

Как работает моделирование электрических схем печатных плат?

По материалам компании Sierra Circuits
Перевод: Сергей Шихов,
sergey@acon.ru

Что такое моделирование электрических схем?

Моделирование схем – это процесс проверки и подтверждения функциональности электрических/электронных схем печатных плат перед их производством. Этот метод используется в широком спектре приложений, начиная с микроэлектроники и интегральных схем и заканчивая силовой электроникой и энергораспределительными сетями. Моделирование выполняется как на линейных, так и нелинейных цепях в зависимости от требований проекта.

Моделирование схем включает:

- математическое моделирование элементов и устройств схемы;
- формулировку уравнений схемы/сети;
- методы решения этих уравнений.

Линейные и нелинейные цепи

Линейная цепь – это цепь, в которой протекающий через нее ток прямо пропорционален напряжению цепи. Соотношение между током и напряжением в линейной цепи показано на рис. 1.

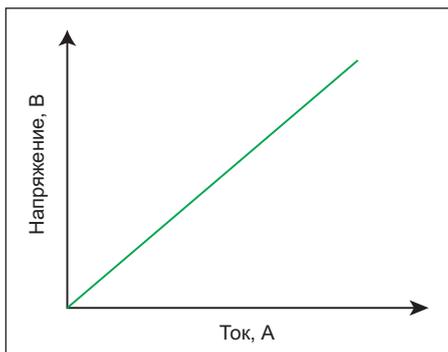


Рис. 1. График зависимости напряжения от тока для линейной цепи

Чтобы создать надежную печатную плату, необходимо учитывать множество разных параметров. В этой публикации на основе [1] описывается процедура моделирования электрической схемы, которая позволяет просчитать динамическое поведение разработанной электрической схемы. Благодаря этому моделированию гарантируется технологичность и эффективность созданной конструкции.

Нелинейная цепь – это цепь, в которой протекающий по ней ток не прямо пропорционален напряжению в цепи, в результате чего график зависимости напряжения от тока выглядит как кривая (рис. 2).

Моделирование цепи

Моделирование – это проектирование схемы с использованием программы схемотехнического редактирования с последующей проверкой. В ходе проверки на работу схемы оказывают воздействие постоянные или изменяющиеся входные данные, а полученные результирующие выходные сигналы регистрируются и анализируются.

Создаваемые во время процедуры модели предназначены для имитации поведения компонентов схемы в заданных условиях с целью получения выходных сигналов идентичных тем, что формировались бы при фактическом функционировании платы.

Модель устройства

Модель – это, по сути, аналитическое представление, полученное с помощью теорети-

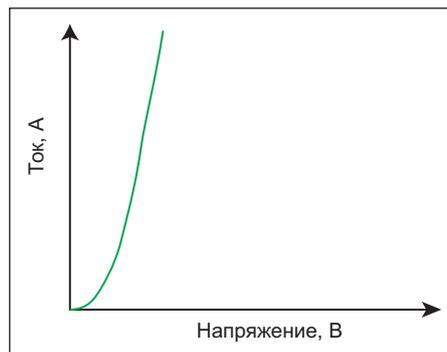


Рис. 2. График зависимости напряжения от тока для нелинейных цепей

ческих и экспериментальных исследований. Переменные и константы, составляющие это аналитическое представление, называются параметрами модели. Кроме того, принимаются во внимание и параметры устройств, которые используются для воспроизведения реальных характеристик компонента на симуляторе.

Модель IBIS

IBIS (спецификация, описывающая входные и выходные буферы интегральных схем) – это поведенческая модель, которая детализирует электрические характеристики цифровых входов и выходов устройства. Для анализа используются данные V/I (напряжение в зависимости от тока) и V/T (напряжение в зависимости от времени), позволяя описывать параметры без выдачи лишней производственной информации. Модель IBIS предназначена для анализа целостности сигналов на системных платах.

