

# Применение командного подхода к анализу системы питания на ПП

Брэд Брим, Cadence Design Systems

Перевод: Антон Супонин

Для того чтобы система питания правильно работала на печатной плате (ПП), требуется участие команды инженеров, обладающих знаниями в разных областях проектирования электронных устройств. Обычно эксперт по проектированию системы питания приступает к работе с уже законченным устройством, не принимая непосредственного участия в его разработке. Такая организация работы не всегда является оптимальной. В данной статье рассматривается иной, коллективный подход к проектированию системы питания, который позволяет более эффективно использовать имеющиеся ресурсы и оперативно устранять выявляемые ошибки ещё в ходе проектирования.

## ВВЕДЕНИЕ

Обычно инженеры-разработчики принимают участие в проектировании устройств лишь на определённых этапах. При таком подходе типична ситуация, когда инженер-схемотехник и инженер-трассировщик работают на разных стадиях реализации проекта, взаимодействуя друг с другом лишь эпизодически. Причём проверка результатов работы осуществляется постфактум.

При коллективном подходе в разработке участвует ещё один инженер, который отвечает за систему питания в целом. Он несёт ответственность за весь проект и вступает в игру на самых ранних стадиях проектирования для того, чтобы направлять остальных членов команды. В данной статье мы рассмотрим эффективный и популярный в настоящее время командный подход к проектированию системы питания, который позволяет добиться хороших результатов в минимальные сроки. При таком подходе действия разработчиков могут быть быстро скорректированы в нужном направлении, согласно промежуточным результатам анализа.

## Традиционный метод анализа целостности системы питания

Существует две совершенно различных области, определяющих целостность системы питания на ПП – питание по постоянному току и по переменному току. Целостность системы питания по постоянному току означает, что каждый потребитель на ПП

получает необходимый уровень питающего напряжения, установленный в техническом задании (ТЗ). Для того чтобы гарантировать, что все условия ТЗ по постоянному току соблюдаются, часто используют анализ IR Drop (анализ падения напряжений). Этот метод позволяет гарантированно подтвердить, что плотность тока в полигонах питания не превышает критических значений, а конфигурация и число переходных отверстий достаточны для тока, текущего по полигонам. Также гарантируется, что значения температуры в подложке платы и в металле не превышают указанных в ТЗ величин. Целостность системы питания по переменному току – это способность системы питания надёжно проводить переменный ток от источника до потребителя во всём диапазоне частот, на которых работает устройство. Система питания по переменному току включает в себя не только полигоны, но и фильтрующие конденсаторы. Нестабильность питания неизбежно вносит свой вклад в искажения передаваемых по плате сигналов. Вносимые системой питания искажения приводят к снижению напряжения питания в районе потребителя. Кроме того, существует и другой источник искажений – высокочастотные шумы по переменному току.

Долгое время инженеры были вынуждены аппроксимировать систему питания к резистивной модели для проведения анализа целостности питания по постоянному току. Теперь, когда доступны большие вычислительные

мощности, можно наблюдать бурное развитие конкурирующих между собой систем численного анализа, моделирующих ПП по постоянному току с учётом всех неоднородностей трассировки системы питания. В расчётах становится всё меньше допущений и упрощений, соответственно возрастает и точность результатов. Полная автоматизация симуляции проектов и автоматическая генерация отчётов делают анализ ПП коммерчески выгодным. В настоящее время анализ целостности системы питания по постоянному току на ПП является обязательным условием для всех производителей электронного оборудования.

Токопроводящие свойства металлов зависят от температуры, и падение напряжения на потребителе описывается нелинейными функциями от температуры. Результаты анализа по постоянному току могут отличаться более чем на 20% в зависимости от того, принимается ли во внимание влияние температуры или нет. Существует способ корректно рассчитать падение напряжения питания на ПП по постоянному току в предположении, что критический уровень шумов не превышен. Этот способ заключается в применении программных средств анализа платы, которые могут одновременно выполнять электрическое и термическое моделирование. На первом этапе программа выполняет линейный электрический анализ при заданной начальной температуре окружающей среды. Подсчитывается потеря энергии при начальной заданной температуре окружающей среды, и затем это значение используется для выполнения линейного термического анализа. Поскольку вся потерянная при передаче энергия выделяется в тепло, необходимо скорректировать расчёты. На следующем этапе, используя данные термического анализа, программа рассчитывает новое электрическое состояние системы при температуре, с учётом выделяемого тепла. Таким образом, мы получаем несколько циклов вычислений,

результаты которых образуют быстро сходящуюся к одному числу последовательность. Число, к которому стремятся результаты вычислений от итерации к итерации, и есть искомое значение падения напряжения.

