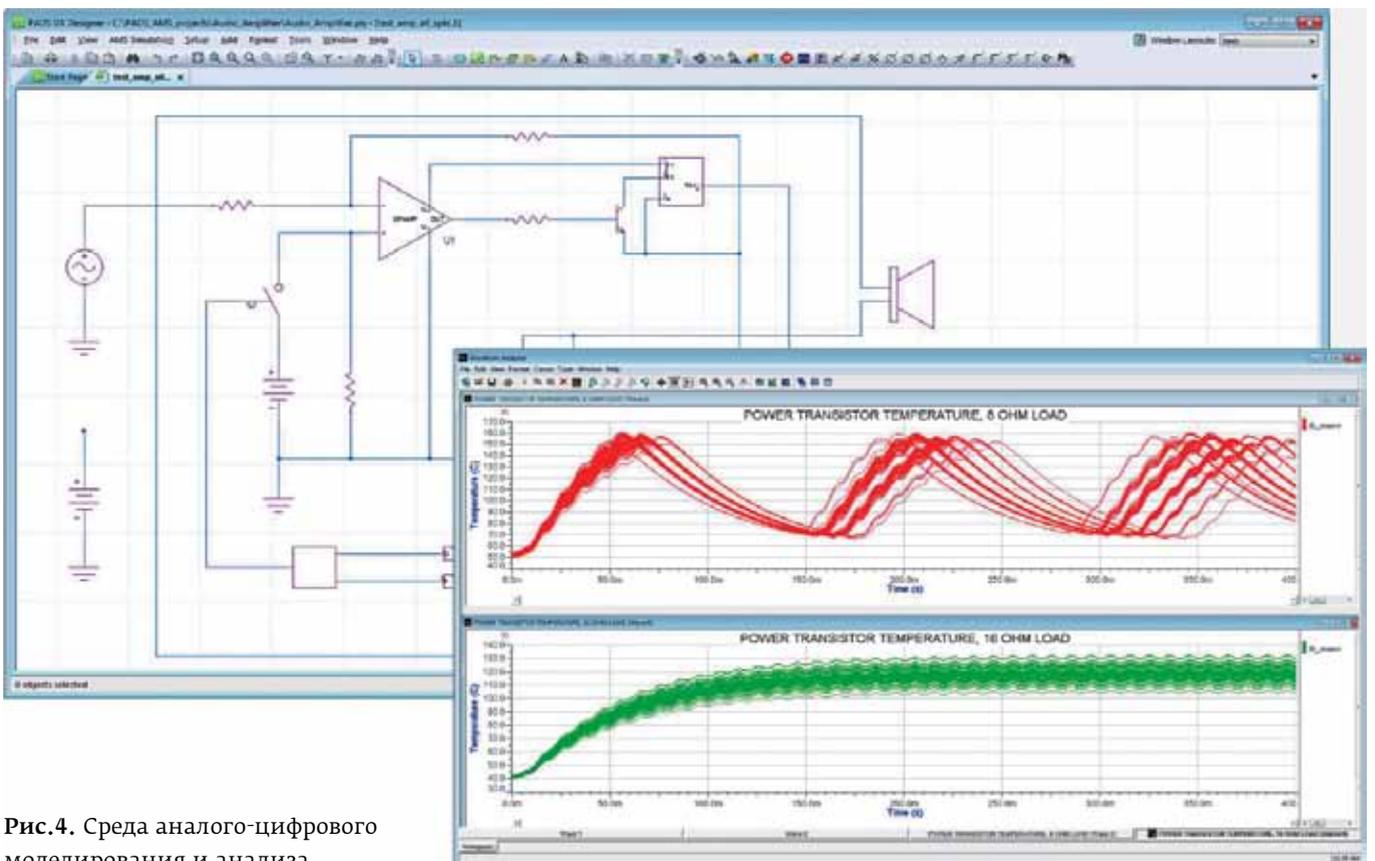


Рис.4. Среда аналого-цифрового моделирования и анализа

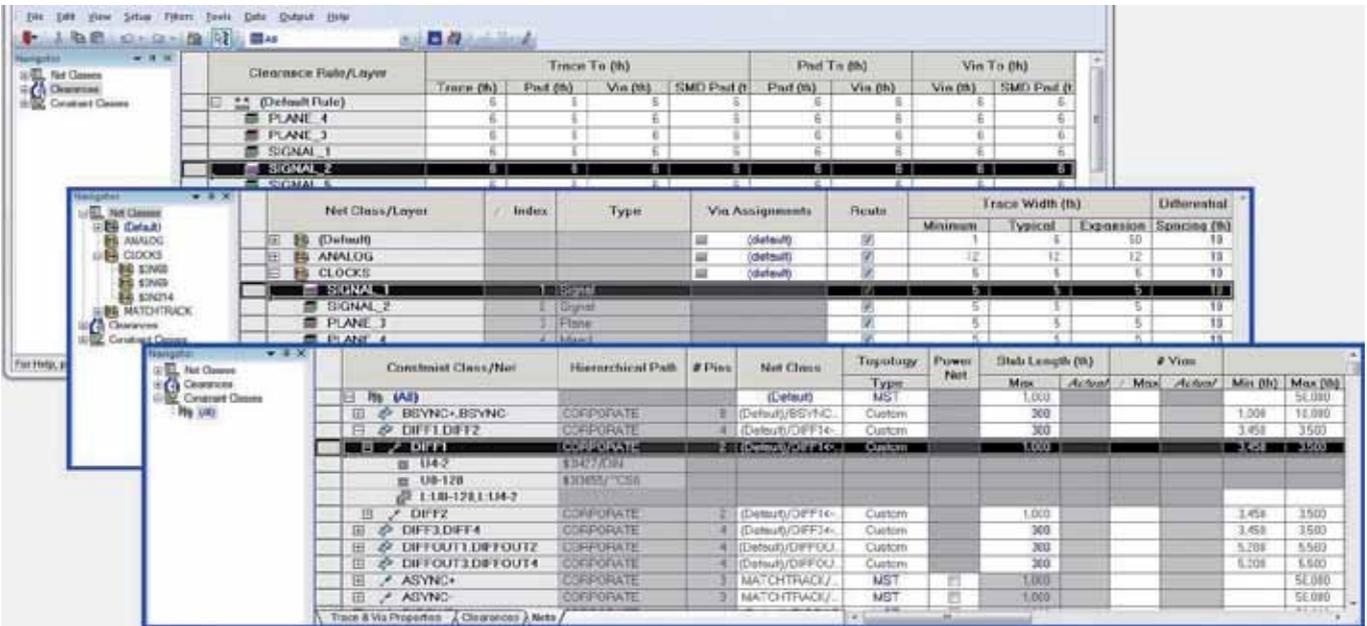


Рис.5. Расширенное управление ограничениями

контролировать классы и группы цепей, задавать пары выводов и многое другое. Использование иерархических правил обеспечивает эффективное управление трассировкой, гарантирует соответствие требованиям к высокоскоростной разводке и позволяет задавать правила для согласования длин проводников, дифференциальных пар, максимальных/минимальных длин проводников и т.д.

**2D/3D-топология.** При разработке IoT-продукта с жесткими ограничениями форм-фактора и сложной процедурой сборки огромное преимущество дает возможность создания топологии платы и исследования конструкции в среде разработки с детализированным 3D-представлением. Правильную компоновку топологии платы гарантирует фотореалистичная 3D-визуализация в процессе размещения компонентов и динамической

