

Схемотехническое моделирование в Delta Design SimOne.

Часть 2

Андрей Смирнов, Алексей Гимеин (компания ЭРЕМЕКС)

Мы начали рассказывать о возможностях моделирования электрических цепей в САПР Delta Design в журнале «Современная электроника», № 9 за 2021 год. Были рассмотрены расчёт статического режима, расчёт переходных процессов и построение частотных характеристик. Также был показан анализ устойчивости проектируемой схемы.

В данном материале будут рассмотрены конструктор фильтров, анализ чувствительности, возможности оптимизации схемы, анализ методом Монте-Карло. Также покажем процесс сопоставления SPICE-модели к компоненту.

Конструктор фильтров

В Delta Design SimOne реализована возможность создания фильтров частот.

В SimOne существует два способа представления созданного фильтра: первый – это создание компонента-двухполосника с УГО и назначенной SPICE-моделью в виде подсхемы, второй – это генерация принципиальной схе-

мы, реализующей фильтр с заданными характеристиками, в редакторе схем для дальнейшего представления созданного фильтра как функциональной группы.

Результат представления создаваемого фильтра зависит от способа вызова Конструктора фильтров.

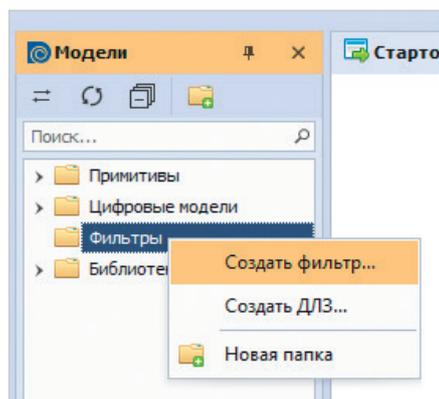


Рис. 1. Создание фильтра в панели *Модели*

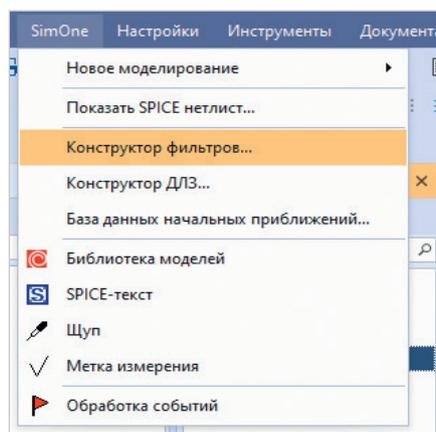


Рис. 2. Команда вызова окна *Конструктора фильтров*

Если создание компонента-двухполосника выполнить через панель **Модели**, в которой имеется папка **Фильтры**, то результат будет ограничен представлением в виде компонента-двухполосника с присоединённой SPICE-моделью, представленной в виде подсхемы. Для создания нового фильтра с требуемыми параметрами следует раскрыть контекстное меню папки **Фильтры** и выбрать команду **Создать фильтр...** (рис. 1).

При этом будет открыто окно Конструктора фильтров, которое предназначено для определения параметров создаваемого фильтра. Создание фильтра завершается нажатием на кнопку **Создать**.

Если выполнить команду меню *SimOne* → *Конструктор фильтров* (рис. 2), то возможно создать фильтр в виде функциональной группы с принципиальной схемой, размещённой на отдельном листе текущей схемы. В качестве примера работы с **Конструктором фильтров** подробно рассмотрим этот способ.

Рассмотрим создание полосового фильтра со следующими характеристиками: центральной частотой полосы пропускания 10 кГц и шириной полосы пропускания 10 Гц, шириной полосы задерживания 200 Гц, минимальным затуханием на границе полосы пропускания 3 дБ, максимальным затуханием на границе полосы задерживания

