

# **SIMULTEC Руководство пользователя**

# Содержание

<b>Руководство пользователя.....</b>	<b>4</b>
Введение.....	4
Как использовать это руководство.....	4
Условные обозначения.....	5
Возможности программы.....	5
Типы файлов.....	6
Интерфейс пользователя.....	6
Графическая область.....	8
Меню.....	10
Лента инструментов (ribbon).....	11
Импорт файлов топологии платы.....	12
Редактирование структуры платы.....	12
Панели слоев, компонентов и цепей платы.....	13
Структура платы.....	15
Задание типа задачи.....	16
Задание граничных условий.....	17
Задание VRM.....	17
Задание потребителя.....	19
Задание дискретного источника.....	21
Задание развязывающего конденсатора.....	23
Задание частоты развертки.....	25
Запуск расчета.....	26
Постпроцессинг для анализа падения напряжения.....	27
Постпроцессинг для анализа PDN импеданса.....	28
<b>Приложение - Теоретическое руководство.....</b>	<b>30</b>
Условные обозначения.....	30

Основные концепции.....	30
Анализ течений жидкости или газа.....	30
Теплообмен.....	34
Анализ излучения.....	39
Анализ целостности питания в цепи печатных плат.....	39
Рекомендованная литература.....	40

# Руководство пользователя

## Введение

Данное руководство является справкой по программному продукту SIMULTEC. Оно включает подробные сведения о пользовательском интерфейсе программы, управлении файлами, описания определений граничных условий, настроек сетки, расчетов задач и анализ результатов. Основные сведения об использованных физических моделях приведены в [Приложение - Теоретическое руководство \(на странице 30\)](#).

SIMULTEC позволяет инженерам проектировать изделия с помощью точных расчетов реальных характеристик в процессе мультифизического моделирования. Данный продукт разработан для решения задач с помощью ряда инженерных приложений, таких как:

- Теплообмен
- Анализ целостности питания в цепи печатных плат
- Электромагнетизм
- Оптика

Пользовательский интерфейс SIMULTEC включает в себя следующие элементы:

- Препроцессор служит для препроцессинга данных, которые будут использоваться в моделировании.
- Менеджер расчетов позволяет пользователю управлять расчетами.
- Постпроцессор представляет ряд инструментов для постпроцессинга результатов.

SIMULTEC платформа включает в себя модуль PCB SIM для моделирования целостности питания.

## Как использовать это руководство

В данном разделе представлено руководство пользователя программы SIMULTEC. Здесь вы найдёте информацию о каждом элементе интерфейса, что позволит вам настроить вашу собственную задачу и получить исчерпывающую информацию о возможностях программы.

В разделе "Интерфейс пользователя" пользователя описан интерфейс программы так, как это выглядит, когда пользователь впервые открывает программу SIMULTEC.

В следующих разделах описаны действия, которые необходимо выполнить, чтобы настроить задачу, и описан функционал каждого элемента интерфейса.

## Условные обозначения

В руководстве пользователя используются следующие условные обозначения, шрифты и иконки:

- **жирным шрифтом** обозначаются элементы пользовательского интерфейса, например элементы меню, элементы ленточной панели, названия кнопок, названия диалоговых окон и т.д.

- **Примечание**  – заметка, содержит дополнительные пояснения к описанию.

- **Ограничение** – заметка, указывающая на ограничение функциональности или доступности каких-то возможностей только при наличии определенного модуля программного продукта.

- **Совет**  – заметка, содержащая полезный совет/подсказку, например, о том, как упростить или сделать более удобным использование той или иной опции или команды.

## Возможности программы

SIMULTEC – программное решение компьютерного инженерного анализа (CAE), предназначенное для решения широкого спектра задач.

Возможности программного продукта включают в себя следующие направления инженерного анализа:

- анализ целостности питания в печатных платах
- анализ кондуктивного, конвективного и лучистого теплообмена в проектируемых изделиях
- моделирование напряженно деформированного состояния изделий

- моделирование процессов низкочастотного электромагнетизма
- моделирование задач оптики и фотоники.

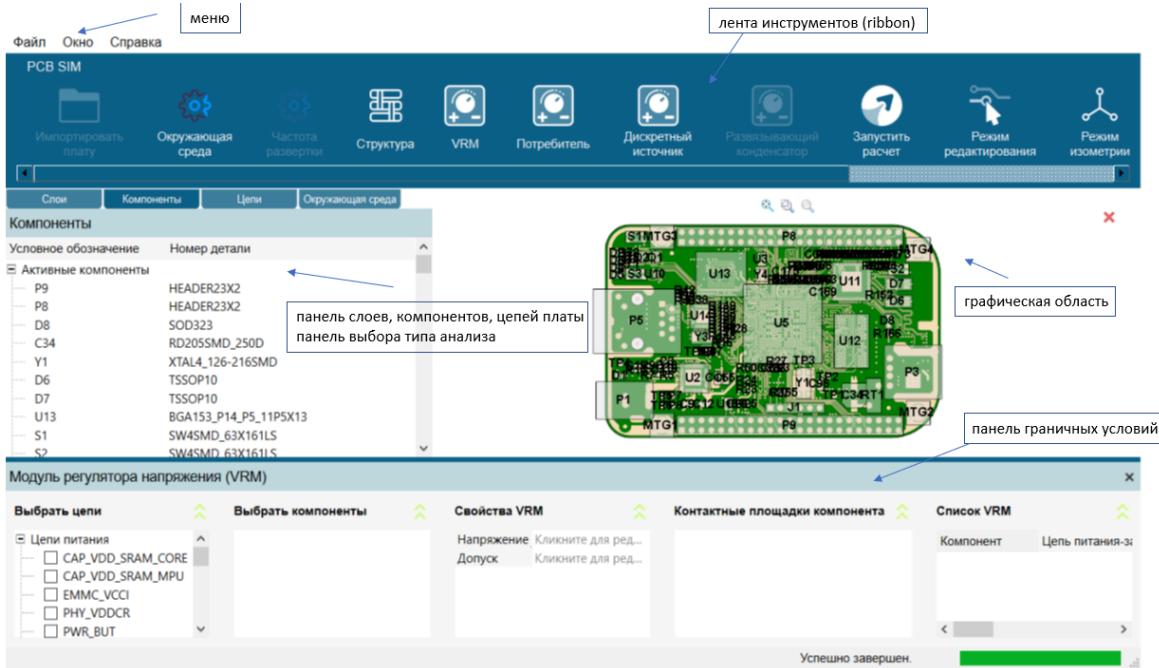
## Типы файлов

В SIMULTEC работают со следующими типами файлов документов:

- **ODB++ (\*.tar, \*.tar.gz, \*.tgz), IPC-2581B (\*.xml)** – файлы топологии печатных плат.  
Доступны для чтения. После открытия такого файла его можно сохранить в файл платы \*.smtbrd или файл сборки \*.smtdoc.
- **Плата Simultec (\*.smtbrd)** – файл печатной платы с предварительно примененными к оригинальной топологии платы фильтрами компонентов. За счет конфигурирования фильтров перед импортированием платы позволяет упростить работу со сложными платами.
- **Документ \*.smtdoc** – файл сборки, в который можно импортировать файл топологии платы и задать все настройки для проведения исследования. Для активного файла \*.smtdoc с загруженной топологией платы доступна полная функциональность программного продукта.

## Интерфейс пользователя

Интерфейс пользователя включает в себя графическую область, меню основных команд, ленту инструментов (ribbon), левые панели с деревом слоев, компонентов, цепей платы и выбором типа анализа, а также нижнюю панель для задания граничных условий.



- Графическая область. В графической области визуализируется импортированная модель печатной платы. См. [Графическая область \(на странице 8\)](#).
- Меню. Включает в себя команды для открытия/закрытия файла платы, сохранения изменений, закрытия программного продукта, переключения между открытыми окнами, а также доступа к документации пользователя. См. [Меню \(на странице 10\)](#).
- Лента инструментов (ribbon). Находится в верхней части приложения, на ней находятся кнопки для открытия диалогов задания всех условий задачи: окружющей среды, VRM, дискретных источников, потребителей и т.д., а также запуска расчета и обработки результатов. См. [Лента инструментов \(ribbon\) \(на странице 11\)](#).
- Панель с деревом слоев, компонентов и цепей платы и выбором типа анализа. Находится слева в окне программы. Состоит из вкладок **Слои**, **Компоненты**, **Цепи** платы. Также слева открывается вкладка **Окружающая среда**, в которой необходимо указать нужный тип анализа. См. разделы [Панели слоев, компонентов и цепей платы \(на странице 13\)](#) и [Задание типа задачи \(на странице 16\)](#).
- Панель задания граничный условий. В зависимости от выбранного условия, в нижней части экрана открывается панель задания **VRM**, **Дискретных источников**, **Потребителей**, а также панель со **Структурой** платы. См. разделы [Задание VRM \(на странице 17\)](#), [Задание дискретного источника \(на странице 21\)](#), [Задание потребителя \(на странице 19\)](#) и [Структура платы \(на странице 15\)](#).