Типы моделирования

В этой статье описано моделирование аналоговых цепей. Ниже рассматриваются модели нескольких типов.

Аналоговое моделирование

Для получения точных выходных сигналов, соответствующих входным, в процессе моделирования аналоговой схемы используются детальные модели электронной схемы.



Рис. 3. Процесс моделирования схемы

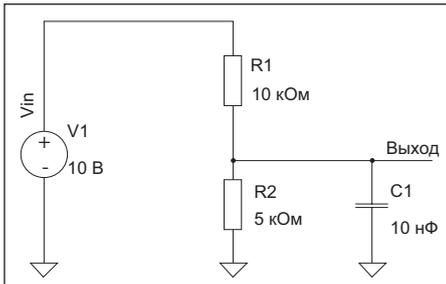


Рис. 4. Схема делителя напряжения с входом постоянного тока



Рис. 5. Анализ переходных процессов в схеме с использованием источника постоянного напряжения

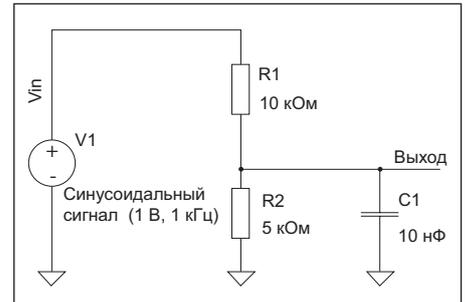


Рис. 6. Схема делителя напряжения с синусоидальным входом

Моделирование, как пояснялось ранее, выполняется для линейных и нелинейных цепей и осуществляется в следующих режимах:

- AC (frequency domain) – анализ в частотной области;
- DC (non-linear quiescent) – анализ нелинейных цепей на постоянном токе;
- Transient (time-domain) – анализ во временной области.

Аналоговые модели используют алгоритмы для анализа поведения схемы в разных режимах. Такие алгоритмы применяют матричные методы решений для прогнозирования работоспособности схемы. В аналоговом моделировании распространение сигналов описывается непрерывно изменяющимися значениями.

Цифровое моделирование

Моделирование цифровых схем включает в себя анализ поведения схем, которые генерируются с помощью языка описания оборудования (HDL). В этом методе, в отличие от аналогового моделирования, описываются дискретные значения напряжения, в основном логический 0 и логическая 1. При таком распространении сигнала метод использует разную точность для разных значений задержки на время распространения сигнала; при этом затрагиваются все логические уровни. Данный метод позволяет моделировать гораздо более крупные схемы за меньшее время и за счет меньших вычислительных ресурсов по сравнению с аналоговым моделированием.

Моделирование смешанных сигналов

Данный подход объединяет методы аналогового и цифрового моделирования. В этом

случае схема делится на две отдельные системы (аналоговую и цифровую), после чего в каждом ее сегменте проводится соответствующий анализ. Цифровое моделирование управляется событиями, тогда как аналоговые сигналы остаются такими, какие они есть.

Типы анализа схем

При моделировании для получения полной информации о схеме применяются разные типы анализа.

Анализ переходных процессов

Анализ переходных процессов относится к анализу цепи в период ее перехода от одного устойчивого состояния к другому. Электрические цепи подвергаются быстрым изменениям при размыкании или замыкании переключателей, при внезапном измене-

нии источника и т.д. Когда происходит такое изменение, цепь, которая находилась в определенном устойчивом состоянии, перейдет в другое устойчивое состояние. Время между двумя устойчивыми состояниями называется переходным периодом. Анализ переходных процессов используется для изучения того, как изменятся ток и напряжение в течение переходного периода.

Анализ характеристической функции

Передающая функция электронной схемы – математическая функция, которая используется для теоретического моделирования выходного сигнала устройства для каждого возможного входного сигнала. Функцию можно представить в виде графика (передаточной кривой), отражающего зависимость выходного сигнала от входного. После получения кривой осуществляется ее анализ.

