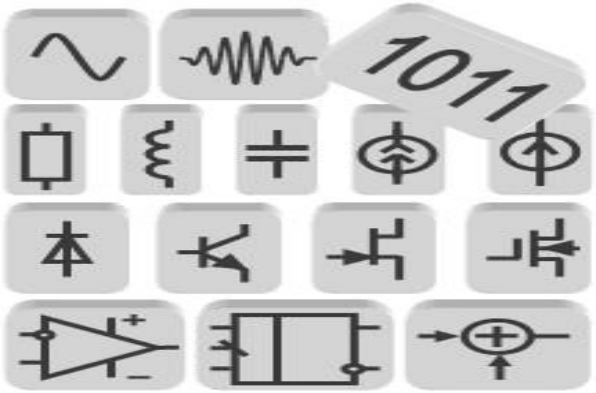


Моделирование электронных схем

Описание моделирования в программе uSpice (ruSpice)

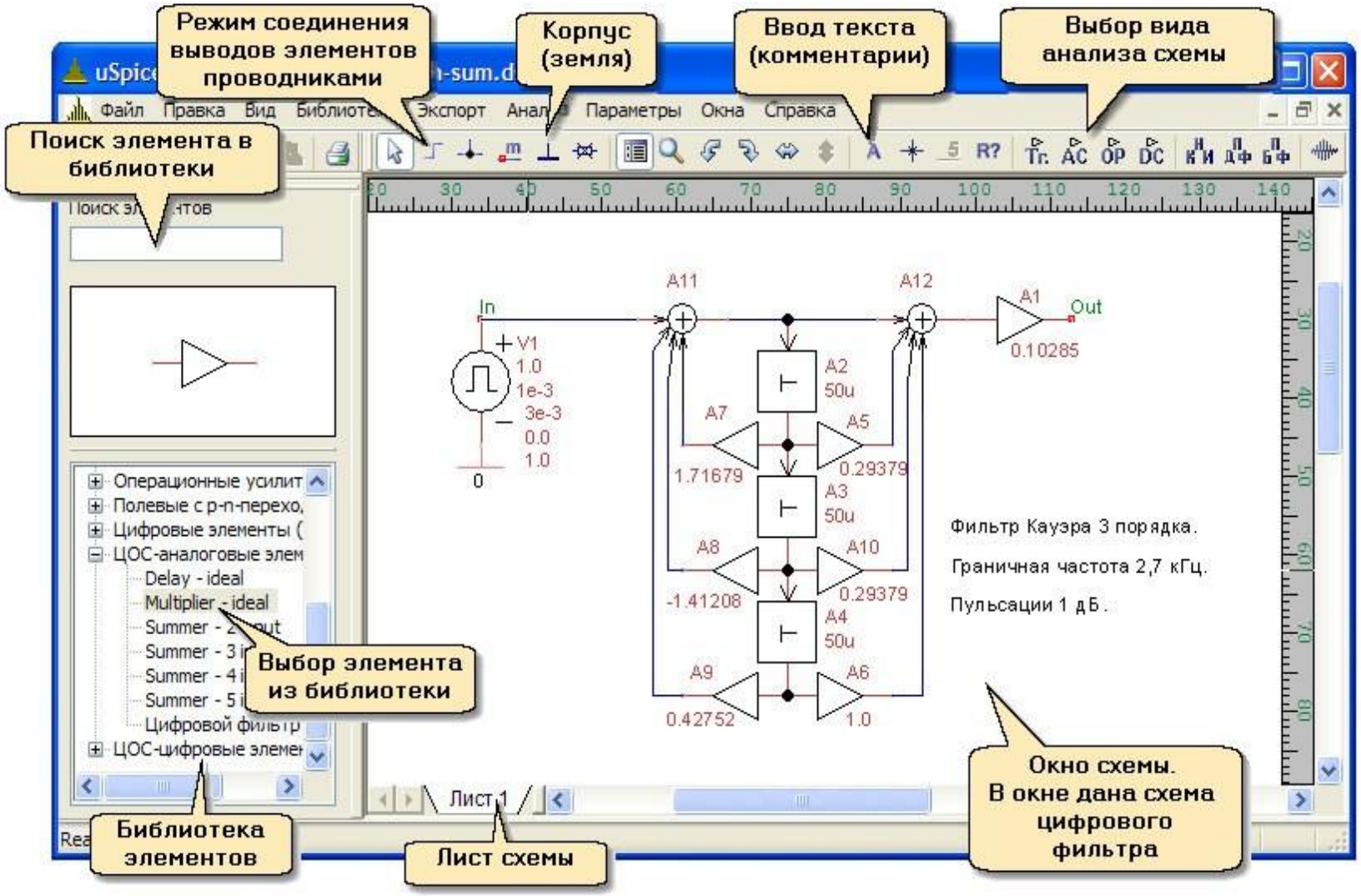