## Графическая область

После импорта модели печатной платы, модель отображается в графической области. Плата представлена в двумерном виде.

### Элементы управления областью просмотра

В верхней части графической области доступны следующие элементы управления:

1. **Изменить в размер экрана** . Масштабирование модели по размеру окна.
2. **Увеличить элемент вида** . Масштабирование модели по размеру области, выбранной ограничивающей рамкой. Щелкните на значок, чтобы активировать режим. Затем нажмите и перетащите ограничивающую рамку по диагонали, чтобы охватить область увеличения. Чтобы выйти из режима, щелкните на значок еще раз.
3. **Увеличить/уменьшить вид** . Этот режим позволяет увеличить или уменьшить масштаб модели. Щелкните на значок, чтобы активировать режим. Чтобы увеличить масштаб модели, переместите указатель вверх. Чтобы уменьшить масштаб модели, переместите указатель вниз. Чтобы выйти из режима, щелкните на значок еще раз.

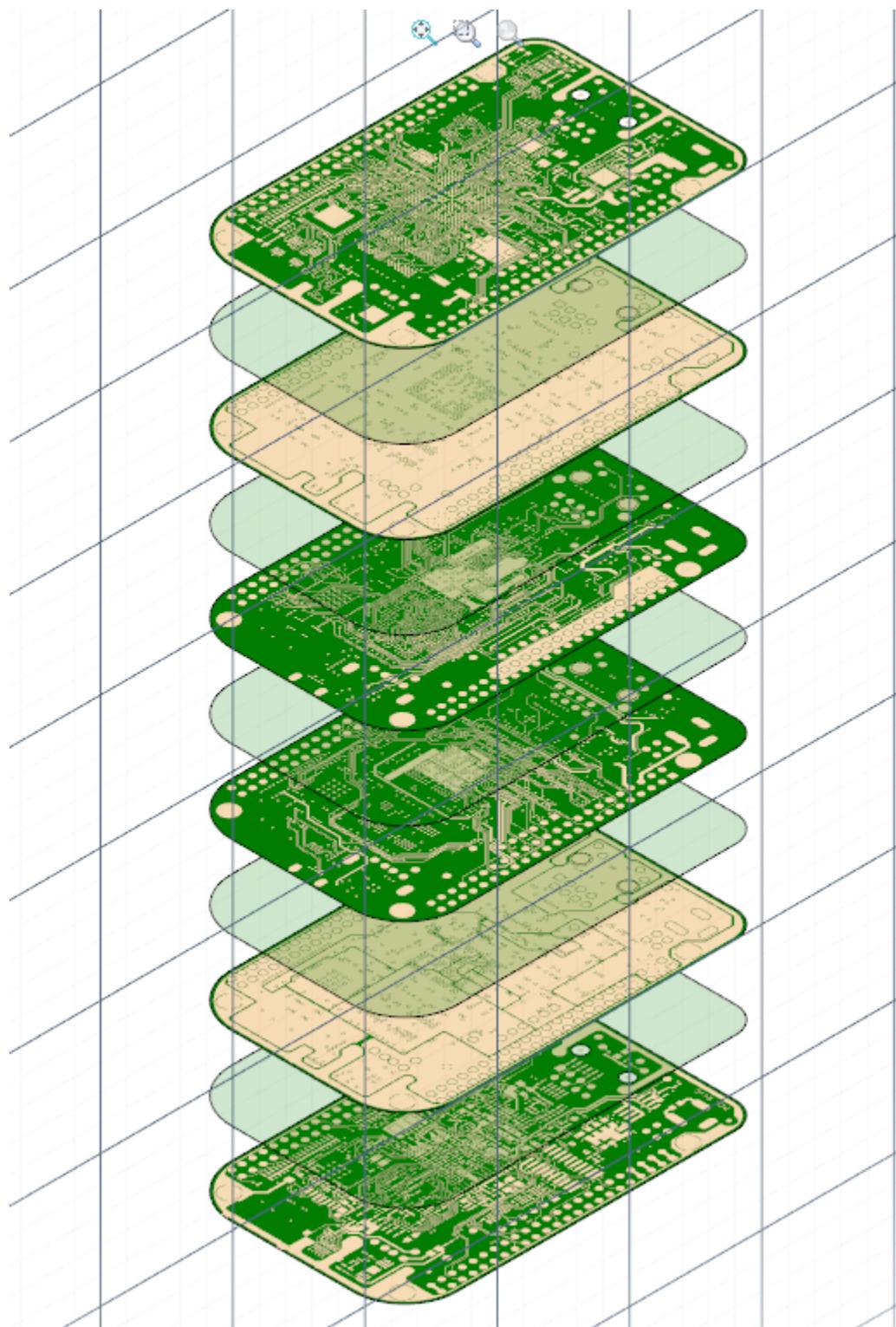
### Элементы управления мышью в области просмотра

- **Сдвиг.** Указатель сдвига всегда активен. Нажмите на левую кнопку мыши и перетащите изображение.
- **Увеличение.** Наведите курсор на изображение и прокрутите колесо мыши по направлению "к себе", чтобы увеличить вид. Прокрутите колесо мыши по направлению "от себя", чтобы уменьшить вид.

### Режим изометрического представления

Чтобы активировать режим изометрического представления платы, нажмите кнопку **Режим**

на ленте инструментов (ribbon). В этом режиме плата визуализируется послойно, как показано на картинке ниже:



Для возврата в прежний режим отображения нажмите кнопку **Режим редактирования**



на ленте инструментов (ribbon).

## Меню

*Меню программы включает основные команды для работы с программным продуктом.*

### Меню Файл

Включает в себя следующие команды:

- **Новый.** Позволяет создать новый файл сборки \*.smtdoc. При выборе этого пункта меню открывается окно **Сохранить как**, в котором необходимо ввести имя нового файла \*.smtdoc и выбрать местоположение для его сохранения.
- **Открыть.** Позволяет открыть файл сборки *Документ* \*.smtdoc, файлы топологии печатной платы формата *ODB++* (\*.tar, \*.tar.gz, \*.tgz) и *IPC-2581B* (\*.xml), а также файлы платы *Плата Simultec* (\*.smtbrd).
- **Выход.** Позволяет выйти из программы. При этом выдается сообщение с вопросом о необходимости сохранения изменений в открытом файле.
- **Сохранить.** Доступно в случае открытого файла топологии, платы \*.smtbrd или сборки \*.smtdoc. Сохраняет изменения в активном файле.
- **Сохранить как....** Доступно в случае открытого файла топологии, платы \*.smtbrd или сборки \*.smtdoc. Позволяет указать имя и местоположение для сохранения открытого файла платы или сборки.
- **Сохранить все.** Сохраняет все открытые файлы платы или сборки.
- **Закрыть.** Закрывает активный файл топологии, платы или сборки. В случае если файл был изменен, выдается сообщение с вопросом о необходимости сохранения изменений перед закрытием.

- **Конвертировать в сборку.** Доступно для активного файла платы. Создает папку тем же именем, что и файл платы, на уровне с файлом платы и создает в ней одноименный файл сборки \*.smtdoc и папку исследования.
- **Сохранить как сборку.** Доступно для активного файла платы. Вызывает окно для указания местоположения для сохранения файла сборки и сохраняет в нее файл документа \*.smtdoc с таким же именем, что и имя папки.

## Меню Окно

Позволяет переключаться между открытыми файлами топологии, платы или сборки. Выбранный файл является активным.

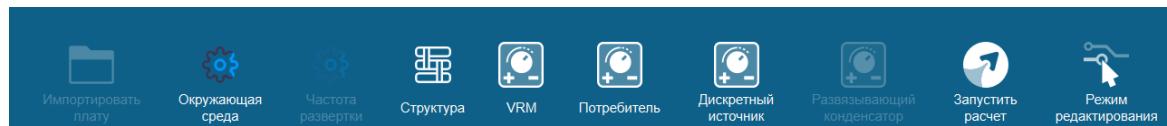
## Меню Справка

Предоставляет доступ к документации SIMULTEC:

- **Документация SIMULTEC.** Открывает пользовательскую документацию в webhelp формате в браузере, выбранном по умолчанию.

## Лента инструментов (ribbon)

*На ленте инструментов (ribbon) находятся все кнопки вызова панелей задания граничных условий, диалога выбора платы для импортирования, выбора типа задачи, запуска расчета, а также доступа к обработке результатов расчета.*



Кнопка **Импортировать плату** доступна для активного окна пустого файла документа \*.smtdoc.