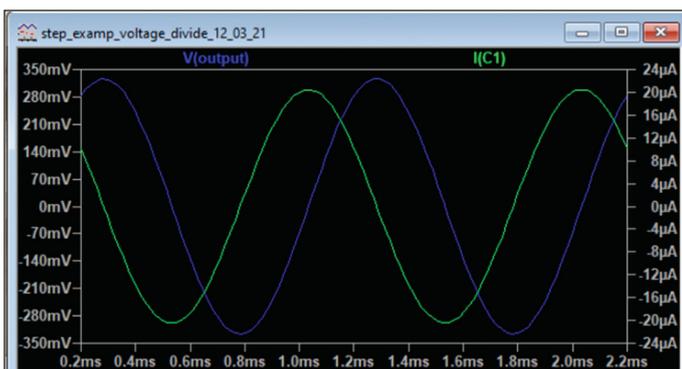


Рис. 8. Отставание конденсатора C1 по фазе

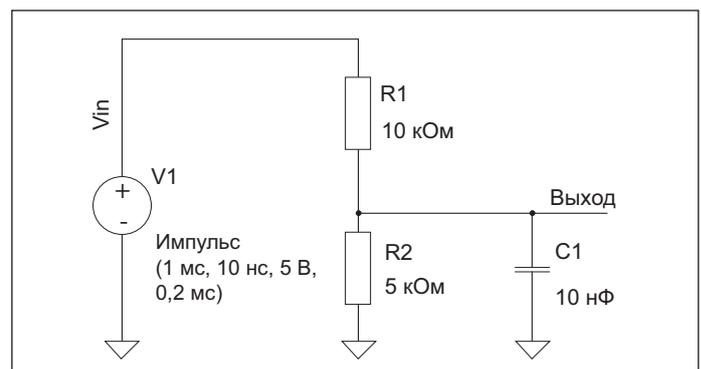


Рис. 9. Схема делителя напряжения с импульсным входом

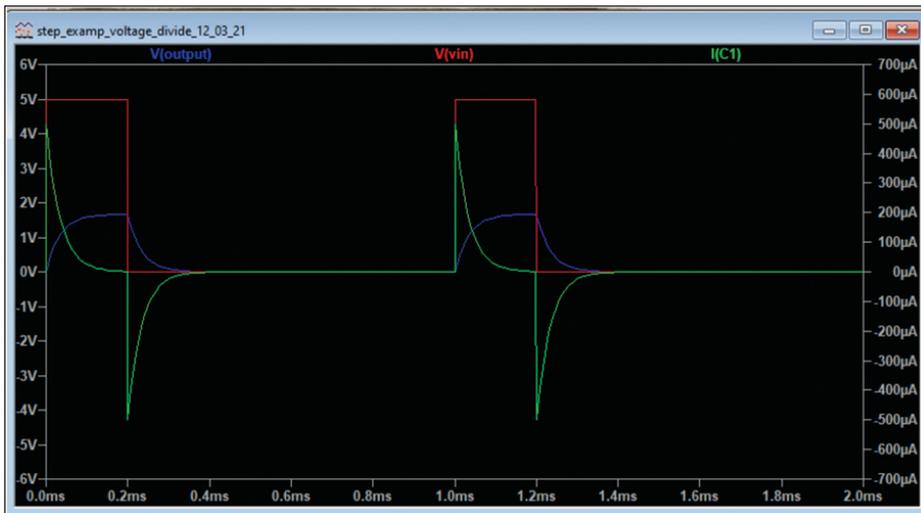


Рис. 10. Анализ переходных процессов с импульсным входом

Анализ шумов

Шумы и помехи относятся к нежелательным изменениям тока или напряжения, которые обычно носят случайный характер и имеют небольшую амплитуду. Каждый электронный компонент генерирует шум. Такой шум может иметь как внутренний, так и внешний источник. Шум в цепи можно измерить с помощью параметра, называемого отношением сигнал/шум (SNR), то есть соотношением требуемого сигнала к нежела-

тельному сигналу или шуму. SNR измеряется в децибелах (дБ).

