Обзор САПР SimPCB Lite для расчёта линий передачи и переходных отверстий на печатной плате

Вячеслав Кухарук, Виктор Ухин

В статье рассмотрены основные возможности и маршрут анализа линий передачи и переходных отверстий в САПР SimPCB Lite. Данная программа предназначена для обеспечения целостности сигналов и снижения потерь в высокоскоростных цифровых и высокочастотных аналоговых устройствах, реализованных на печатных платах.

SimPCB Lite – система численного анализа линий передачи, виртуальная исследовательская лаборатория. В её основе лежит математический 2D-решатель, в котором реализован метод граничных элементов. С помощью данного решателя вычисляются четыре первичных параметра: ёмкость (С), проводимость диэлектрика (G), индуктивность (L) и сопротивление (R). С и G рассчитываются через энергию электрического поля, L и R – магнитного. Все остальные параметры (волновое сопротивление, задержка, потери и т.д.) определяются на их основе.

Аналогичной зарубежной САПР с похожим методом расчёта является Si9000 (Polar). При этом SimPCB Lite в чём-то её опережает. Например, при вычисле-



Рис. 1. Общий маршрут САПР SimPCB Lite



Рис. 2. Вид программы SimPCB Lite

SimPCB Lite	Основные	Линия передачи	Отверстие									
	Единицы и	Единицы измерения							мм		МКМ	
	Взаимосвя	язь между частотой с	игнала (Fc) и д	пительно	стьк	фронта	(t,)				Fc = 1/ 1	0 0
Основные Линия передачи	Отверстие											
Название			Параметр	Миниму		Максимум		Шаг				
Толщина диэлектрика			н	0,01	٥	5	\$	0,1	0			
Диэлектрическая проницаемость			Er	1	\$	10	0	0,01	0			
Ширина проводника			W1	0,05	\$	5	٥	0,01	0			
Ширина проводника после подтрава			W2	0,05	\$	5	\$	0,01	\$			
Толщина проводника			T1	0,01	٥	0,3	0	0,01	\$			
Расстояние от проводника до опорной плоскости			D1	0,05	0	5	0	0,01	0			
Зазор между проводниками			S1	0,05	\$	5	\$	0,01	0			
Толщина маски			C1	0,01	0	0,3	\$	0,1	0			
Диэлектрическая проницаемость маски			CEr	1	\$	10	\$	0,1	0			
Основные / Линия	передачи Отвери	стие										
Название	Название				метр Минимум Мая		ксимум	Шаг]		
Диаметр переходног	Диаметр переходного отверстия				0	0,1 0	1	1,5 0	0,1	٥	1	
Толщина меди в отв	Толщина меди в отверстии				0	,01 0	0,	05 ¢	0,01	0		
Диаметр площадки			D		(0,4 0		2 0	0,1	٢		
Диаметр антипада			Da	Da		0,6 0 3		3,5 🗘	0,1	0		
Толщина меди			τ		0	,01 0	(0,3 0	0,01	0		Отмена
Толщина диэлектрик	Толщина диэлектрика				0	,01 🗘	(0,3 0	0,1	٥		C. Mers
Диэлектрическая пр	Диэлектрическая проницаемость					1 0		10 🗘	0,1	0		
Толщина маски			Ct		0	01 0	0	15 0	0,1	0		
Диэлектрическая пр	Диэлектрическая проницаемость маски					1 0		10 0	0,1	0		

Рис. 3. Панель управления

нии параметров переходного отверстия в САПР от компании «ЭРЕМЕКС» используется его реальная модель, а в Si9000 в основе – коаксиальный кабель. Понятно, что во втором случае погрешность вычисления будет значительной [1]. Кроме этого, SimPCB Lite частично покрывает возможности ANSYS (модуль 2D Extractor) и HyperLinks (Siemens) [2]. Рекомендуемая последовательность действий для расчёта и анализа параметров линий передач (ЛП) и переходных отверстий (ПО) в САПР SimPCB Lite состоит из определённого набора шагов.

 Выбор типа объекта, который инженер будет исследовать, вычислять его параметры.

- 2. Выбор типа расчёта (анализа).
- 3. Ввод входных параметров, геометрических и электрофизических.
- Получение результата и его обработка.
- Сохранение расчёта, если результат удовлетворяет заданным критериям.
- 6. Переход к пункту номер три, если требуемый результат не достигнут. Схема маршрута представлена на рис. 1.