Задачи занятия

- Изучить структуру пакета uSpice и назначение основных модулей
- Изучить принципы Spice-моделирования и основные команды
- Изучить пользовательский интерфейс пакета uSpice
- Изучить основные методы компьютерного анализа электронных схем во временной и частотной области

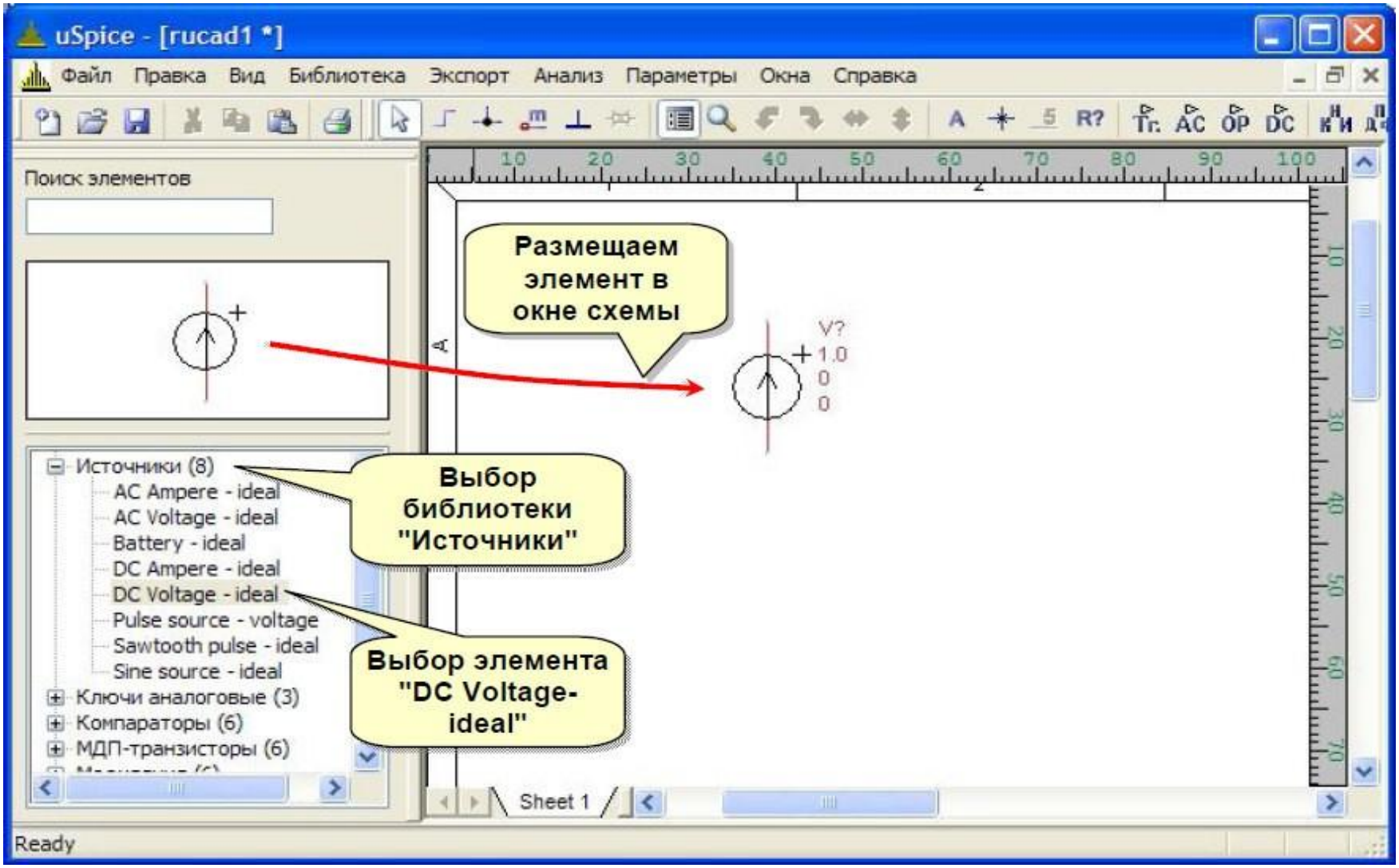