Анализ целостности системы питания на ППП по переменному току главным образом сводится к определению петлевых индуктивностей в определённом диапазоне частот. Учитывается влияние развязывающих конденсаторов, ёмкостная связь между полигонами земли и питания. Процессы, происходящие в плате в определённом частотном диапазоне (резонансы, взаимодействия между площадками и плоскостями и т.п.), охватывают всю плату целиком. По этой причине для полномасштабного анализа требуются значительные вычислительные мощности и более сложные методы расчётов. Для симуляции ППП по переменному току применяется комбинация теоретических методов анализа электрических цепей и методов электромагнитного анализа. При помощи программы Cadence Sigrity PowerSI™ можно получить S-параметры линии передачи для заданного диапазона частот. Эти же методы используются и при временном анализе, позволяющем напрямую получать формы сигналов с помощью программы Cadence Sigrity Speed2000™. Имея в своём распоряжении Cadence Sigrity PowerSI™ и Cadence Sigrity Speed2000™, инженер может за пару десятков минут корректно смоделировать всю систему питания на ППП в интересующем его диапазоне частот. При этом для проведения расчётов будет достаточно компьютера средней производительности.

Временной анализ, на первый взгляд, может показаться более удобным, чем частотный, поскольку позволяет получить форму шумовых сигналов. Однако в реальности этот метод применяется не так часто, как частотный. Ориентировочные профили импедансов служат ограничивающими факторами при анализе целостности системы питания. Чем ниже импеданс, тем ниже переходные помехи. При отсутствии данных по импедансам, их оценка может быть произведена с использованием значений пульсаций напряжения и переменного тока переключения, указанных в спецификации. На рисунке 1 показано сравнение результатов частотного и временного анализа, выполненное в программе Cadence Sigrity OptimizePI™.