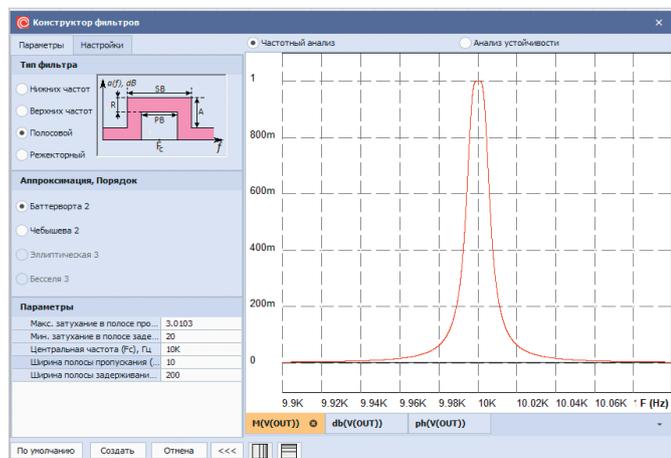


Рис. 3. Окно *Конструктор фильтров*, вкладка *Параметры*

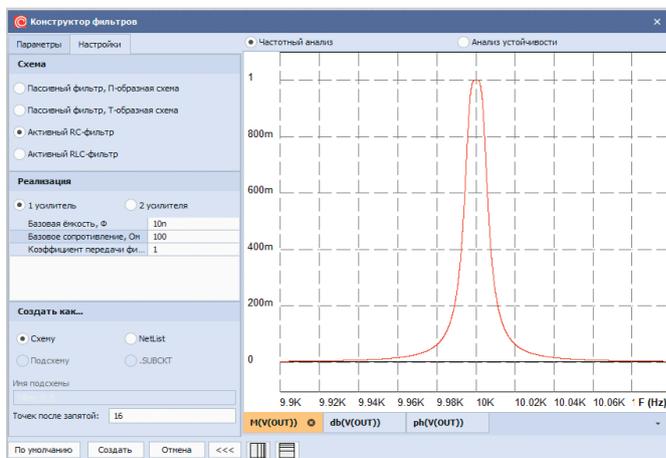


Рис. 4. Окно *Конструктор фильтров*, вкладка *Настройки*

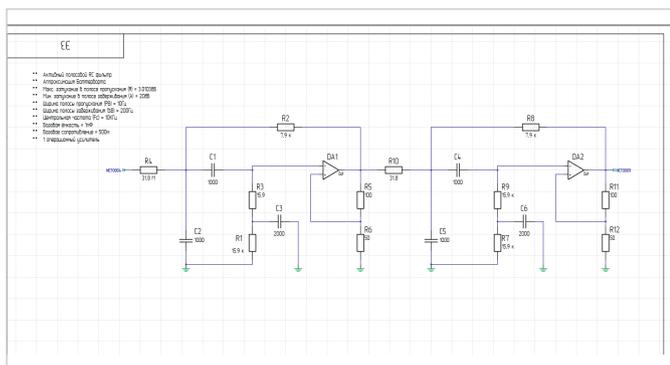


Рис. 5. Принципиальная схема полосового фильтра

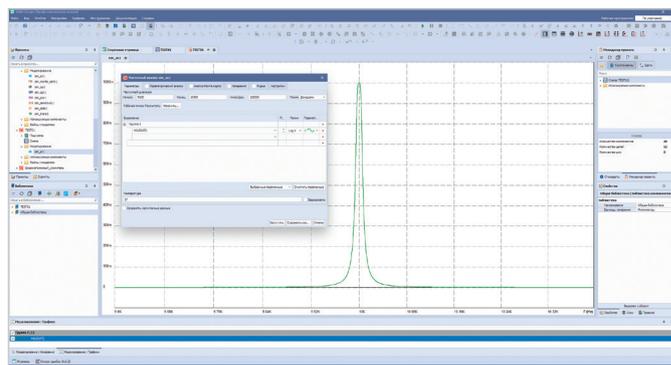


Рис. 6. АЧХ фильтра

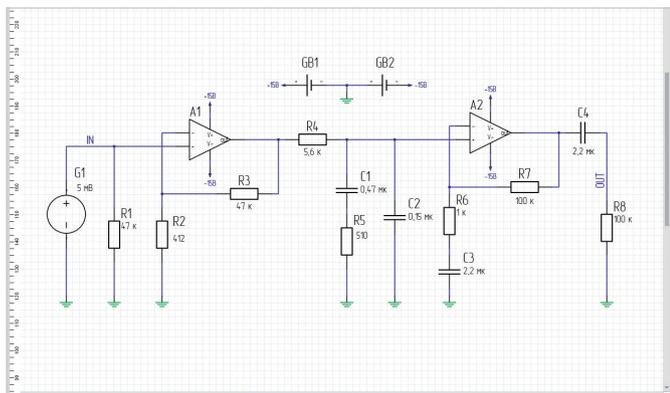


Рис. 7. Электрическая принципиальная схема усилителя

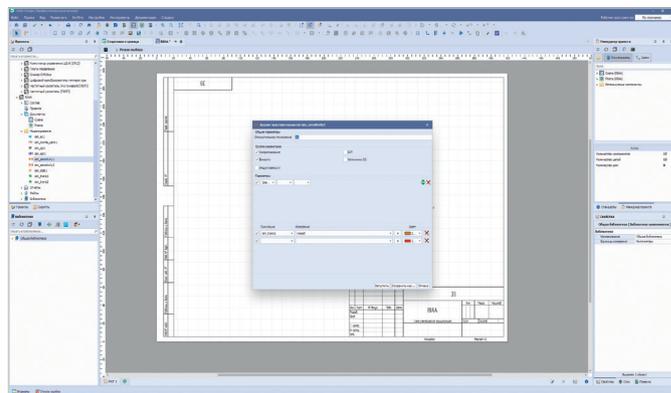


Рис. 8. Настройки расчёта чувствительности схемы

20 дБ. Находясь на открытой принципиальной схеме в главном меню, нужно выбрать команду *SimOne* → *Конструктор фильтров*.

Откроется окно **Конструктора фильтров** (рис. 3). Конструктор фильтров имеет две вкладки: **Параметры** и **Настройки**.

На вкладке **Параметры** следует выбрать тип фильтра – **Полосовой**, указать аппроксимацию полинома и порядок **Баттерворта 2** и ввести параметры фильтра: центральную частоту, ширины полос пропускания и задерживания, значения минимального затухания на границе полосы задерживания и максимального затухания на границе полосы пропускания. На графике увидим рассчитанные частотные характеристики фильтра. Для просмотра доступны амплитудно-частотная характеристика в линейном масштабе частот, а также логарифмическая амплитудно-фазовая частотная характеристика (ЛАФЧХ, диаграмма Боде). Помимо просмотра частотных характеристик фильтра, можно провести расчёт собственных частот или отобразить годограф Михайлова, чтобы оценить характеристику устойчивости фильтра на этапе создания.

Завершим настройку фильтра, выберем **Активный RC-фильтр** (рис. 4).