Рассмотрим более детально интерфейс программы. Он состоит из пяти основных частей (рис. 2).

 Меню содержит разделы: «Файл», «Вид», «Справка» – для создания, открытия проектов и расчётов, сохранения изменений, отмены и повтора действий, экспорта в формат *.xlsx.

Кроме этого, из данного меню запускаются настройки проекта. В разделе «Основные» задаются единицы измерения, а также взаимосвязь между частотой сигнала (Fc) и длительностью фронта (tr). По умолчанию используется зависимость Fc = 1/10tr. В данном выражении численный множитель – редактируемый. Во вкладках «Линии передачи» и «Отверстие» устанавливается диапазон значений, в котором будет рассчитываться параметр под заданное волновое сопротивление и шаг ввода параметра в основном меню программы (рис. 3).



Рис. 4. Выбор модели ЛП и ввод геометрических и электрофизических параметров





Рис. 6. Расчёт волнового сопротивления

- 2. Панель «Проекты». В SimPCB Lite инженер работает с проектами или проектом, в который входят модель линии передачи и расчёт. Проект может содержать любое количество моделей, а модель, в свою очередь, – произвольное количество расчётов. Здесь же доступна возможность создать группу. Группа включает в себя модели и расчёты, для которых характерен общий признак, например, вычисления под конкретный интерфейс передачи данных (USB 3.0, DDR4). Также доступны функции создания/переименования/перемещения/удаления проектов, групп и расчётов.
- 3. Область входных данных, которая предназначена для назначения пользователем следующего.
 - Объект расчёта. Вычисления выполняются для линий передачи (ЛП) или переходных отверстий (ПО).
 - Тип объекта. Для ЛП: одиночная, дифф. пара, копланарная одиноч-

ная, копланарная дифф. пара, ПО: 2- и 4-слойные печатные платы. В каждой группе доступны для выбора готовые модели ЛП (рис. 4) и ПО (рис. 5) [3].

- Тип расчёта. В SimPCB Lite реализовано четыре типа: без потерь, частотный анализ, S-параметры, перекрёстные помехи. Для ПО доступен только расчёт без потерь. Рекомендуется на первом шаге использовать тип расчёта без потерь. Данный тип расчёта без полит определиться с моделью ЛП и ПО под требуемое значение импеданса или погонной ёмкости, индуктивности.
- Ввод геометрических и электрофизических параметров. Набор входных данных зависит от объекта и типа расчёта (рис. 4, 5).
- Область выходных данных. Результаты вычислений могут быть представлены в виде таблицы и графиков одновременно или отдельно друг от друга.

FEr @



Рис. 8. Пример расчёта параметра Н1

2

5. Настройка результатов расчёта. Указывается тип выходных данных (таблица, график, режим вычислений), а также цветовое представление графиков.

Рассмотрим более детально типы расчётов, доступных в САПР SimPCB Lite.

Расчёт без учёта потерь

Расчёт предназначен для оценки волнового сопротивления, погонной ёмкости, индуктивности ЛП, а также для определения её геометрических, электрофизических параметров под конкретное значение импеданса.

Для вычисления волнового сопротивления необходимо задать толщину диэлектрика (или диэлектриков, если в модели их несколько), диэлектрическую проницаемость, ширину и толщину проводника, толщину и диэлектрическую проницаемость маски при её наличии. При этом радиокнопка должна располагаться напротив параметра Zo или Zdiff (зависит от типа объекта). После нажатия на кнопку Рассчитать вычисленный импеданс отобразитРис. 9. Пример расчёта параметров ПО

ся в поле Zo или Zdiff (рис. 6). Остальные значения (задержка, ёмкость, скорость распространения сигнала, индуктивность и эффективная диэлектрическая проницаемость) доступны в таблице (рис. 7).

При вычислении геометрического или электрофизического параметра ЛП под конкретное волновое сопротивление необходимо включить радиокнопкой параметр, задать импеданс и нажать кнопку Рассчитать. На рис. 8 показан пример вычисления Н1 для дифференциальной микрополосковой линии с волновым сопротивлением 90 Ом.

При анализе ПО необходимо заполнить входные параметры, отредактировать структуру (исключить или добавить маску, опорный слой) и нажать кнопку Рассчитать. Результаты вычислений отобразятся в четвёртой области интерфейса в виде таблицы. Пример показан на рис. 9.