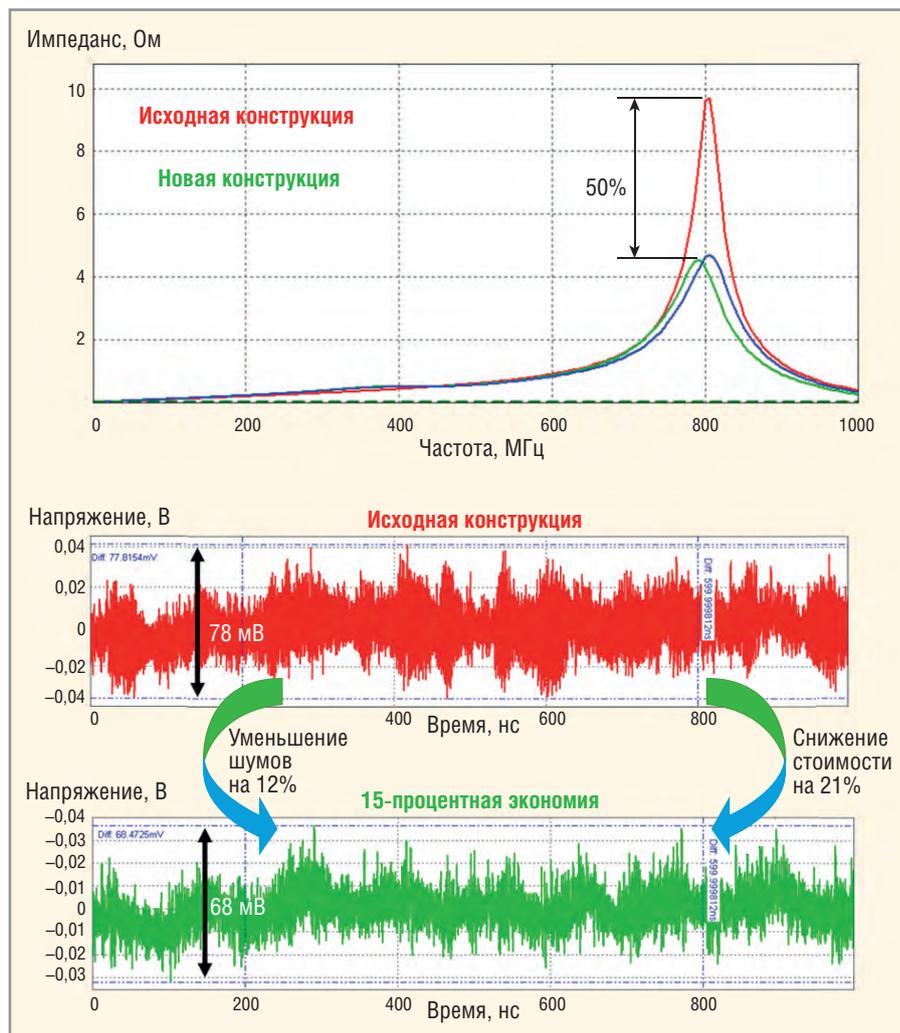


Рис. 1. Профиль импеданса и шумов, вносимые системой питания, до и после проведения оптимизации номиналов развязывающих конденсаторов на модуле DIMM

В приведённом примере удалось значительно понизить скачок импеданса системы питания на ППП в районе 800 МГц путём установки дополнительных развязывающих конденсаторов на DIMM-модуле. Это позволило уменьшить шумы, вносимые системой питания, на 12%. Кроме того, плата с новым набором конденсаторов оказалась более простой в изготовлении и на 21% дешевле, чем оригинальный вариант.

### ПРИМЕНЕНИЕ КОМАНДНОГО МЕТОДА РАБОТЫ ДЛЯ АНАЛИЗА ЦЕЛОСТНОСТИ СИСТЕМЫ ПИТАНИЯ

Обычно специалисты по проектированию систем питания проводят предварительный выбор номиналов развязывающих конденсаторов и первичный анализ падения напряжения ещё до выполнения разводки ППП. Работая в команде, специалисты могут более рационально использовать свои рабочие ресурсы и добиваться более высо-

ких результатов. Оптимальная команда проектировщиков системы питания должна состоять из трёх человек: схемотехник, трассировщик и специалист по целостности системы питания. Схемотехник приступает к работе на стадии разработки схемы ППП, с помощью программы Power Feasibility Editor выбирает номиналы развязывающих конденсаторов и определяет необходимые требования к системе питания. Трассировщик планирует размещение элементов на ППП и выполняет анализ ППП. Специалист по целостности системы питания может приступать к работе на любом этапе. Он выполняет моделирование системы питания ППП по постоянному и переменному току, координирует действия других членов команды, иницируя, в случае необходимости, дополнительную оптимизацию развязывающих конденсаторов и перетрассировку ППП.