Для этого на вкладке **Настройки** определим тип схемы фильтра и её характеристики. В области **Создать как...** необходимо отметить значение **Схему**. После нажатия на кнопку **Создать** будет создана схема фильтра в виде функциональной группы принципиальной схемы (рис. 5). Пассивные компоненты принципиальной схемы фильтра будут иметь рассчитанные значения номинальных величин. Для активных фильтров применяется модель операционного усилителя, близкая по характеристике к идеальной.

Теперь для контроля выполним верификацию полученной схемы и построим её частотную характеристику в диапазоне частот 9,6–10,4 кГц (рис. 6).

При помощи средств измерения графиков можно убедиться, что АФЧХ фильтра соответствует целевым требованиям.

Более подробно процесс создания фильтров был рассмотрен на вебинаре [1].

Анализ чувствительности

При помощи анализа чувствительности определяются те параметры электрической цепи, которые оказывают наибольшее влияние на целевые характеристики проектируемого устройства.

В дальнейшем после анализа чувствительности обычно проводят оптимизацию схемы, позволяя существенно ограничить круг варьируемых параметров электрической цепи, что повышает скорость и эффективность оптимизации. Также анализ чувствительности позволяет идентифицировать компоненты электрической цепи, для которых статистическое отклонение параметров от номинальных величин может оказать существенное влияние на её целевые характеристики. Таким образом, его результаты используются в анализе Монте-Карло / худшего случая.

Рассмотрим анализ чувствительности на примере усилителя, моделирование которого описано в первой части этой статьи [2] (рис. 7).

Выполнять расчёт чувствительности измерений в Delta Design с помощью имитатора SimOne нужно по следующему алгоритму.

1. В редакторе схем выполнить команду **SimOne** → **Новое моделирование** → **Анализ чувствительности**.
2. Выбрать компоненты и указать их параметры, чувствительность (рис. 8) к изменению которых требуется рассчитать.