Кнопки **Режим редактирования** и **Режим изометрии** доступны для активного окна с загруженной моделью платы.

Кнопки **Окружающая среда, Структура, Запустить расчет, Результаты моделирования, Сводный отчет о результатах** доступны для активного окна открытого файла документа \*.smtdoc с загруженной моделью платы для любого типа анализа.

Кнопки задания граничных условий **VRM**, **Потребитель** и **Дискретный источник** доступны для любого типа анализа и появляются после импортирования платы в файл документа \*.smtdoc.

Кнопки задания граничного условия **Развязывающий конденсатор**, а также **Частота развертки** и **Кривая импеданса** доступны только для типа анализа **PDN импеданс**.

## Импорт файлов топологии платы

*Импортирование файла топологии платы доступно после создания пустого файла сборки.*

Для импортирования платы выполните следующие действия:

1. Создайте новый файл сборки \*.smtdoc. Для этого из меню **Файл** выберите **Новый**.
2. В открывшемся окне **Сохранить как** в поле **Имя файла** введите имя нового файла **Документ (\*.smtdoc)**.



3. На ленте инструментов нажмите кнопку **Импортировать плату**

Модель импортированной платы отобразится в графической области, в панелях **Слои**, **Компоненты**, **Цепи** платы появятся сведения о слоях, компонентах и цепях платы. Станет доступна панель **Структура** для редактирования структуры платы, а также станет доступна вся функциональность продукта для выполнения анализа.

## Редактирование структуры платы

*В SIMULTEC есть инструменты позволяющие просмотреть и при необходимости отредактировать структуру платы перед проведением анализа.*

Панели **Слои**, **Компоненты**, **Цепи** находятся слева в окне программы и доступны, когда загружена топология платы. Более подробно см. [Панели слоев, компонентов и цепей платы \(на странице 13\)](#)

Панель **Структура** становится доступна после импортирования файла топологии платы в файл сборки \*.smtdoc. Более подробно см. [Редактирование структуры платы \(на странице 12\)](#).

## Панели слоев, компонентов и цепей платы

Эти панели находятся слева в окне программы и доступны, когда открыт файл топологии платы (*ODB++*, *IPC-2581B*), файл платы (\*.*smtbrd*) или файл сборки (\*.*smtdoc*) с импортированной топологией платы.

Фильтрация компонентов и цепей платы доступна на этапе просмотра загруженного файла топологии платы. При необходимости можно исключить лишние компоненты и/или цепи, сохранить файл платы \*.*smtbrd*, чтобы в дальнейшем использовать эту упрощенную модель для анализа.

### Панель Слои

На этой панели выводится список всех слоев платы с указанием толщины каждого слоя:

- **Имя.** Имя слоя (только для чтения).
- **Толщина.** Толщина слоя (только для чтения).

При переключении между слоями в графической области отображается выбранный слой платы.

Пример вида панели показан на рисунке ниже:

Слои	Компоненты	Цепи
<b>Слои</b>		
Имя	Толщина	
TOP	6e-05 m	
LYR2_GND	3e-05 m	
LYR3	3e-05 m	
LYR4	3e-05 m	
LYR5_PWR	3e-05 m	
BOTTOM	6e-05 m	

### Панель Компоненты

На этой панели выводится список всех компонентов платы. Список компонентов разделен на группы **Активные компоненты** и **Неактивные компоненты**.

**Активные компоненты** – это неотфильтрованные компоненты. Активные компоненты подсвечиваются в графической области при их выделении в списке.

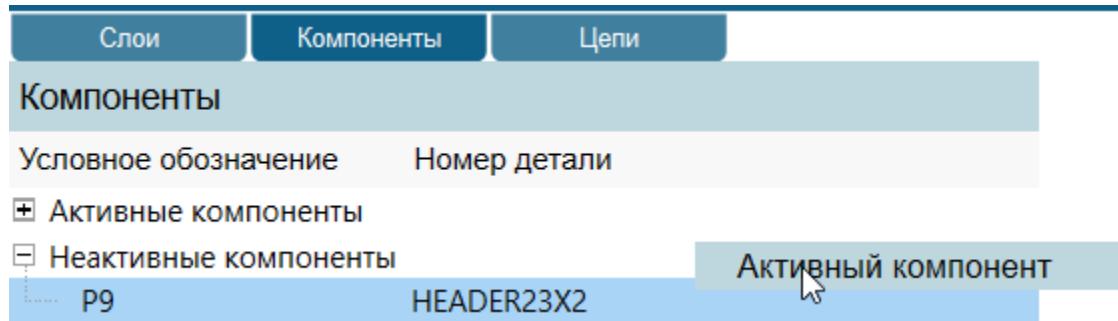
**Неактивные компоненты** – это отфильтрованные компоненты. Они не отображаются в графической области.

- **Условное обозначение.** Имя компонента в топологии платы (только для чтения).
- **Номер детали.** Уникальный идентификатор компонента платы (только для чтения).

Чтобы сделать компонент неактивным, нужно выбрать его в списке **Активные компоненты**, нажать правой кнопкой мыши и из контекстного меню выбрать **Неактивный компонент**. Этот компонент попадет в список **Неактивные компоненты** и будет скрыт в графической области.

Чтобы, наоборот, активировать отфильтрованный компонент, нужно выбрать его в списке **Неактивные компоненты**, нажать правой кнопкой мыши и из контекстного меню выбрать **Активный компонент**. Этот компонент вернется в список **Активные компоненты** и будет отображаться в графической области.

Пример вида панели показан на рисунке ниже:



### Панель Цепи

На этой панели выводится список цепей платы. Список цепей разделен на группы **Включенные цепи** и **Исключенные цепи**.

**Включенные цепи** – это неотфильтрованные цепи. Они подсвечиваются в графической области при их выделении в списке.

**Исключенные цепи** – это отфильтрованные цепи. Они не отображаются в графической области.

- **Имя.** Имя цепи в топологии платы (только для чтения).

- **Тип.** Тип цепи: Земля, Сигнал, Питание, Безымянная.

Тип цепи можно изменить. Для этого нужно выбрать цепь в списке, нажать правой кнопкой мыши и из контекстного меню выбрать **Назначить заземлением/Назначить питанием/Назначить сигналом/Назначить безымянной**. Тип цепи изменится на выбранный. Изменение типа доступно как для включенных, так и для исключенных цепей.

Чтобы исключить цепь, нужно выбрать ее в списке **Включенные цепи**, нажать правой кнопкой мыши и из контекстного меню выбрать **Исключить цепь**. Эта цепь попадет в список **Исключенные цепи** и будет скрыта в графической области.

Чтобы включить цепь, нужно выбрать ее в списке **Исключенные цепи**, нажать правой кнопкой мыши и из контекстного меню выбрать **Включить цепь**. Эта цепь попадет в список **Включенные цепи** и станет доступна в графической области.

Слои	Компоненты	Цепи
Цепи		
Имя	Тип	
Включенные цепи		
DGND	Земля	
USB_DC	Сигнал	
SYS_5V		
VDD_RTC		<span style="color: blue;">Назначить заземлением</span> <span style="color: blue;">Назначить питанием</span> <span style="color: blue;">Назначить сигналом</span> <span style="color: blue;">Назначить безымянной</span>
VRTC		
VDD_PLL		
VDD_CORE		
VDD_MPU		
		Исключить цепи

## Структура платы

**Структура** платы – это инструмент, позволяющий проверить и отредактировать структуру платы перед началом анализа.

Для доступа к панели **Структура** нужно нажать кнопку **Структура** на ленте инструментов

(ribbon)  . В нижней части экрана появится панель со структурой платы. Пример представлен на рисунке ниже:

Структура							
Слои	Толщина	Материал	Тип	Проводимость	Диэлектрическая постоянная	Тангенс угла потерь	
TOP	6.096e-05 m	Copper	Foil	Кликните для редактирования...		Кликните для редактирования...	
DIELECTRIC_0	9.144e-05 m	FR4	Pre-PREG	Кликните для редактирования...		Кликните для редактирования...	
LYR2_GND	3.048e-05 m	Copper	Foil	Кликните для редактирования...		Кликните для редактирования...	
DIELECTRIC_1	1.168e-04 m	FR4	Pre-PREG	Кликните для редактирования...		Кликните для редактирования...	
LYR3	3.048e-05 m	Copper	Foil	Кликните для редактирования...		Кликните для редактирования...	