Сегодня на рынке присутствуют программы, специально разработанные

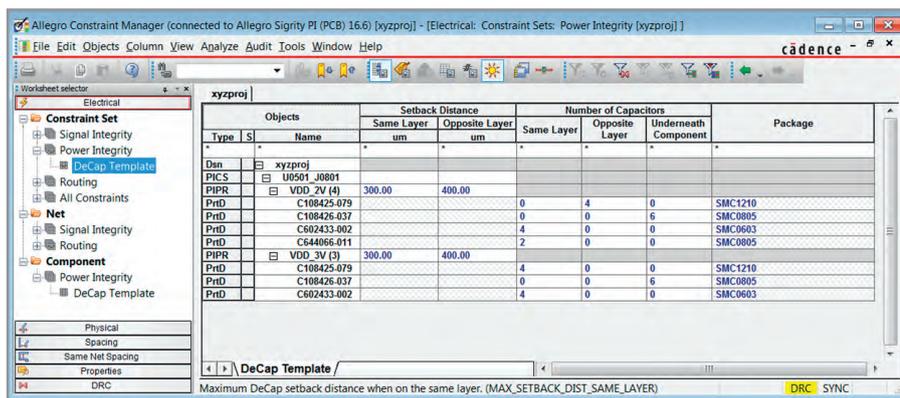


Рис. 2. Набор параметров PI Cset

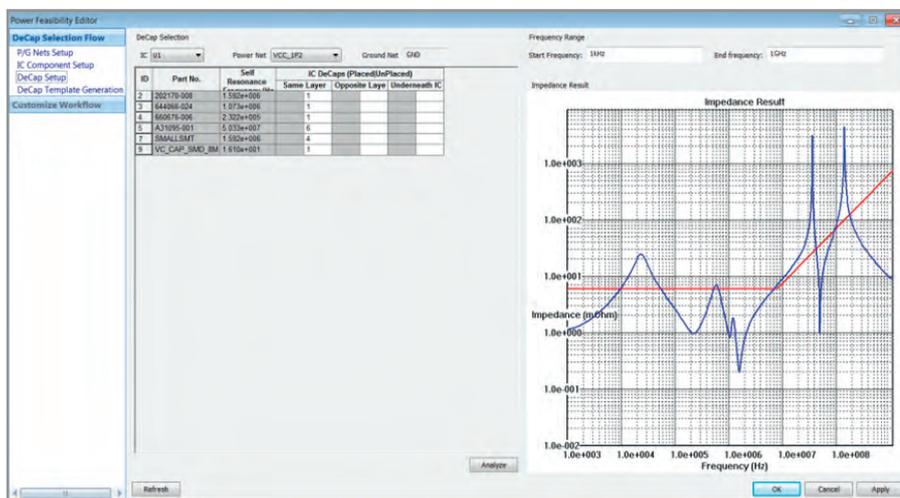


Рис. 3. Окно программы Power Feasibility Editor

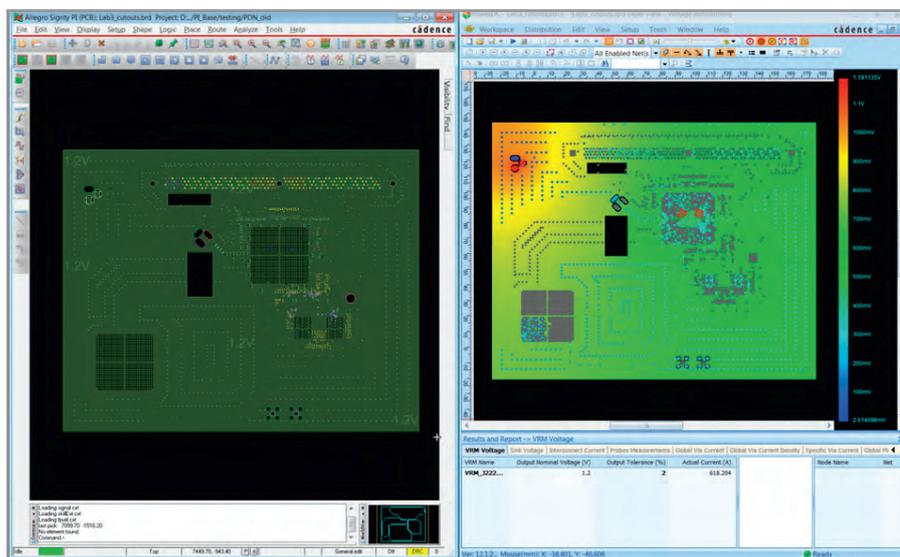


Рис. 4. Две области экрана пользователя: слева – вид на плату в PCB Editor, справа – результаты анализа в Power DC

ные для реализации командного метода проектирования систем питания на ПП. Cadence Allegro® Sigrity PI – это первое решение для комплексного подхода к проектированию питания на ПП и в корпусах интегральных схем. Программа Cadence Allegro® Sigrity PI отличается от остальных решений спо-

собом использования существующих алгоритмов анализа и тем, как могут быть применены результаты этого анализа. Кроме того, в данном инструменте реализованы различные полезные функции, напрямую не связанные с анализом системы питания. В результате схемотехник и трассировщик

могут гораздо более эффективно работать над питанием ПП на ранних стадиях проектирования. Возможности DC- и AC-анализа, описанные ранее, доступны при наличии опции Power Integrity Signoff и модуля оптимизации.