Общая структура пакета

- Основная программа uSpice
  - Пользовательский интерфейс
  - Библиотека элементов
- Программа анализа uXSpice
  - Библиотеки Spice-описаний элементов
  - Модуль моделирования схем
  - Модуль представления результатов (протокол, графики)
- Библиотека тестовых электронных схем

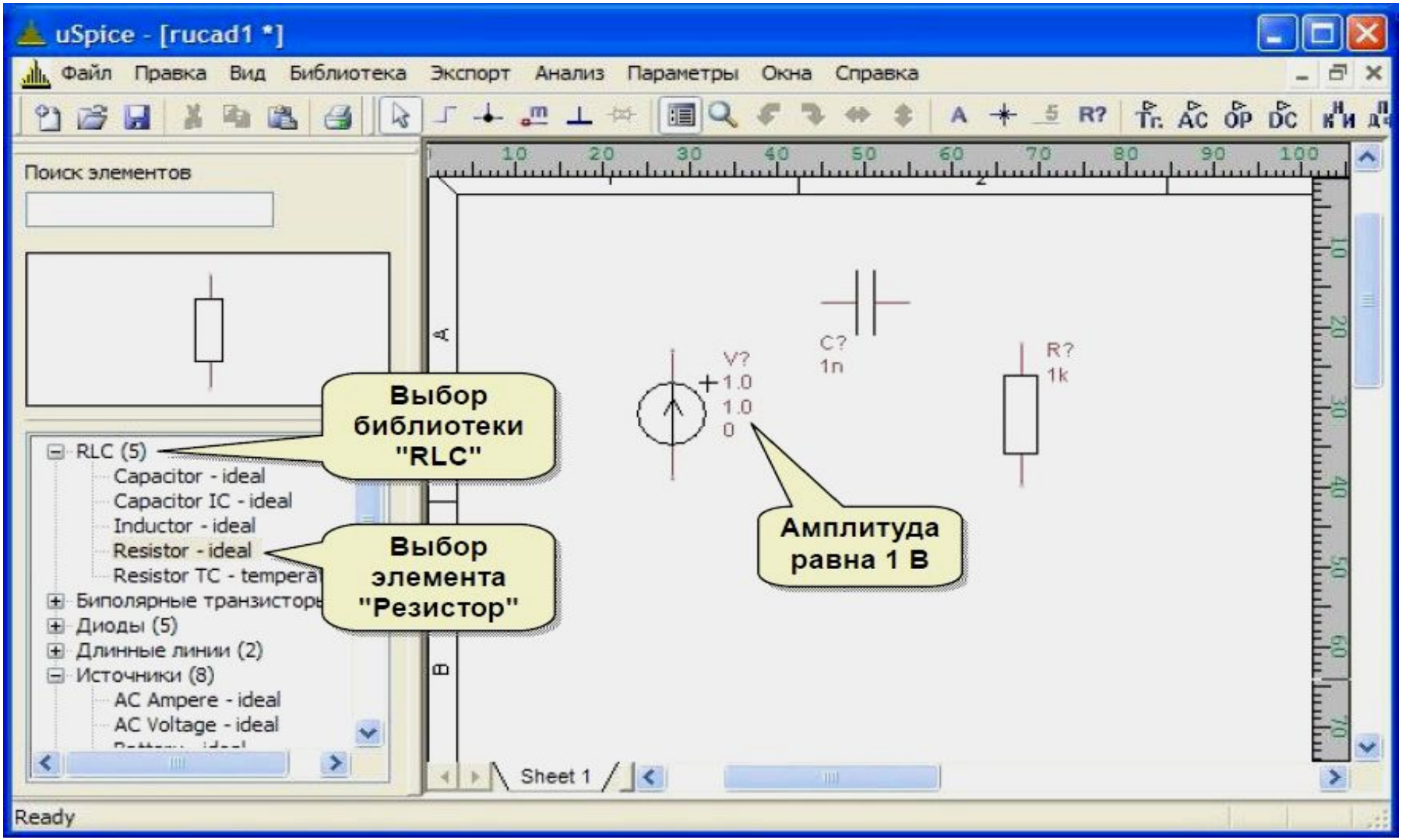
Общий вид программы



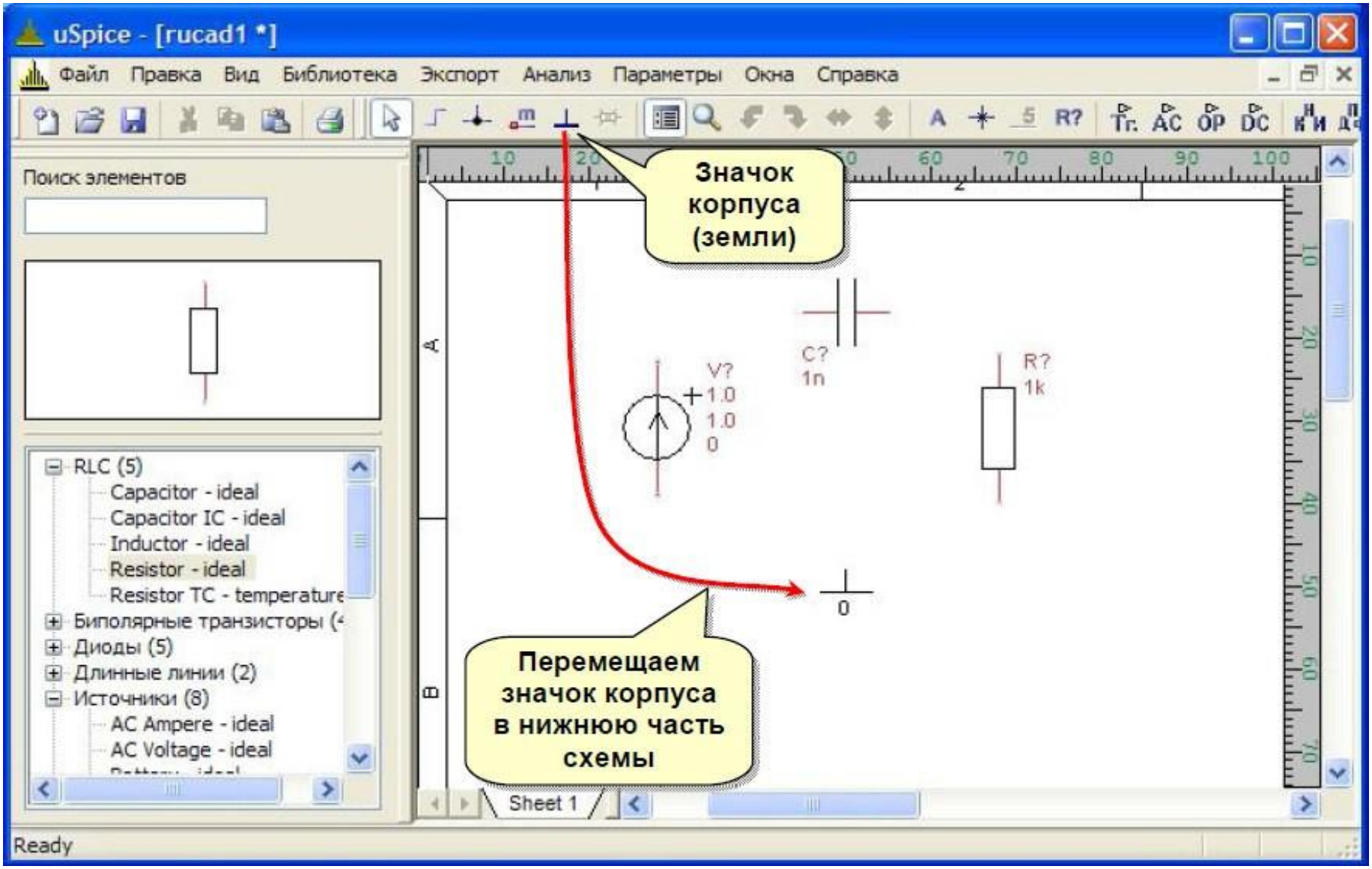
Быстрое начало



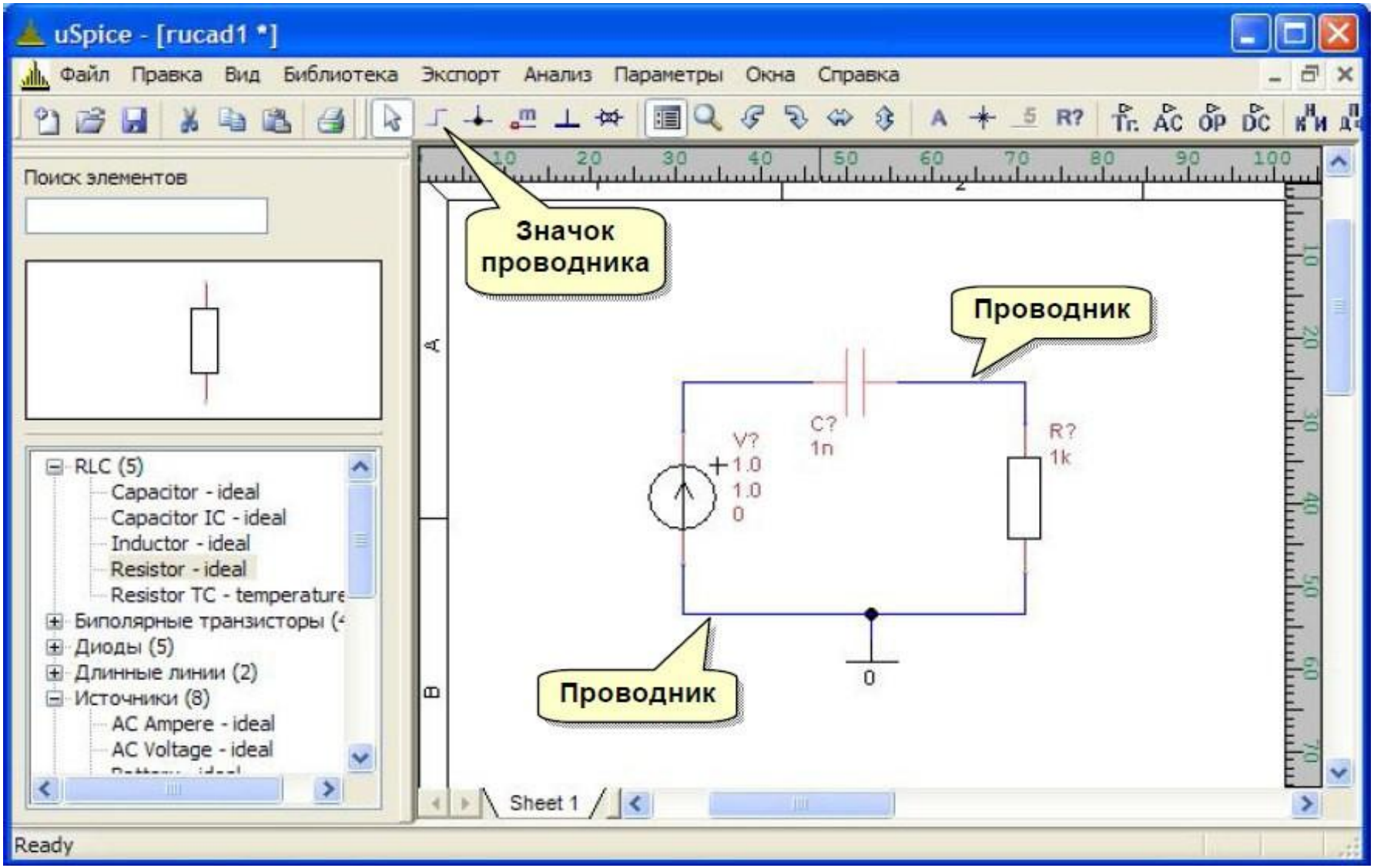
Размещение элементов