Анализ рабочей точки

Рабочая точка – определенная точка в рабочих характеристиках электронного компонента. Анализ с использованием этой точки проводится в отношении цепей с постоянными источниками, где напряжение и ток так же постоянны. Рабочую точку можно измерить с помощью цифрового мультиметра и в процессе моделирования, выбрав интересующий компонент в программном обеспечении.

Программное обеспечение для моделирования схем

SPICE (программа моделирования с упором на интегральные схемы) – распространенный механизм моделирования схем с открытым исходным кодом. Эта программа, которая работает по описывающему схему списку соединений, может выполнять симуляции. Список соединений – текстовый блок, описывающий каждый компонент в схеме

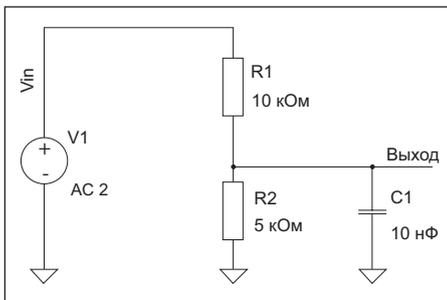


Рис. 11. Схема делителя напряжения с входом переменного тока

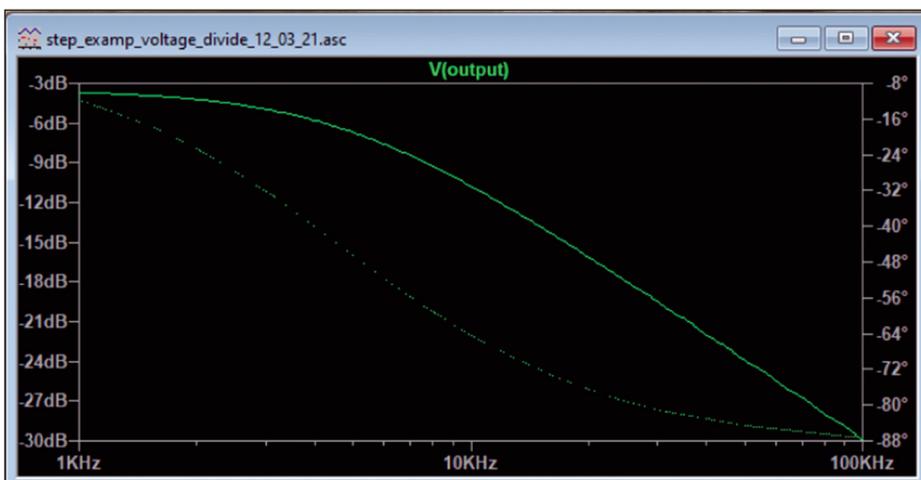


Рис. 12. График анализа по переменному току

и места подключения компонентов. LTspice – еще одно программное обеспечение с открытым исходным кодом для моделирования схем, похожее на SPICE.

Моделирование схем с использованием LTspice от Analog Devices

Ниже перечислены некоторые основные схемы и их особенности.

Анализ по постоянному току

Сначала рассмотрим простую схему делителя напряжения (рис. 4). У нее имеется вход постоянного тока 10 В через резисторы 10 кОм и 5 кОм. На выходе также имеется конденсатор.

На рис. 5 показаны входные и выходные уровни постоянного тока. Видно, что выходное напряжение $V(\text{output})$ составляет 3,333 В.

Теперь давайте изменим входной сигнал с постоянного тока на синусоиду амплитудой 1 В и частотой 1 кГц (рис. 6) и проанализируем напряжение и ток на конденсаторе.

На рис. 7 показаны входное и выходное напряжения. Кроме того, имеется возможность построить график тока и мощности, потребляемой любым компонентом. Ток через конденсатор C1 отстает от напряжения (рис. 8).