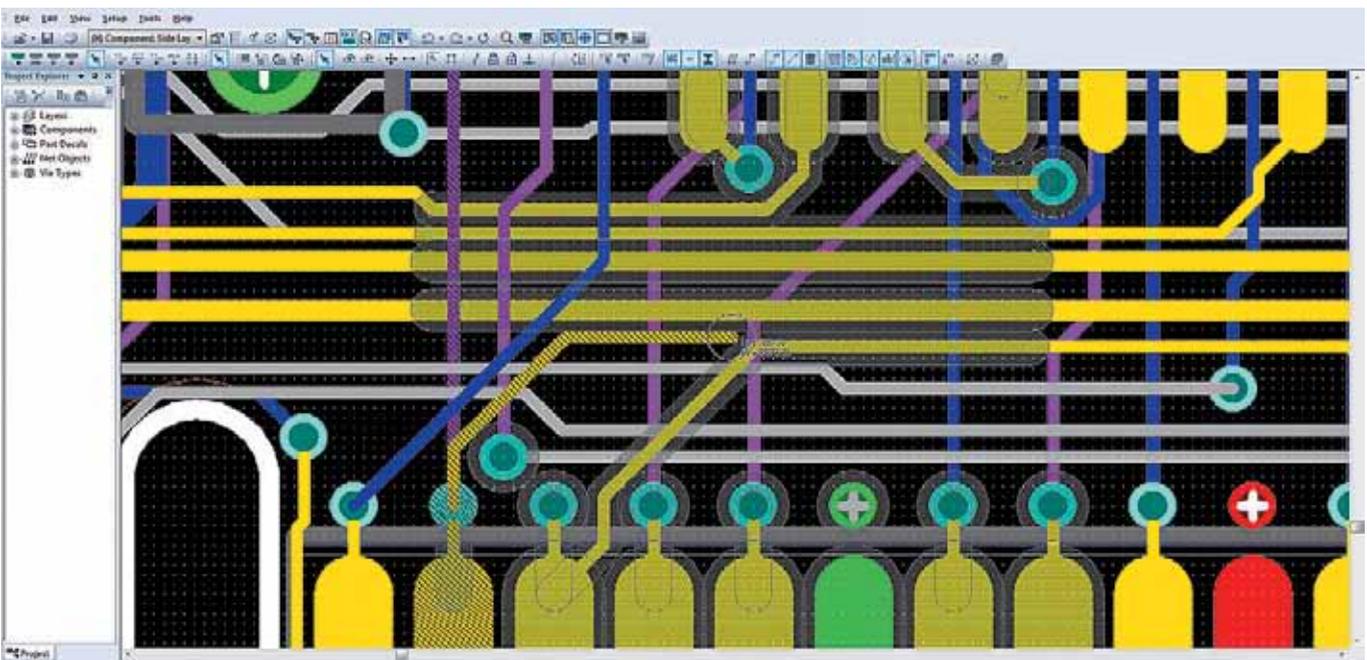


Рис.6. Интерактивная трассировка на основе ограничений

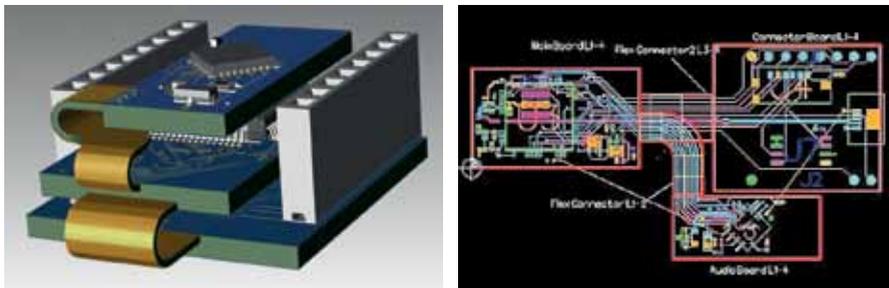


Рис.7. Гибко-жесткая конструкция в 3D- и 2D-средах разработки

проверки правил проектирования (DRC). Точные STEP-модели компонентов обеспечивают визуальное представление конечного продукта, что гарантирует соответствие посадочных мест и зазоров компонентов техническим требованиям. Кроме того, возможность импорта корпуса IoT-продукта в трехмерном виде дает разработчику фотореалистичное представление об окончательной сборке и тем самым помогает предотвратить возможные нестыковки в конструкции.

**Гибко-жесткие платы в IoT-проектах.** Гибкие и гибко-жесткие печатные платы (рис.7) применяются во всех видах электронных изделий, в частности в IoT-устройствах. 3D-верификация проектов с использованием гибко-жестких плат позволяет разработчику

убедиться, что изгибы находятся в правильном положении, а компоненты не мешают изгибам. Для таких проектов особенно важно обеспечить контроль гибких шлейфов, размещение компонентов и трассировку на гибких слоях, заливку полигонов и т.д. Имея возможность визуализировать IoT-проекты с гибко-жесткими платами на ранних этапах и на протяжении всего маршрута проектирования, можно

избежать риска дорогостоящего повторного проектирования. Кроме того, возможность экспорта гибко-жесткой конструкции в виде 3D-модели в механические САПР способствует эффективному двустороннему взаимодействию электрических и механических САПР для устранения возможных проблем при производстве (DFM) и сборке (DFMA) изделия.

**Тестирование IoT-проектов.** IoT-продукты являются маломощными изделиями и требуют тестовых платформ, которые можно быстро адаптировать к новым технологиям. Выделяют четыре ключевых параметра при тестировании беспроводных IoT-устройств: радиус действия, время автономной работы, совместимость и время отклика. Для устройств, использующих

Нужна уверенность, что спроектированная ПЛАТА будет работать?