- **Слои.** Имя слоя платы (только для чтения).
- **Толшина.** Толщина слоя платы (только для чтения).
- **Материал.** Материал слоя платы. Его можно изменить – для этого нужно дважды нажать левой кнопкой мыши в этом поле и из списка выбрать Aluminium (алюминий), Copper (медь), Gold (золото) либо Задан пользователем.
- **Тип.** Для проводящего слоя Foil (фольга), его изменить нельзя. Для диэлектрического слоя CORE/Pre-PREG, можно выбрать тот или другой из списка.
- **Проводимость.** В этом поле можно задать значение удельной электрической проводимости, нажав в поле для редактирования.
- **Диэлектрическая постоянная.** В этом поле можно задать значение диэлектрической проницаемости материала слоя, нажав в поле для редактирования.
- **Тангенс угла потерь.** В этом поле можно задать значение тангенса угла потерь материала, в который утоплены цепи, нажав в поле для редактирования.

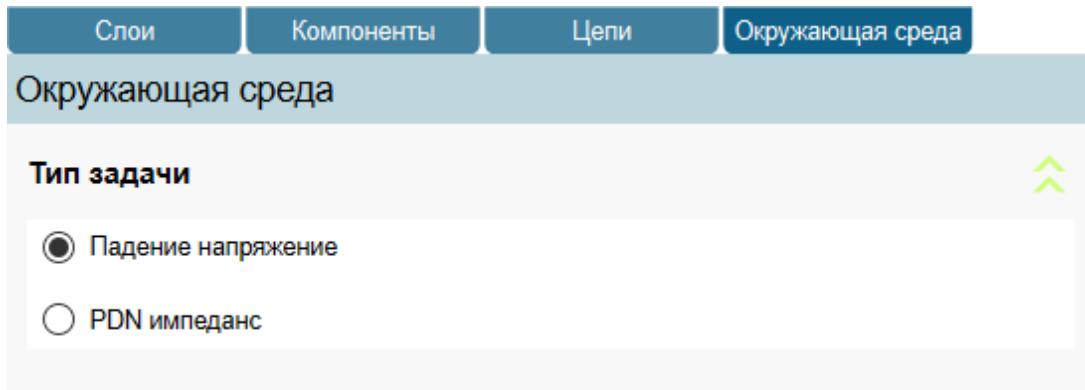
После редактирования структуры платы эту панель можно закрыть, нажав  в верхнем правом углу панели.

## Задание типа задачи

В зависимости от выбранного типа задачи пользователю доступна та или иная функциональность продукта.



1. Для выбора типа задачи нажмите кнопку **Окружающая среда** на панели инструментов.
2. Слева появится панель **Окружающая среда**, в которой можно выбрать нужный тип анализа:
  - **Падение напряжения** (выбран по умолчанию)
  - **PDN импеданс**



3. После выбора типа анализа нажмите **OK** в правом нижнем углу панели.

## Задание граничных условий

*В зависимости от типа анализа доступно задание следующие граничных условий:*

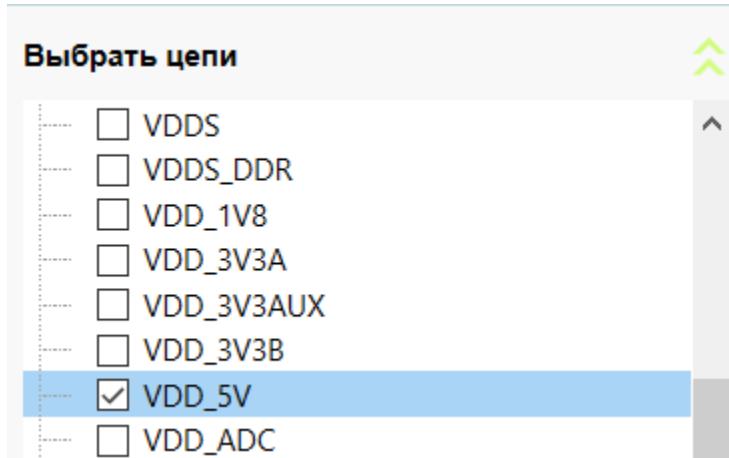
- VRM (модуль регулятора напряжения). См. [Задание VRM \(на странице 17\)](#)
- Потребитель. См. [Задание потребителя \(на странице 19\)](#)
- Дискретный источник (проходной компонент). См. [Задание дискретного источника \(на странице 21\)](#)
- Развязывающий (шунтирующий) конденсатор. См. [Задание развязывающего конденсатора \(на странице 23\)](#)

## Задание VRM

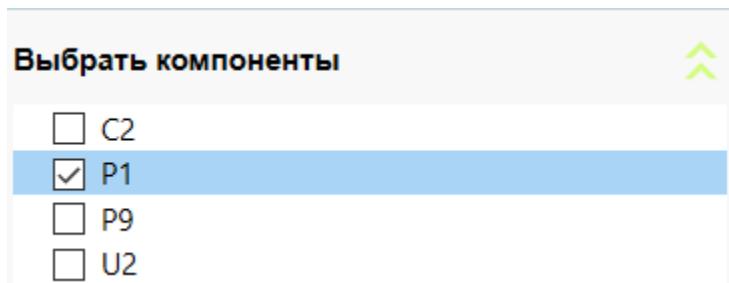
*Задание VRM (модуля регулятора напряжения) доступно для любого типа анализа.*



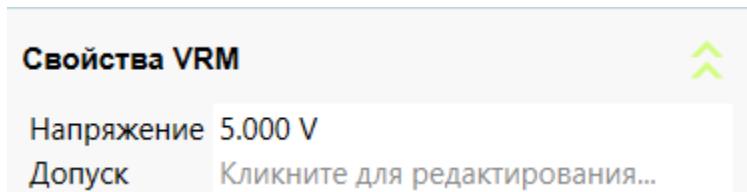
1. Для задания VRM нажмите кнопку **VRM** на ленте инструментов .
2. В нижней части окна программы появится панель **Модуль регулятора напряжения (VRM)**.
3. В группе **Выбрать цепи** цепи сгруппированы по типу: цепи питания и цепи заземления. В списке выберите нужную цепь или несколько цепей. Например:



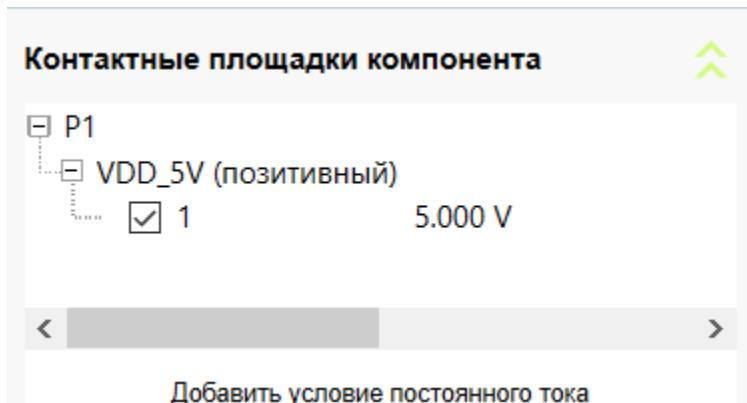
4. В группе **Выбрать компоненты** появятся компоненты, которые находятся в контакте с выбранными цепями. Выберите в списке нужный компонент или несколько компонентов. Выбранные компоненты подсветятся в графической области. Например:



5. В группе **Свойства VRM** можно задать напряжение и допуск. Для введения параметров нужно дважды нажать левой кнопкой мыши в поле для редактирования и ввести значение параметра. Единицы измерения подставятся автоматически. Например:



6. В группе **Контактные площадки компонента** отображается заданное условие.  
Нажмите кнопку **Добавить условие постоянного тока** в нижней части этой части панели:



7. Заданное условие появится в группе **Список VRM**. Например:

Список VRM		
Компонент	Цель питания-за	Напряжение
P1	VDD_5V-	5.000 V

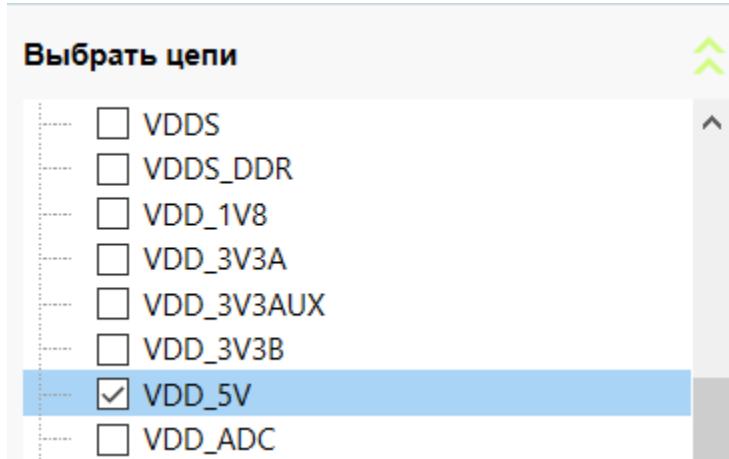
8. После задания условия VRM эту панель можно закрыть, нажав в верхнем правом углу панели.