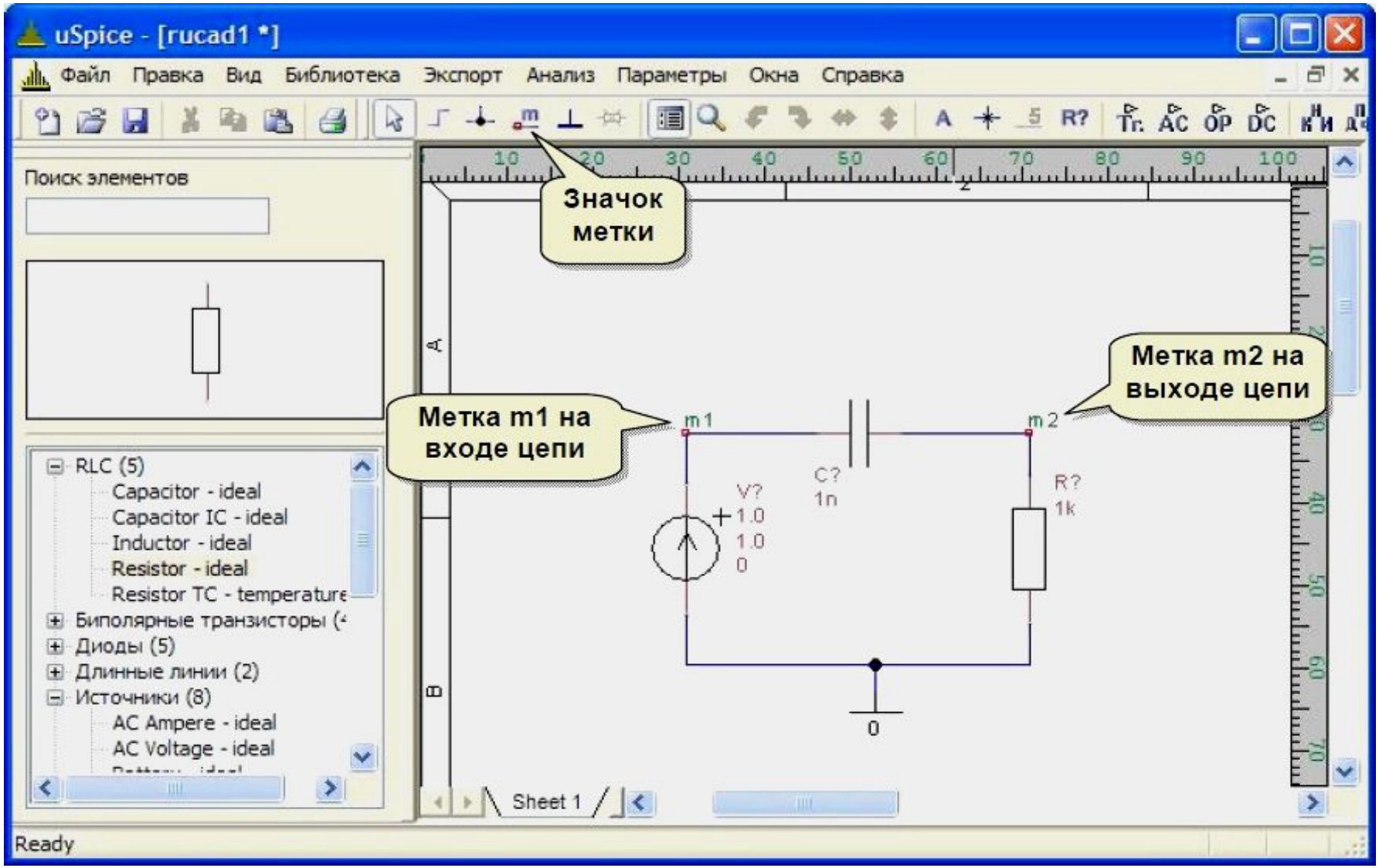
Добавление «земли»



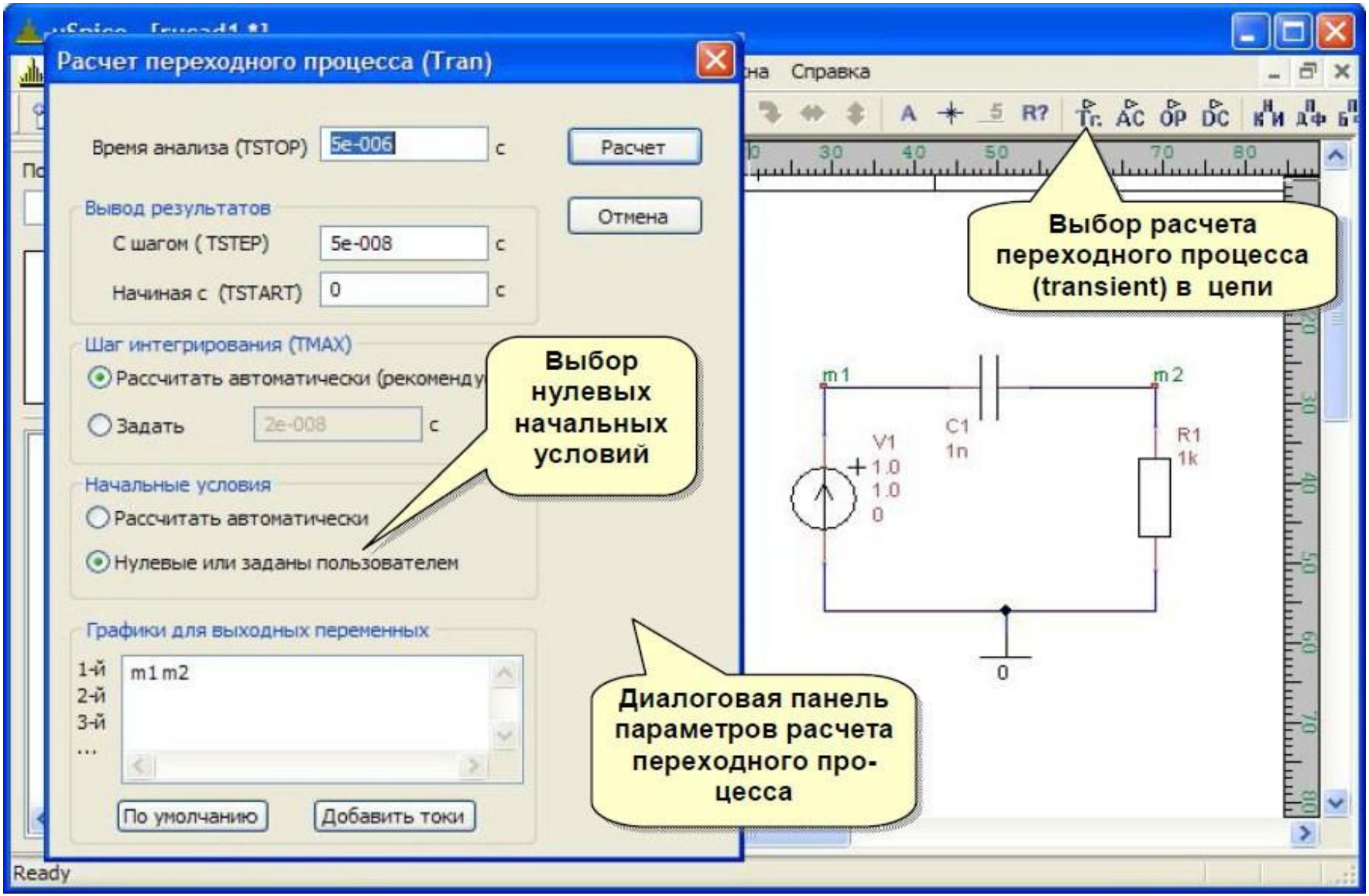
Соединение проводниками



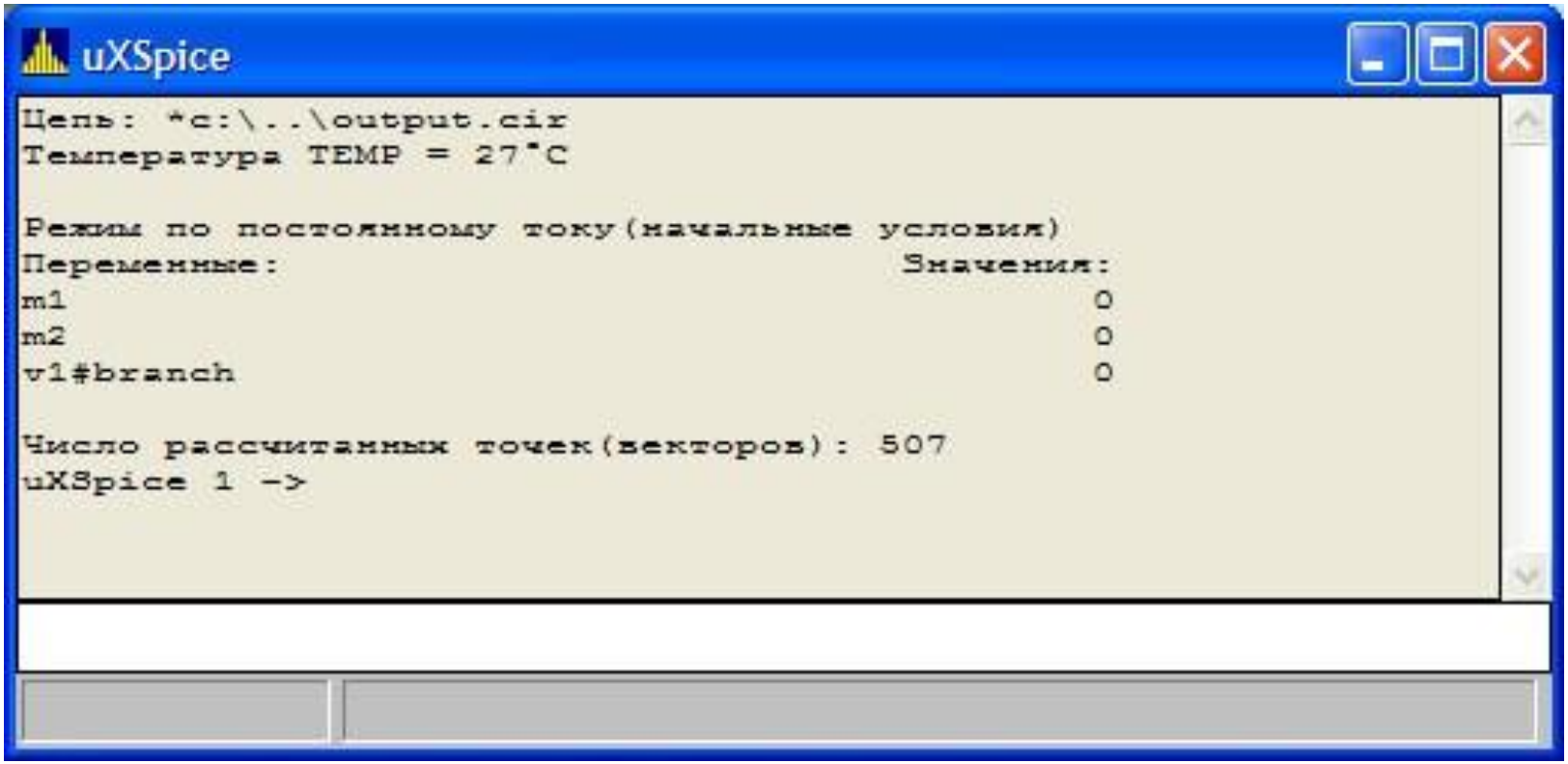