С помощью механизма измерений следует выбрать интересующие харак-

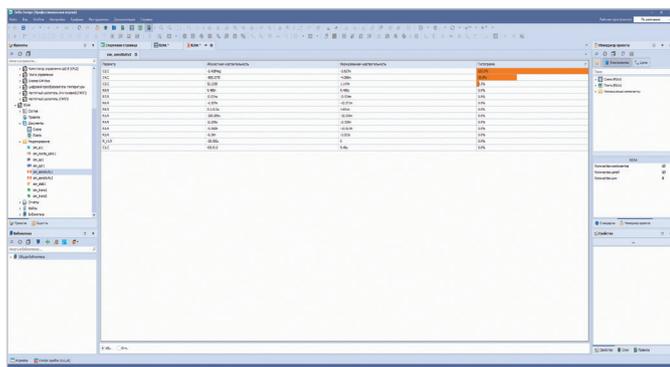


Рис. 9. Абсолютные значения чувствительности

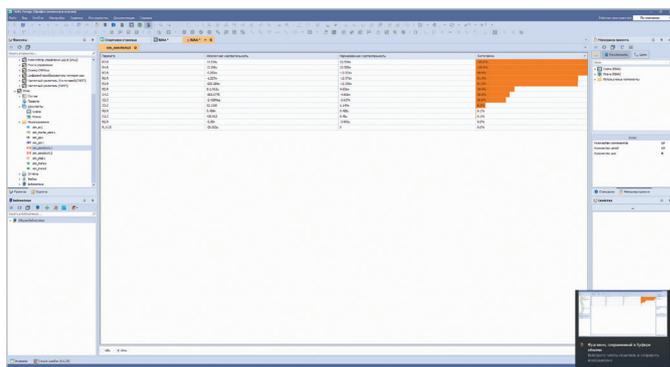


Рис. 10. Относительные значения чувствительности

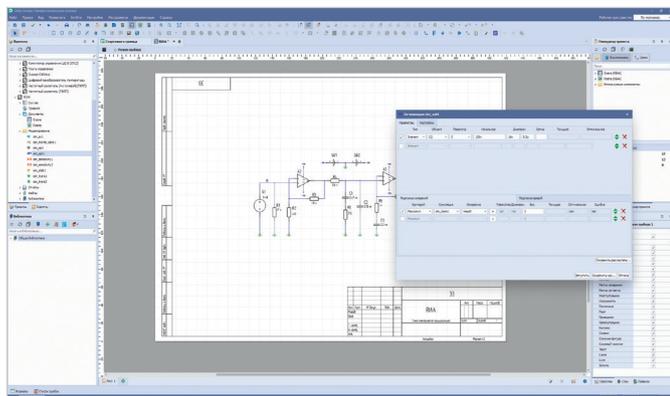


Рис. 11. Настройка параметров анализа оптимизации электрической цепи

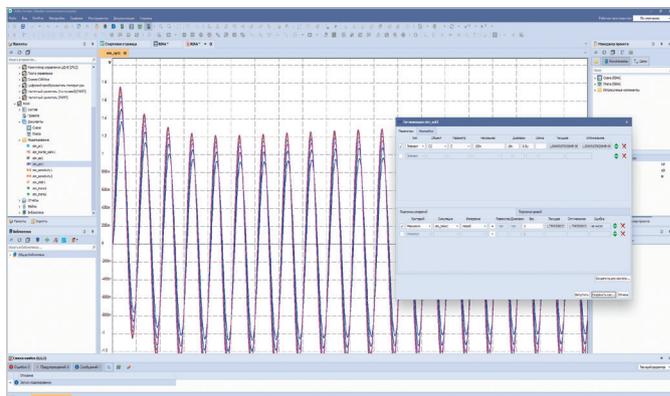


Рис. 12. Графики расчёта электрической цепи с результатами оптимизации

теристики схемы, влияние на которые необходимо оценивать.

После запуска расчёта чувствительности SimOne сначала запускает соответствующие виды расчёта электрической цепи при номинальных значениях параметров компонентов, а затем последовательно запускает расчёты при отклонении параметра каждого из них от своего номинального значения на заданное значение. После проведённого расчёта программа выведет численные значения чувствительностей и гистограммы их относительных значений (рис. 9, 10).

Оптимизация схемы

SimOne даёт возможность оптимизировать схемы. В ходе оптимизации производится настройка характеристик схем на заданные значения с помощью изменения параметров её компонентов. Также оптимизация используется для нахождения таких значений параметров компонентов, при которых характеристики схемы достигают максимальных или минимальных значений. Например, максимальный коэффициент усиления на заданной частоте, минимальное значение полосы пропускания фильтра и т.п.

Для проведения оптимизации схем в SimOne:

- указывают компоненты электрической цепи, которые можно изменять, и пределы изменения их параметров;
- в режиме **Подгонка измерений** (рис. 11): с помощью механизма **Измерений** выбираются интересующие характеристики электрической цепи, которые необходимо улучшить или контролировать;
- в режиме **Подгонка кривой** указывают текстовый файл, содержащий координаты точек графика, и выражение, значение которого будут приближать к значениям указанного графика;
- выбирают алгоритм проведения оптимизации.