## Задание потребителя

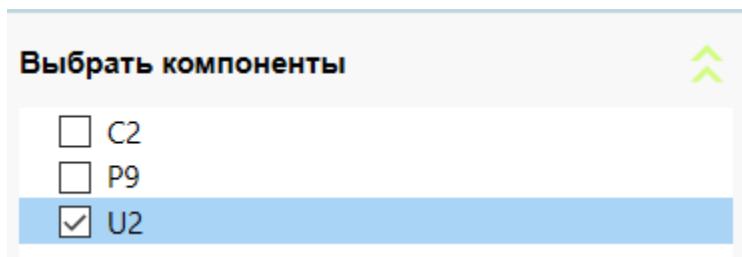
*Задание потребителя доступно для любого типа анализа.*



1. Для задания потребителя нажмите кнопку **Потребитель** на ленте инструментов .
2. В нижней части окна программы появится панель **Потребитель**.
3. В группе **Выбрать цепи** цепи сгруппированы по типу: цепи питания и цепи заземления. В списке выберите нужную цепь или несколько цепей. Например:



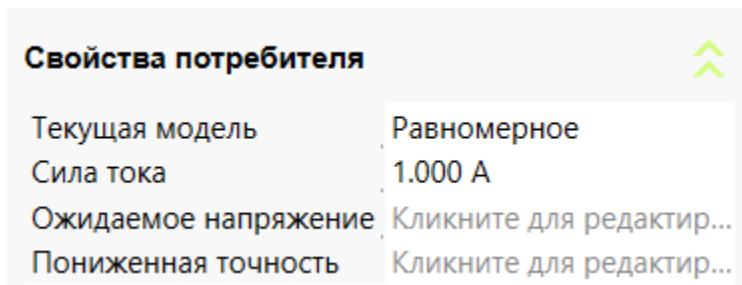
4. В группе **Выбрать компоненты** появятся компоненты, которые находятся в контакте с выбранными цепями. Выберите в списке нужный компонент или несколько компонентов. Выбранные компоненты подсветятся в графической области. Например:



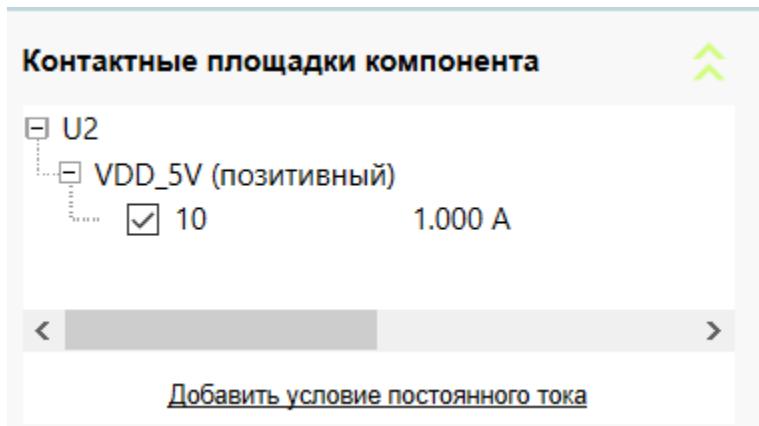
5. В группе **Свойства потребителя** можно задать следующие параметры:

- Модель тока: выберите из списка Равномерный/Неравномерный
- Сила тока: введите значение в поле для редактирования
- Ожидаемое напряжение: введите значение в поле для редактирования
- Пониженная точность: введите значение в поле для редактирования

Например:



6. В группе **Контактные площадки компонента** отображается заданное условие.  
Нажмите кнопку **Добавить условие постоянного тока** в нижней части этой части панели:



7. Заданное условие появится в группе **Список потребителей**. Например:

Компонент	Цель питания-за	Сила тока
U2	VDD_5V-	1.000 A

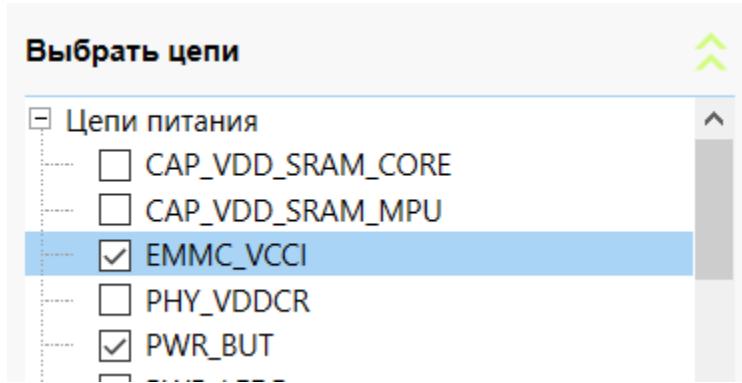
8. После задания потребителей эту панель можно закрыть, нажав в верхнем правом углу панели.

## Задание дискретного источника

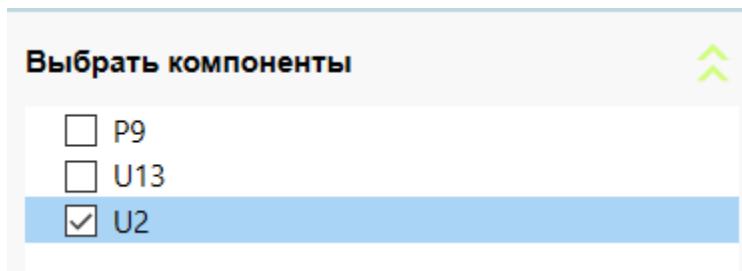
*Задание дискретного источника (проходного компонента) доступно для любого типа анализа*



1. Для задания дискретного источника нажмите кнопку **Дискретный источник** на ленте инструментов .
2. В нижней части окна программы появится панель **Дискретный источник**.
3. В группе **Выбрать цепи** цепи сгруппированы по типу: цепи питания и цепи заземления. В списке выберите нужную цепь или несколько цепей. Например:



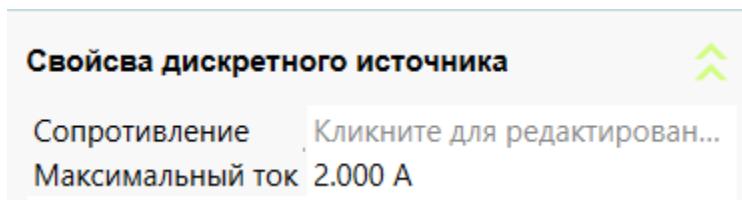
4. В группе **Выбрать компоненты** появятся компоненты, которые находятся в контакте с выбранными цепями. Выберите в списке нужный компонент или несколько компонентов. Выбранные компоненты подсветятся в графической области. Например:



5. В группе **Свойства дискретного источника** можно задать следующие параметры:

- Сопротивление: введите значение в поле для редактирования
- Максимальный ток: введите значение в поле для редактирования

Например:



6. В группе **Контактные площадки компонента** отображается заданное условие. Нажмите кнопку **Добавить условие постоянного тока** в нижней части этой части панели:



7. Заданное условие появится в группе **Список дискретных источников**. Например:

Список дискретных источников		
Компонент	Цепь питания-за	Сопротивление
U2	PWR_BUT-VDDS	15.0000 Ohr
U2	PWR_BUT-VDD...	15.0000 Ohr

8. После задания дискретных источников эту панель можно закрыть, нажав  в верхнем правом углу панели.

## Задание развязывающего конденсатора

*Задание развязывающего конденсатора доступно для типа анализа **PDN импеданс**.*

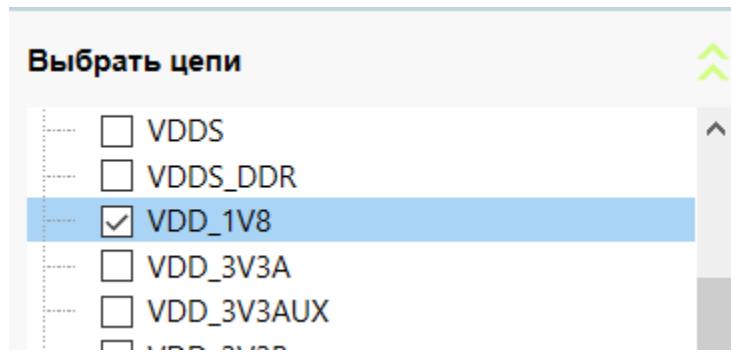
1. Для задания развязывающего конденсатора нажмите кнопку **Развязывающий**



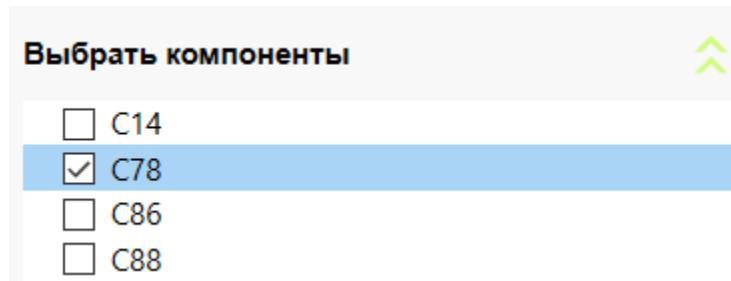
**конденсатор** на ленте инструментов .