Традиционно схемотехник является специалистом, который составляет начальный вариант списка необходимых материалов и элементов, проверяет соответствие разрабатываемой ПП принципиальной схеме и рассчитывает режимы работы устройства по постоянному току. Однако для того, чтобы обеспечить работу устройства по переменному току, схемотехник должен дополнить схему развязывающими конденсаторами. Многие производители электронных компонентов предоставляют указания по установке развязывающих конденсаторов, однако есть и те, которые подобной информации не приводят. Даже имея базовые рекомендации на все применяемые компоненты, схемотехник не может учесть все взаимодействия между ними, выбрать правильное положение элементов друг относительно друга как на схеме, так и на плате. Человек не может оптимальным образом решить такую комплексную задачу, как проектирование сложного современного электронного устройства. До недавнего времени не существовало и механизма управления расстановкой элементов на ПП таким образом, чтобы она была оптимальна для конечного применения.

При использовании параметрически-ориентированных методов проектирования инженеры получают единый интерфейс, который предоставляет информацию по всему проекту и автоматизирует широкий спектр задач на всех стадиях проектирования. Наборы параметров, описывающие целостность системы питания (PI Constraint Set, или PI Csets), добавляются в проект для того, чтобы хранить всю необходимую информацию на уровне отдельных компонентов. Схемотехник может применить наборы этих параметров для того, чтобы быстро и полно определить критерии целостности системы питания изделия. Наборы параметров PI Csets также автоматизируют включение электронных компонентов в смету изделия.

На рисунке 2 приведён пример набора параметров PI Cset в Cadence Allegro® Sigrity PI. Этот набор содержит информацию по каждой шине питания, вклю-

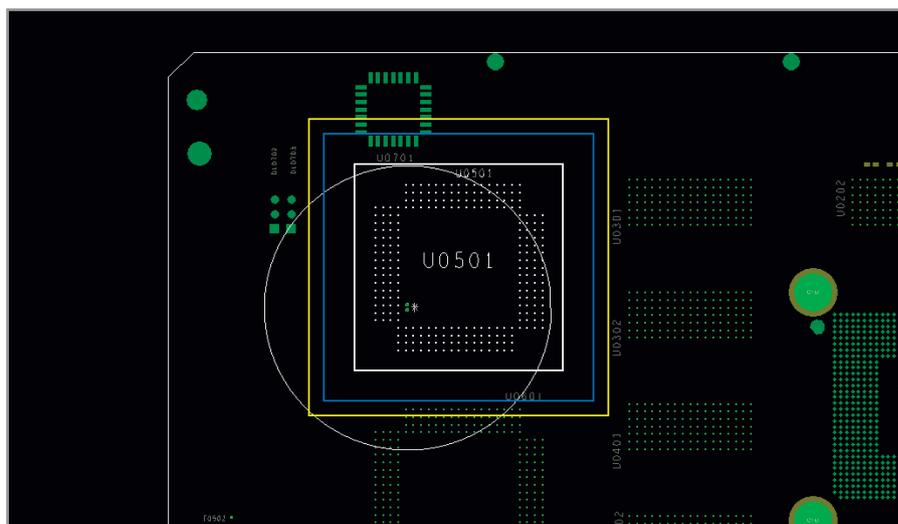
чая развязывающие конденсаторы, их количество, тип корпуса и рекомендации по месту установки на ПП.

Набор констант PI Cset можно создать автоматически при помощи Power Feasibility Editor (см. рис. 3). Программа позволяет определять правила для типов и номиналов развязывающих конденсаторов, а также их расположения на плате. Помимо управления расстановкой PI Cset предоставляет доступ к модулю трассировки и данным по принадлежности конденсаторов к шинам питания. Это помогает инженеру выполнять наиболее оптимальную начальную расстановку конденсаторов развязки.