В ходе оптимизации Delta Design SimOne в соответствии с выбранным алгоритмом будет упорядоченным образом менять указанные параметры компонентов схемы, чтобы максимально удовлетворить выбранным критериям оптимизации схемы: привести к максимуму или к минимуму заданные характеристики либо ограничить их в указанном диапазоне, в зависимости от того, что будет выбрано пользователем. При этом создаётся вкладка с названием симуляции, окно настройки пара-

метров оптимизации остаётся открытым, а в поля **Текущее**, **Оптимальное** и **Ошибка** выводятся результаты оптимизации (рис. 12).

Анализ Монте-Карло

Анализ Монте-Карло позволяет производить анализ электрической цепи с учётом статистического отклонения параметров её компонентов от номинальных величин (рис. 13). Этими параметрами могут быть:

- параметр отдельного элемента схемы;
- параметр модели компонентов;
- параметр сигнала источников;
- глобальный параметр (параметр, который может входить в выражения, используемые для задания параметров элементов схемы, моделей, сигналов).

Результатами расчётов при всех типах анализа являются полученные семейства графиков схемы, а также гистограммы распределения исследуемых характеристик (рис. 14).

Назначение SPICE-модели компоненту

Delta Design SimOne содержит встроенную библиотеку SPICE-моделей. Но часто возникает необходимость под-

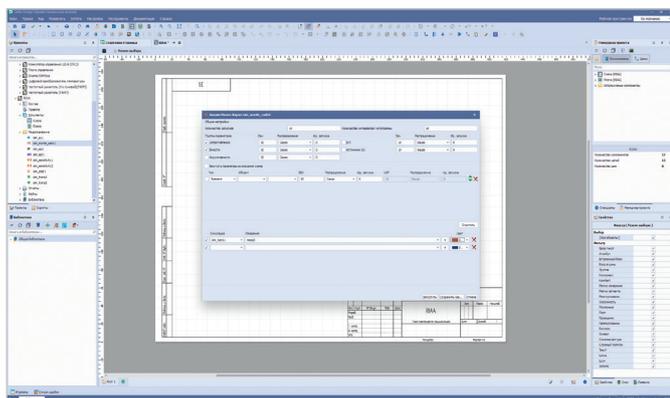


Рис. 13. Окно настройки расчётов методом Монте-Карло

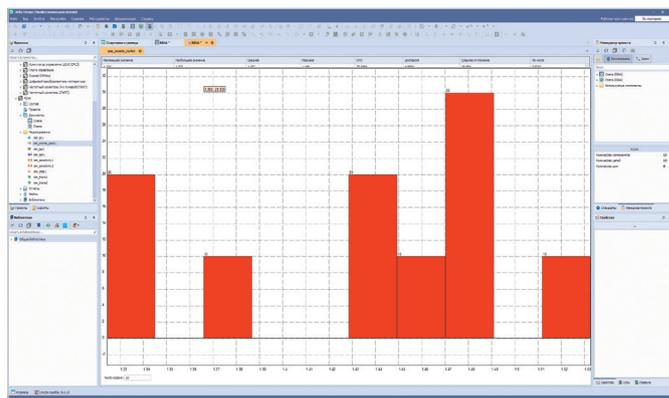


Рис. 14. Гистограмма результатов расчётов методом Монте-Карло

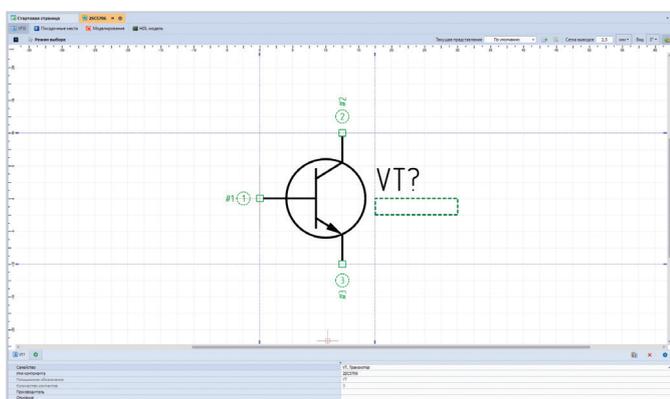


Рис. 15. Создание компонента (биполярного p-n-p транзистора)