**HyperLynx**  
для создания ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ, которые работают правильно

Техническая поддержка Обучение Дизайн-проекты  
Тел.: +7 (495) 943-50-32, www.orkada.ru

**оркада**  
ОФИЦИАЛЬНЫЙ ПОСТАВЩИК MENTOR GRAPHICS НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ

технологии Bluetooth, например, характерна меньшая дальность действия, чем для Wi-Fi-устройств. Для IoT-устройств с питанием от батареи необходимо измерять энергопотребление в реалистичных сценариях, чтобы гарантировать требуемое время автономной работы в различных режимах.

## ПРОИЗВОДСТВО И СБОРКА IoT-УСТРОЙСТВ

IoT-устройства следует разрабатывать с учетом требований к производству и сборке, которые необходимо принимать во внимание на протяжении всего процесса проектирования. Проектирование с учетом требований к испытаниям (Design for Test – DFT) обеспечивает возможность тестирования устройства путем выявления коротких замыканий и других производственных дефектов. Аналогичным образом проектирование с учетом требований к производству и сборке (Design for Manufacturability and Assembly – DFMA) может выявлять такие проблемы, как наличие островков фоторезиста и ошибочно вскрытых в паяльной маске медных участков топологии, с тем чтобы можно было их устранить до передачи платы в производство.

Создание IoT-устройств – сложный процесс, поэтому экономия затрат на каждом этапе производства, независимо от того, идет речь о небольшой партии изделий или массовом производстве, может влиять на итоговую прибыль. Работа с инструментом проектирования топологии,

который поддерживает такие производственные функции, как анализ DFMA, панелизация и обмен данными в формате ODB++, помогает избежать проблем, которые могут увеличить затраты, снизить выход годных, задержать выполнение производственных операций или потребовать их повторного выполнения.

\* \* \*

IoT-устройства разрабатываются для нужд все большего числа отраслей электроники, включая потребительскую, автомобильную, медицинскую, промышленную, военную и т.д. Поэтому моделирование сигналов и цепей питания должно стать частью методологии проектирования и анализа IoT-продуктов. Взрывное развитие IoT-технологии за последнее десятилетие и ожидаемый дальнейший рост продаж устройств с поддержкой IoT повышают значение таких факторов разработки востребованных продуктов, как время вывода изделия на рынок, ускоренное создание прототипа и проектирование изделия с учетом требований массового производства.

Платформа создания продуктов PADS предназначена непосредственно для решения технологических задач проектирования IoT-устройств не только сегодняшнего, но и завтрашнего дня. Интегрированная среда разработки Xpedition с поддержкой гибко-жестких плат отличается полным набором инструментов для ускоренного создания самых сложных IoT-устройств. ●

## КНИГИ ИЗДАТЕЛЬСТВА "ТЕХНОСФЕРА"



Цена 517 руб.

### УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИМ УРОВНЕМ ВЫСОКОИНТЕГРИРОВАННЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ (НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ И АСПЕКТЫ РАЗВИТИЯ)

А.С. Комаров, Д.В. Крапухин, Е.И. Шульгин

При поддержке ИСВЧПЭ РАН

Под ред. д.т.н., проф. П.П. Мальцева

В монографии представлены результаты исследований и разработок по реализации "Основ политики Российской Федерации в области развития электронной компонентной базы на период до 2010 г. и дальнейшую перспективу", утвержденных Президентом Российской Федерации.

Сформулированы основные принципы и методы управления техническим уровнем при реализации системной организации по проектированию, моделированию и технологическому обеспечению изготовления СБИС типа "система на кристалле", разработана концепция построения инфраструктуры сквозного проектирования сложно-функциональных СБИС от системного уровня до топологии кристалла, выбора технологического базиса для изготовления СБИС с учетом обеспечения специальных требований по радиационной стойкости, организации процесса изготовления фотошаблонов и микросхем, последующего их тестирования, сборки, испытаний и применения.

М.: ТЕХНОСФЕРА,  
2014. — 240 с.,  
ISBN 978-5-94836-397-4

### КАК ЗАКАЗАТЬ НАШИ КНИГИ?

✉ 125319, Москва, а/я 91; ☎ +7 495 234-0110; 📠 +7 495 956-3346; ✉ knigi@technosphera.ru, sales@technosphera.ru