С помощью этого инструмента можно производить приблизительный или полный анализ расстановки развязывающих конденсаторов до стадии трассировки платы. В Power Feasibility Editor реализованы подробные спецификации электронных компонентов, позволяющие вычислять ориентировочные профили импедансов в тех случаях, когда производитель их не предоставляет.

В отличие от схемотехников, инженеры-трассировщики решают проблемы, связанные с постоянным током. Трассировщики управляют расположением и количеством связывающих слоев переходных отверстий, а также конфигурацией и формой питающих полигонов. Эти элементы ПП влияют на падение напряжения по постоянному току и на плотность тока в узких местах. Трассировщики могут интуитивно проводить оценку ПП по указанным параметрам, основываясь на личном опыте, и корректировать свои действия в ходе работы. Программа Allegro® Sigrity PI предоставляет удобные механизмы управления рабочей средой трассировщика, позволяет задавать и отображать падения напряжения, а также визуализирует данные по плотности тока. Это позволяет очень быстро проводить изменения в трассировке и тут же симулировать новую разводку повторно для анализа внесённых изменений.

В процессе работы экран пользователя разделён на две области (см. рис. 4). Трассировщики могут внести изменения в проект ПП. Эти изменения автоматически отразятся в окне Power DC, после чего сразу возможно провести повторную симуляцию проекта. Таким образом, начальная версия трассировки может быть быстро создана и протестирована ещё до того момента, как



**Рис. 5. Окно PCB Editor, показывающее процесс расстановки конденсаторов для ИС U0501**

Примечания: белый квадрат – область расстановки конденсаторов на верхнем слое; синий квадрат – область расстановки конденсаторов на нижнем слое; белый круг – область эффективной установки конденсатора

подключится эксперт по целостности питания. Разделение экрана может быть использовано для вывода детализированных отчётов, сформированных экспертом по целостности систем питания.

Работоспособность системы питания зависит от расстановки развязывающих конденсаторов, выполненной трассировщиком. Конденсаторы, которые установлены ближе всего к потребителю, оказывают наибольшее влияние на качество системы питания. Однако переходные отверстия, связывающие конденсаторы с землёй и фильтруемым напряжением, негативно влияют на трассировку сигнальных линий из-за сокращения доступного места. Конденсаторы, установленные слишком далеко, будут неэффективны. Описываемые методы проектирования предоставляют пользователю рекомендации по расстановке конденсаторов. Вся информация, необходимая для создания хорошей расстановки, хранится в наборах правил PI Cset.

Режим расстановки конденсаторов (см. рис. 5) предназначен для облегчения работы трассировщика. Специалист выбирает интересующий его компонент, напряжение питания и расставляет конденсаторы, кликая мышкой вблизи выбранного элемента. Выбранный элемент подсвечивается, и в окне будет отображено три области: область установки конденсаторов на верхнем слое, область установки на нижнем слое и радиус эффективной установки конденсатора. Две первые области берутся из данных, находящихся в PI

Cset. Эффективный радиус установки – это область, в которой конденсатор ещё будет надёжно выполнять свою функцию. Размер эффективного радиуса зависит от конфигурации слоёв на ПП, месторасположения конденсатора и его номинала. Радиус динамически пересчитывается по мере перемещения конденсатора над доступной установочной площадкой.

Наборы PI Csets динамически обновляют информацию о месте установки развязывающих конденсаторов, их количестве и номиналах. Все изменения, внесённые на любой стадии проектирования, мгновенно отражаются на схемах, в наборах параметров и сметах.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Существующие инструменты проведения анализа целостности питания ПП предлагают широкие возможности инженерам при проектировании электронных устройств. Однако они становятся ещё более эффективными, если применять параметрически-ориентированный подход в коллективной работе. В этом случае каждый участник может эффективно решать поставленные перед ним задачи, а также передавать информацию другим участникам цикла разработки. Лёгкость обмена данными в единой среде проектирования позволяет эксперту по целостности системы питания подключаться к работе на самых ранних этапах, и, используя свои инструменты анализа, оказывать необходимое влияние на ход разработки.