Теперь подадим импульсный входной сигнал. Для этого выберем импульс с периодом времени 1 мс, временем нарастания и спада 10 нс, амплитудой 5 В и временем включения 0,2 мс (рис. 9).

На выходе (рис. 10) наблюдается рост напряжения на конденсаторе (синяя кривая), когда вход активен, а входное напряжение составляет 5 В (красная кривая). Ток в конденсаторе (зеленая кривая) резко возрастает при положительном токе и медленно стремится к нулю по мере зарядки конденсатора. Когда напряжение становится равным нулю, конденсатор разряжается, ток становится отрицательным и медленно падает до нуля.

Анализ по переменному току

Далее проведем анализ по переменному току (рис. 11). В этом случае необходимо указать тип развертки, количество показаний, начальную и конечную частоту для запуска анализа по переменному току цепи (рис. 12).

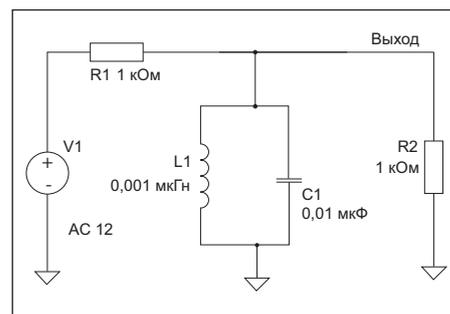


Рис. 13. Схема полосового LC-фильтра

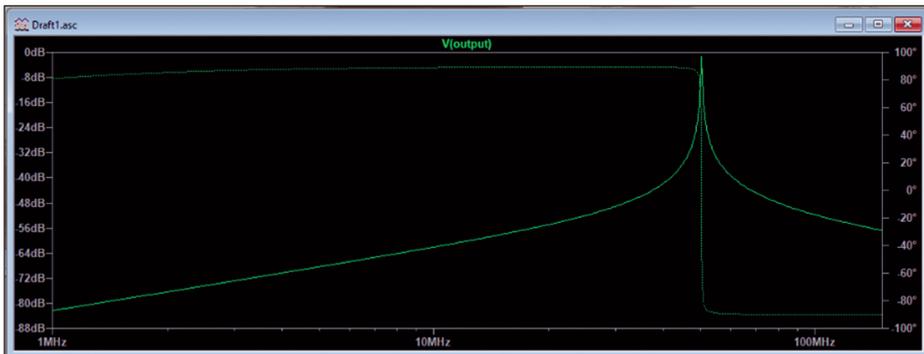


Рис. 14. Анализ изменения на переменном токе

Давайте рассмотрим немного более сложную схему, например полосовой LC-фильтр с центральной частотой 50 МГц (рис. 13).

Далее настроим развертку переменного тока. На построенном графике выходного сигнала видно затухание на разных частотах; центральная частота составляет около 50 МГц (рис. 14).

Заключение

Для разработчиков печатных плат моделирование схем является бесценным инстру-

ментом, который помогает понять поведение схемы непосредственно до изготовления платы, благодаря чему появляется возможность повысить технологичность печатной платы и тем самым предотвратить дорогостоящую переделку неэффективного проекта. ■

Литература

1. The Sierra Circuits Team. How Does Circuit Simulation Work? // <https://www.protoexpress.com/blog/how-does-circuit-simulation-work/>

Комментарий специалиста



Сергей Шихов, директор по управлению проектами, А-КОНТРАКТ

Предварительное моделирование – очень полезный этап разработки электронного устройства. На модели можно быстро и наглядно оценить правильность выбранного схемотехнического решения; при этом нет необходимости расходовать материальные ресурсы (электронные компоненты).

В то же время следует помнить, что любая модель по определению ограничена и не может в полной мере отразить реальное поведение схемы, но многие ошибки можно исключить благодаря такому методу как моделирование.