2. В нижней части окна программы появится панель **Развязывающий конденсатор**.

3. В группе **Выбрать цепи** цепи сгруппированы по типу: цепи питания и цепи заземления. В списке выберите нужную цепь или несколько цепей. Например:



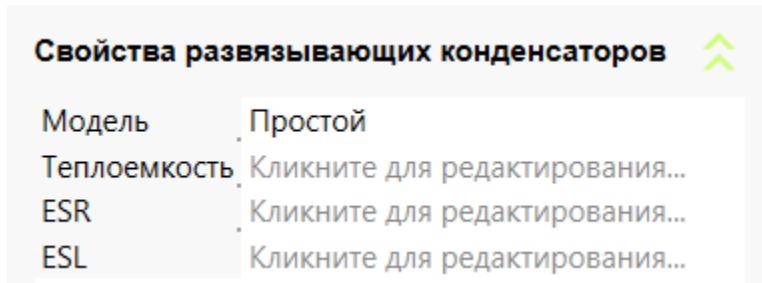
4. В группе **Выбрать компоненты** появятся компоненты, которые находятся в контакте с выбранными цепями. Выберите в списке нужный компонент или несколько компонентов. Выбранные компоненты подсветятся в графической области. Например:



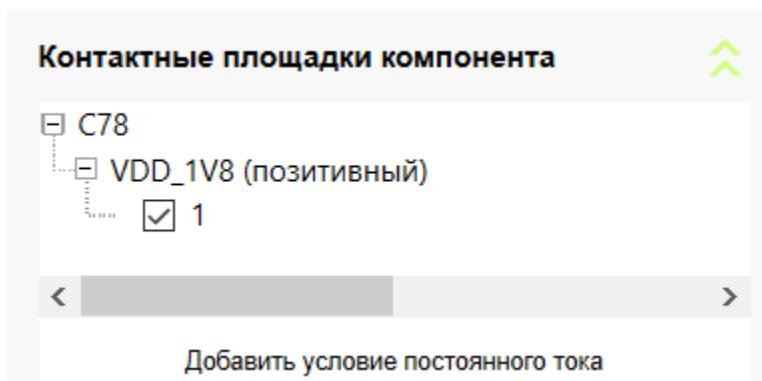
5. В группе **Свойства развязывающих конденсаторов** можно задать следующие параметры:

- Модель: выберите из списка Простой или SPICE
- Теплоемкость: введите значение в поле для редактирования
- ESR: введите значение в поле для редактирования
- ESL: введите значение в поле для редактирования

Например:



6. В группе **Контактные площадки компонента** отображается заданное условие. Нажмите кнопку **Добавить условие постоянного тока** в нижней части этой части панели:



7. Заданное условие появится в группе **Список развязывающих конденсаторов**.  
 8. После задания условия эту панель можно закрыть, нажав  в верхнем правом углу панели.

## Задание частоты развертки

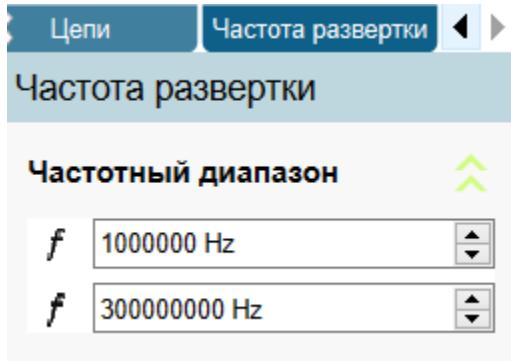
*Задание частоты развертки требуется для анализа типа **PDN импеданс**. Это настройки для решателя, выполняющего расчет импеданса цепи питания.*



1. Для задания частоты развертки нажмите кнопку **Частота развертки** на панели инструментов.
2. Слева появится панель **Частота развертки**, в которой можно задать частотный диапазон, в котором будет выполняться расчет импеданса цепи питания.

- **Начальная частота** (по умолчанию значение 1e6 Гц)

- **Конечная частота** (по умолчанию значение 3e8 Гц)



3. После задания диапазона частот нажмите **OK** в правом нижнем углу панели.

## Запуск расчета

*Запуск расчета доступен для активной задачи.*



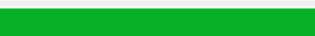
1. Чтобы запустить расчет задачи, нажмите кнопку **Запустить расчет** на ленте инструментов.
2. В правом нижнем углу окна программы на индикаторе выполнения появится статус **Выполняется расчет**:

Выполняется расчет



3. Когда расчет будет завершен, на индикаторе выполнения появится статус **Расчет выполнен успешно**:

Расчет выполнен успешно

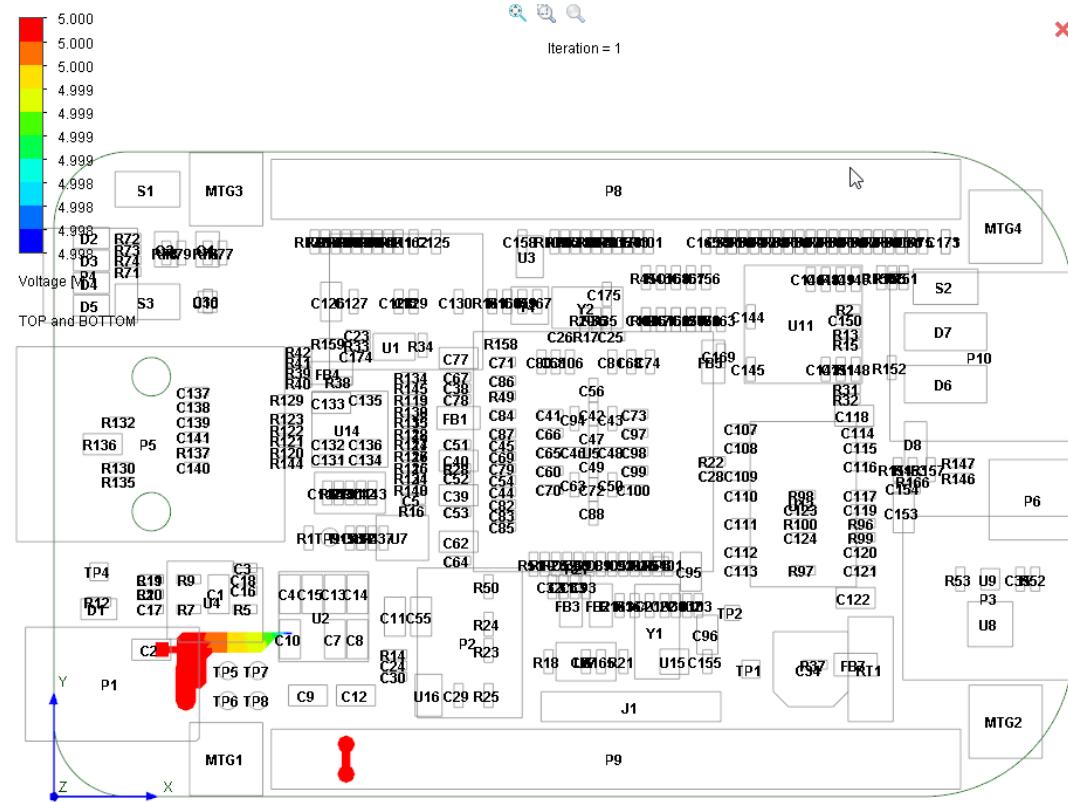


4. После выполнения расчета результаты автоматически загрузятся.

## Постпроцессинг для анализа падения напряжения

После выполнения расчета задачи типа **Падение напряжения**, результаты автоматически загружаются.