Кроме этого, у пользователя есть возможность проводить множественный расчёт, то есть задать входной параметр в виде диапазона с шагом. В этом случае инженеру будут доступны зависимости не только в табличной форме, но и в виде графиков (рис. 10).

Частотный анализ

Данный вид расчёта используется для более детального исследования ЛП. С его помощью вычисляются следующие параметры в зависимости от частоты:

- волновое сопротивление;
- индуктивность;
- активное сопротивление;
- проводимость диэлектрика;
- ослабление сигнала в проводнике, диэлектрике и общее ослабление:
- фаза и скорость фазы;
- максимальная длина проводника, если известны потери в ЛП.

Для выполнения частотного анализа необходимо задать дополнительные параметры:

- электропроводность;
- тангенс угла диэлектрических потерь:
- длину ЛП;
- частоту или фронт сигнала (рис. 11).



Рис. 10. Пример множественного расчёта для разной толщины диэлектрика



Рис. 11. Пример частотного анализа ЛП

S-параметры

S-параметры позволяют оценить энергетическую эффективность ЛП, а именно определить, на каких частотах, например, возвратные потери будут минимальными, рассчитать потери в самой линии. Фактически S-параметры – это модель ЛП, которую пользователь может применять для дальнейшего моделирования более сложных систем, схем, учитывая межкомпонентные связи. Специально для



Рис. 12. Расчёт S-параметров

этого в SimPCB Lite предусмотрена возможность выводить S-коэффициенты в виде комплексного числа.

Для выполнения расчёта необходимо заполнить поля в дополнительных параметрах, а также указать импеданс источника и приёмника (Ом). Пример расчёта представлен на рис. 12.

Перекрёстные помехи

Программа SimPCB Lite позволяет вычислять перекрёстные помехи для двух или трёх одиночных линий передачи и для такого же количества дифференциальных пар в зависимости от частоты. Расчёт выполняется без учёта потерь. Это означает, что учитываются только параметры L и С. Следует отметить, что такие программы, как HyperLinks (Siemens), Si9000 (Polar), также считают перекрёстные помехи без учёта потерь. Связано это в том числе с тем, что нужно также иметь возможность рассматривать наихудший случай, когда ослабление сигнала игнорируется.

Для вычисления перекрёстных помех необходимо задать дополнительные параметры: длину проводника, напряжение на каждом проводнике, зазор между проводниками, частоту или фронт сигнала. Рассчитывается напряжение и фаза на дальнем и ближнем концах ЛП (рис. 2).

Заключение

SimPCB Lite – программа, предназначенная для быстрого исследования различных моделей ЛП. Включение данной САПР в маршрут проектирования устройств на основе печатных плат позволит сократить время разработки и избежать ошибок. Преимущества SimPCB Lite от компании «ЭРЕ-MEKC»:

- возможность быстро и с высокой точностью проводить расчёты без привязки к конкретной структуре печатной платы. Инженеру нет необходимости тратить время на проектирование Stackup. Достаточно просто выбрать модель ЛП и провести необходимые расчёты. В то же время инженер может собрать из моделей ЛП структуру печатной платы;
- большой выбор готовых моделей ЛП.
 В распоряжении специалиста более сотни линий, если учитывать возможность переворачивать сигнальный проводник. Такое количество покрывает значительную потребность современного инженера;
- точный расчёт параметров ПО и ЛП с помощью современных численных методов;

- наличие различных типов расчётов: без потерь, частотный анализ, S-параметры, перекрёстные помехи;
- возможность представлять посчитанные данные в различных вариантах: таблица, графики;
- выгрузка результатов расчёта в файл формата *.xlsx;
- возможность использовать S-параметры в качестве моделей ЛП для дальнейшего анализа более сложных систем.

Литература

- Ухин В.А., Кухарук В.С., Коломенский Д.С., Смирнова О.В. Оценка влияния и учёт параметров переходного отверстия на передачу высокочастотного сигнала // Современная электроника. 2023. № 9. С. 37–39.
- Ухин В.А., Кухарук В.С., Коломенский Д.С., Смирнова О.В. Методы расчёта волнового сопротивления линий передач на печатных платах // Современная электроника. 2023. № 9. С. 40.
- Кухарук В.С., Коломенский Д.С., Ухин В.А., Смирнова О.В. Обзор основных возможностей инструмента SimPCB для расчёта параметров линий передач в программе Delta Design // Современная электроника. 2024. № 5. С. 34–36.