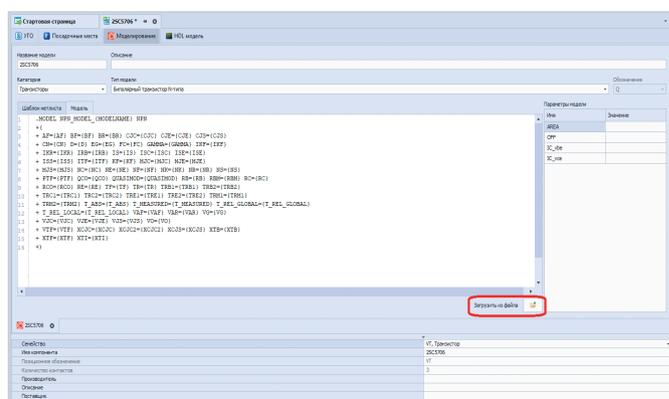


Рис. 16. Создание SPICE-модели транзистора по умолчанию

ключения модели к существующему или вновь созданному библиотечному компоненту. Покажем процедуру назначения SPICE-модели компоненту на примере.

1. В библиотеке создадим новый компонент – p-n-p транзистор (рис. 15).
2. Во вкладке компонента **Моделирование** выбираем **Добавить SPICE-модель в компонент**, в поле **Категория** выбираем **Транзисторы**, в поле **Тип модели** – **Биполярный транзистор N-типа**. По умолчанию создается SPICE-модель «примитивного» транзистора (рис. 16).
3. Можно загрузить модель компонента из внешнего файла. Модель может быть создана пользователем или получена с сайта производителя. Для этого следует нажать кнопку **Загрузить из файла** и выбрать файл модели.
4. Необходимо выводам УГО назначить выводы модели (рис. 17).

В результате получаем компонент библиотеки с подключённой SPICE-моделью.

Заключение

Рассмотренные в данной и предыдущей статье методы и инструменты

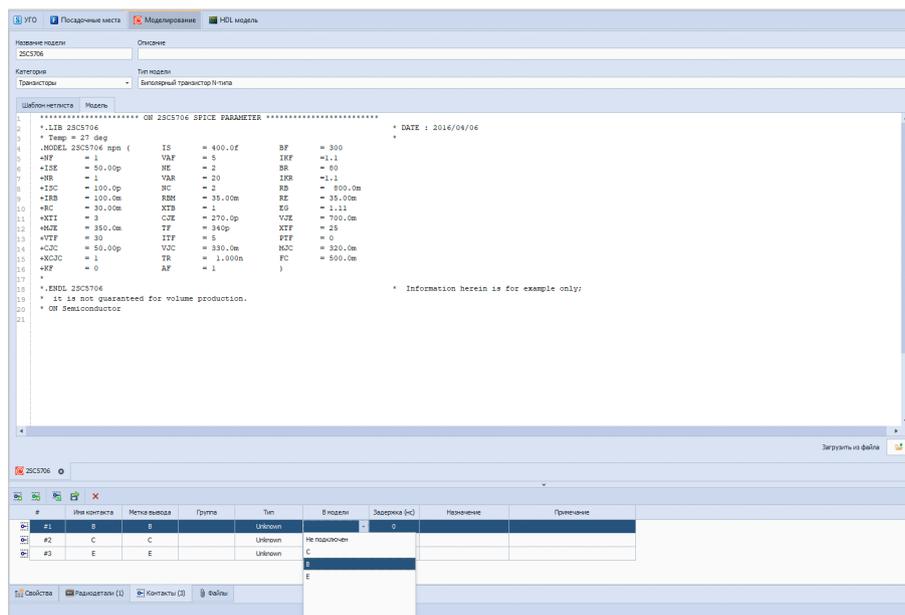


Рис. 17. Назначение выводам УГО выводов модели

схмотехнического моделирования Delta Design SimOne предоставляют инженерам-схмотехникам широкие возможности оценки характеристик и параметров электрической цепи, обеспечивают возможности оптимизации, что позволяет сократить сроки проектирования и снизить затраты на натурное моделирование электронных устройств.

Литература

1. Видеозапись вебинара компании «Эрмекс». Синтез и моделирование фильтров в Delta Design SimOne // URL: <https://youtu.be/wB6AeY5hCTA>, режим доступа свободный.
2. Смирнов А., Гимшин А. Схмотехническое моделирование в Delta Design SimOne // Современная электроника. 2021. № 9. С. 34–37.