1. В графической области по умолчанию визуализируется распределение напряжения на плате:



2. Чтобы визуализировать распределение другого параметра, нажмите по имени параметра в палитре и из списка выберите нужный параметр:

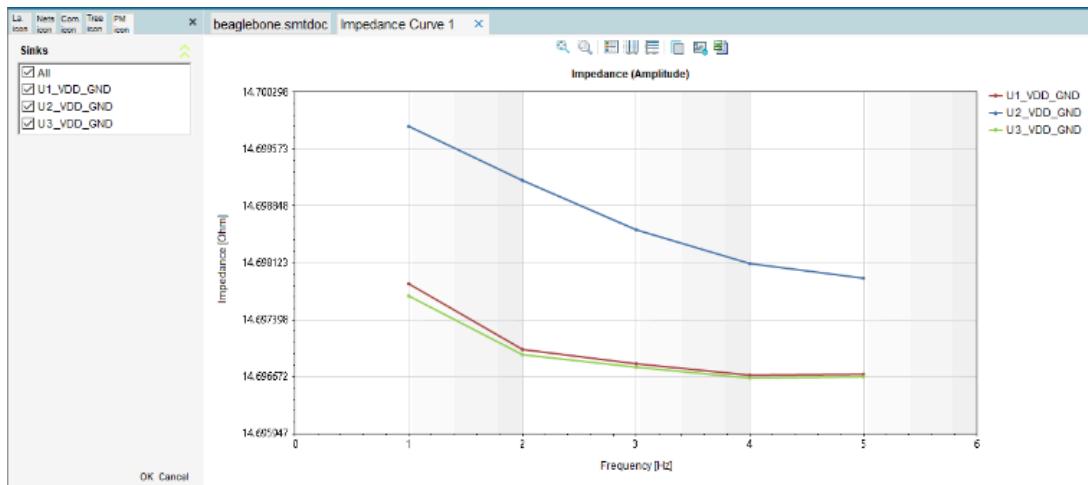


## Постпроцессинг для анализа PDN импеданса

Для обработки результатов анализа PDN импеданса можно воспользоваться инструментом **Кривая импеданса**.



1. Для просмотра кривой импеданса нажмите кнопку **Кривая импеданса** на ленте инструментов.
2. В графической области появится окно с кривой импеданса – графиком, по оси абсцисс которого отложена частота, по оси ординат модуль импеданса. Пример приведен на картинке ниже:



## Приложение - Теоретическое руководство

*Содержит сведения о физических моделях, реализованных в программном продукте SIMULTEC.*

### Условные обозначения

- $c_p$  — удельная теплоемкость при постоянном давлении;
- $c_v$  — удельная теплоемкость при постоянном объеме;
- $h$  — энталпия;
- $k$  — теплопроводность;
- $Le$  — число Льюиса;
- $Pr$  — число Прандтля;
- $M$  — число Maxa;
- $R_{univ}$  — универсальная газовая постоянная;
- $R_\mu$  — молярная постоянная;
- $T$  — температура;
- $u$  — скорость течения;
- $\nu$  — динамическая вязкость;
- $\omega$  — угловая частота;
- $\varepsilon$  — диэлектрическая проницаемость;
- $\mu$  — магнитная проницаемость;
- $\rho$  — плотность;
- $\varphi$  — электрический потенциал;

### Основные концепции

#### Анализ течений жидкости или газа

Этот раздел содержит основную информацию о моделях течений жидкости или газа, реализованных в программном продукте SIMULTEC.

## Система уравнений Навье–Стокса

Для описания движения жидкости используется система уравнений Навье–Стокса. Уравнения Навье–Стокса являются расширением уравнений Эйлера и включают описания эффектов вязкости на течение жидкости. Данная система уравнений включает:

- уравнение неразрывности (закон сохранения массы) в нестационарных задачах:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i) = S_M^p$$

- уравнения сохранения импульса для нестационарных задач:

$$\frac{\partial \rho u_i}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_i u_j) + \frac{\partial p}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} (\tau_{ij} + \tau_{ij}^R) + S_i + S_{Ii}^p, \quad i=1,2,3; \quad j=1,2,3$$

- уравнения сохранения энергии для нестационарных задач:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \rho H}{\partial t} + \frac{\partial \rho u_i H}{\partial x_i} &= \frac{\partial}{\partial x_i} [u_j (\tau_{ij} + \tau_{ij}^R) + q_i] + \frac{\partial p}{\partial t} + S_i u_i + S_H^p + Q_H \\ H &= h(P, T, y) + \frac{u^2}{2} + k \end{aligned}$$

где  $u$  — скорость течения,  $\rho$  — плотность среды,  $S_i$  — распределенная по массе внешняя сила на единицу массы, обусловленная сопротивлением пористой среды, гравитация и вращающаяся СК,  $H$  — полная энталпия в локальной системе координат,  $h(P, T, y)$  — энталпия при заданном давлении ( $P$ ), температуре ( $T$ ) и с компонентами смеси жидкости или газа  $y$ ,  $y = (y_1, \dots, y_p)$  — вектор концентрации компонентов смеси,  $k$  — кинетическая энергия турбулентности, — дополнительные члены межфазного обмена, обусловленные взаимодействием частиц Эйлера-Лагранжа,  $Q_H$  — источник или сток тепла на единицу объема,  $\tau_{ij}$  — тензор напряжений вязкой жидкости,  $q_i$  — диффузионный тепловой поток.

В расчетах с включенной опцией **Течение с большим числом Маха** используется следующее уравнение энергии:

$$\frac{\partial \rho E}{\partial t} + \frac{\partial \rho u_i \left( E + \frac{p}{\rho} \right)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[ u_j \left( \tau_{ij} + \tau_{ij}^R \right) + q_i \right] - \tau_{ij}^R \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \rho \varepsilon + Q_H$$

$$E = e(\rho, T, y) + \frac{u^2}{2}$$

где  $e(\rho, T, y)$  — внутренняя энергия при заданной плотности текучей среды ( $\rho$ ), температуре ( $T$ ) и с компонентами смеси жидкости или газа  $y$ .

Тензор напряжений вязкой жидкости определяется как

$$\tau_{ij} = \mu \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \right)$$

Тензор напряжений Рейнольдса имеет вид

$$\tau_{ij}^R = \mu_t \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \right) - \frac{2}{3} \rho k \delta_{ij}$$

где  $\delta_{ij}$  — дельта-функция Кронекера, равная единице при  $i = j$ , в противном случае равная нулю,  $\mu$  — динамическая вязкость,  $\mu_t$  — турбулентная (вихревая) вязкость  $k$  — турбулентная кинетическая энергия (для ламинарного течения  $\mu_t = 0$  и  $k = 0$ ).

Диффузионный тепловой поток  $q_i$  для числа Льюиса  $Le = 1$  рассчитывается по формуле:

$$q_i = \left( \frac{\mu}{Pr} + \frac{\mu_t}{\sigma_c} \right) \frac{\partial h}{\partial x_i}, \quad i = 1, 2, 3$$

здесь  $Pr$  — число Прандтля, константа  $\sigma_c = 0.9$  и  $h$  — энтальпия.

SIMULTEC использует модель  $k-\varepsilon$  для описания турбулентной кинетической энергии  $k$  и скорости диссипации  $\varepsilon$ :

$$\frac{\partial \rho k}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i k) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left( \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_i} \right) + S_k$$

$$\frac{\partial \rho \varepsilon}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i \varepsilon) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left( \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i} \right) + S_\varepsilon$$

В терминах модели  $k$ - $\varepsilon$  турбулентная (вихревая) вязкость  $\mu_t$  определяется как

$$\mu_t = f_\mu \frac{C_\mu \rho k^2}{\varepsilon}$$

где  $f_\mu$  — фактор турбулентной вязкости, описанный как

$$f_\mu = [1 - \exp(-0.0165R_y)]^2 \cdot \left(1 + \frac{20.5}{R_T}\right)$$

$$R_T = \frac{\rho k^2}{\mu \varepsilon}, \quad R_y = \frac{\rho \sqrt{k} y}{\mu}$$

и  $y$  — расстояние от стенки с учетом ламинарно-турбулентного перехода.

Источниковые члены  $S_k$  и  $S_\varepsilon$  определяются как:

$$S_k = \tau_{ij}^R \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \rho \varepsilon + \mu_t P_B$$

$$S_\varepsilon = C_{\varepsilon_1} \frac{\varepsilon}{k} \left( f_1 \tau_{ij}^R \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \mu_t C_B P_B \right) - C_{\varepsilon_2} f_2 \frac{\rho \varepsilon^2}{k}$$

Здесь  $P_B$  представляет генерацию турбулентности за счет сил плавучести и может быть записано как

$$P_B = -\frac{g_i}{\sigma_B} \frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial x_i}$$

где  $g_i$  — компонента ускорения свободного падения в направлении  $x_i$ , константа  $\sigma_B = 0.9$ .

Константа  $C_B$  равна 1 при  $PB > 0$  и 0 при  $PB \leq 0$ .

$$f_1 = 1 + \left( \frac{0.05}{f_\mu} \right)^3, \quad f_2 = 1 - \exp(-R_T^2)$$

Константы  $C_\mu$ ,  $C_{\varepsilon 1}$ ,  $C_{\varepsilon 2}$ ,  $\sigma_k$ ,  $\sigma_\varepsilon$  определяются эмпирическим путем, а для  $k$ - $\varepsilon$  равны:

$$C_\mu = 0.09, C_{\varepsilon 1} = 1.44, C_{\varepsilon 2} = 1.92, \sigma_\varepsilon = 1.3, \sigma_k = 1$$

## Теплообмен

Этот раздел содержит основную информацию о моделях теплопроводности, реализованных в программном продукте SIMULTEC.

## Термодинамические свойства

Следующие уравнения и функции используются для описания термодинамических свойств жидкости и дополняют систему уравнений Навье-Стокса.

Уравнение состояния жидкости можно записать как

$$\rho = \rho(p, T, y),$$

$$h = h(p, T, y).$$

где  $\rho$  — плотность среды,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ,  $p$  — давление (Па),  $T$  — температура (К),  $y$  — вектор концентрации компонентов смеси жидкости и газа,  $h$  — энталпия.

Можно записать следующее термодинамическое соотношение

$$\left( \frac{\partial h}{\partial p} \right)_{T,y} = \frac{1 - \beta}{\rho},$$

где безразмерный коэффициент термического расширения равен

$$\beta = - \left( \frac{\partial \ln \rho}{\partial \ln T} \right)_{p,y} .$$

I

Когда речь идет об идеальном газе, уравнение состояния имеет следующий вид

$$\rho = \frac{p}{R_\mu \cdot T},$$

здесь  $R_\mu$  — молярная постоянная, равная универсальной газовой постоянной  $R_{univ}$ , деленной на молекулярную массу жидкости (газа)  $M$  для однокомпонентной жидкости. Для смеси  $R_\mu$  можно записать как:

$$R_\mu = R \sum_i \frac{y_i}{M_i}.$$

Теплофизические свойства определены, как показано в Таблице 1:

**Табл. 1. Термофизические свойства текучих сред**

Имя	Текущая среда	Смесь
Плотность	$\rho = f(T)$	$\rho = \left( \sum_i \frac{y_i}{\rho_i} \right)^{-1}$
Удельная теплоемкость при постоянном давлении	$c_p = f(T)$	$c_p = \sum_i y_i \cdot c_{pi}$
Удельная теплоемкость при постоянном объеме	$c_v = f(T)$	$c_v = \sum_i y_i \cdot c_{vi}$
Динамическая вязкость	$\nu = \frac{\mu}{\rho}$	$\nu = \sum_i \frac{y_i \cdot \mu_i}{\rho_i}$
Теплопроводность	$k = f(T)$	$k = \left( \sum_i y_i \cdot k_i^{-2} \right)^{-1/2}$

## Сопряженный теплообмен

SIMULTEC позволяет решать задачи сопряженного теплообмена в расчетной области, содержащей как жидкости, так и твердые тела.

Для описания модели сопряженного теплообмена используются следующие основные уравнения.

1. Теплообмен в жидкостях описывается уравнением сохранения энергии.

$$\frac{\partial \rho H}{\partial t} + \frac{\partial \rho u_i H}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} [u_j (\tau_{ij} + \tau_{ij}^R) + q_i] + \frac{\partial p}{\partial t} + S_i u_i + S_H^p + Q_H$$

$$H = h(P, T, y) + \frac{u^2}{2} + k$$

Для получения дополнительной информации обращайтесь к: [Система уравнений Навье–Стокса \(на странице 31\)](#).

2. Тепловой поток описывается уравнением:

$$q_i = \left( \frac{\mu}{Pr} + \frac{\mu_t}{\sigma_c} \right) \frac{\partial h}{\partial x_i}, \quad i = 1, 2, 3$$

здесь  $Pr$  — число Прандтля, константа  $\sigma_c = 0.9$  и  $h$  — энтальпия. Для получения дополнительной информации обращайтесь к: [Система уравнений Навье–Стокса \(на странице 31\)](#).

3. Явление анизотропии теплопроводности в твердых телах описывается уравнением:

$$\frac{\partial \rho e}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left( \lambda_i \frac{\partial T}{\partial x_i} \right) + Q_H$$

здесь  $e$  — удельная внутренняя энергия,  $e = C \cdot T$ ,  $C$  — удельная теплоемкость,  $Q_H$  — удельные объемные тепловые источники (стоки)  $\lambda_i$  — собственные значения тензора теплопроводности. Предполагается, что тензор теплопроводности диагональный в рассматриваемой системе координат. Для изотропной среды  $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = \lambda$ .

Кроме того, модель сопряженного теплообмена может быть дополнена физическими процессами, такими как [джоулев нагрев \(на странице 37\)](#).

## Источник джоулевого тепла в электрических проводниках

Программа SIMULTEC позволяет рассчитывать эффект джоулевого нагрева, также известный как сопротивление. При прохождении электрического тока через проводящий материал выделяется удельное джоулево тепло  $Q_j$ .

В этом случае в уравнение теплообмена добавляется дополнительный удельный источник тепла  $q_J$ :

$$\rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} - \frac{\partial}{\partial x_i} \left( \lambda_{ij} \frac{\partial T}{\partial x_j} \right) = f + q_J,$$

где  $\rho$  — плотность среды, кг/м<sup>2</sup>,  $c_p$  — удельная теплоемкость при постоянном давлении, Дж/К,  $\lambda_{ij}$  — собственные значения тензора теплопроводности,  $f$  — источник тепла.

Для стационарной задачи с изотропным материалом джоулев нагрев можно описать в виде

$$q_J = r j^2,$$

где  $r$  — электрическое сопротивление, Ом, которое может зависеть от температуры в общем случае и  $i$  — плотность электрического тока, А/м<sup>2</sup>.

Вектор плотности электрического тока можно определить через электрический потенциал  $\varphi$ , В:

$$\vec{j} = -\frac{1}{r_{ii}} \frac{\partial \varphi}{\partial x_i}$$

где  $r_{ii}$  — температурно-зависимое удельное электрическое сопротивление в  $i$ -ом направлении.

Для расчета электрического потенциала  $\varphi$  используется стационарное уравнение Лапласа:

$$\frac{\partial}{\partial x_i} \left( \frac{1}{r_{ii}} \frac{\partial \varphi}{\partial x_i} \right) = 0$$

Это уравнение дополняется граничными условиями для  $\varphi$  на границе расчетной области, в частности, условием Дирихле и Неймана:

$$\varphi = \varphi_{BC},$$

$$j_n = j_i n_i = -\sigma_{ii} \frac{\partial \varphi}{\partial x_i} n_i.$$

## Анализ излучения

В следующем разделе содержатся основные сведения о моделях излучения, реализованных в SIMULTEC.

## Анализ целостности питания в цепи печатных плат

Цель подачи питания (PDN) электронной системы состоит из дорожек, переходных отверстий, плоскостей, развязывающих конденсаторов и других элементов, подключенных или соединенных с заземляющей шиной и шиной питания. Событие переключения каждого компонента PDN вызывает скачок тока, вызывающий падение напряжения, шум и импульсы тока, уровень импеданса PDN увеличивается. Основная задача состоит в создании стабильной траектории с низкого импеданса, чтобы обеспечить подачу необходимого уровня напряжения и тока в компоненты, при этом не превышая целевой импеданс PDN.

Анализ целостности питания позволяет инженерам моделировать напряжение и ток печатной платы в цепи подачи питания (PDN) с соблюдением требований безопасности. В следующем разделе представлено описание моделей анализа целостности питания, реализованных в продукте SIMULTEC.

## Падение напряжения

Падение напряжения — это снижение напряжения в электрической цепи между источником и нагрузкой обусловленное сопротивлением элементов печатной платы, т.е. разницы зарядов между двумя точками элементов печатной платы.

Падение напряжения рассчитывается по уравнению Лапласа:

$$\nabla^2 \varphi = 0$$

## PDN импеданс

PDN импеданс рассчитывается по уравнению Гельмгольца для электромагнитного поля с проницаемостью  $\mu$  и  $\epsilon$ :

$$\Delta \vec{E} + k^2 \vec{E} = 0$$

где  $E$  — электрическое поле,  $k$  — волновое число,  $\Delta$  — оператор Лапласа.

Для изотропной среды волновое число определяется как:

$$k = \omega \sqrt{\varepsilon \mu}$$

где  $\omega$  — угловая частота,  $\varepsilon$  и  $\mu$  — диэлектрическая и магнитная проницаемость соответственно.

## Рекомендованная литература

1. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Электродинамика сплошных сред. — М. : Гостехиздат, 1957. — 532 с. — (Теоретическая физика).
2. Bogatin, Eric. Signal and power integrity--simplified. Pearson Education, 2010.
3. Paul, Clayton R., Robert C. Scully, and Mark A. Steffka. Introduction to electromagnetic compatibility. John Wiley & Sons, 2022.
4. Novak, Dr Istvan, and Jason R. Miller. Frequency-domain characterization of power distribution networks. Vol. 1. Norwood, MA, USA: Artech house, 2007.
5. Taflove, Allen, Susan C. Hagness, and Melinda Picket-May. "Computational electromagnetics: the finite-difference time-domain method." The Electrical Engineering Handbook 3.629-670 (2005).