Добавление меток



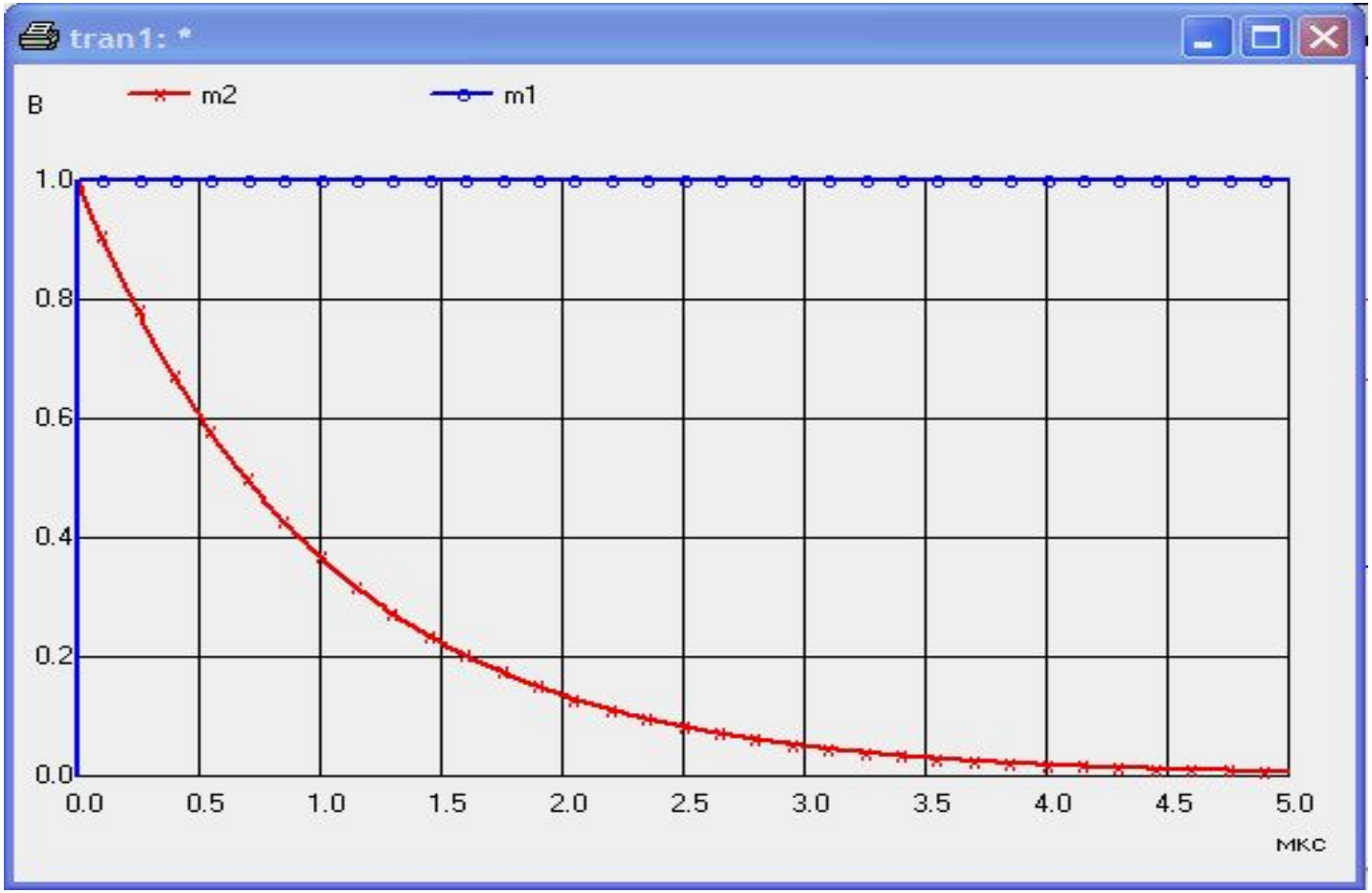
Анализ схемы



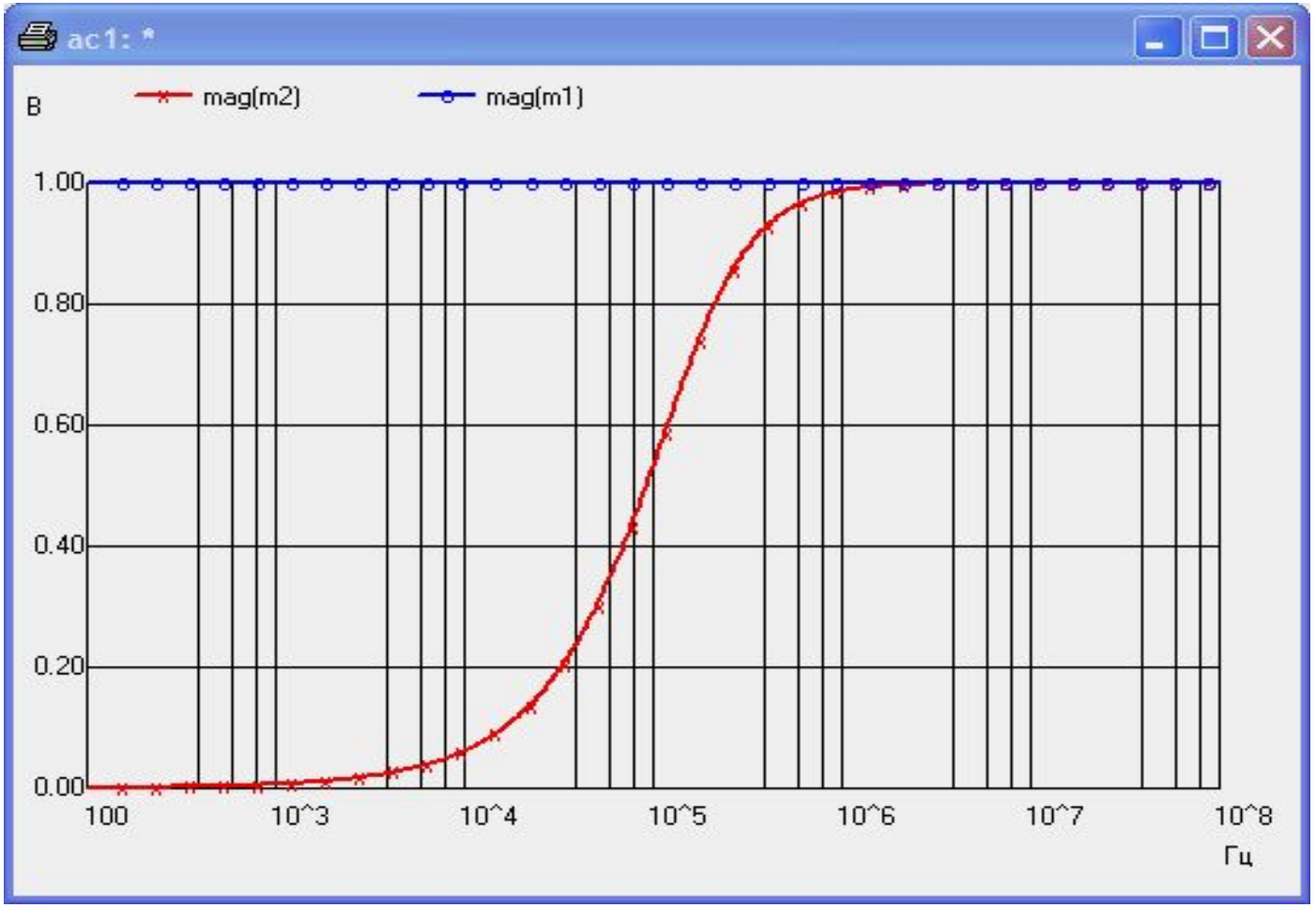
Окно расчёта параметров



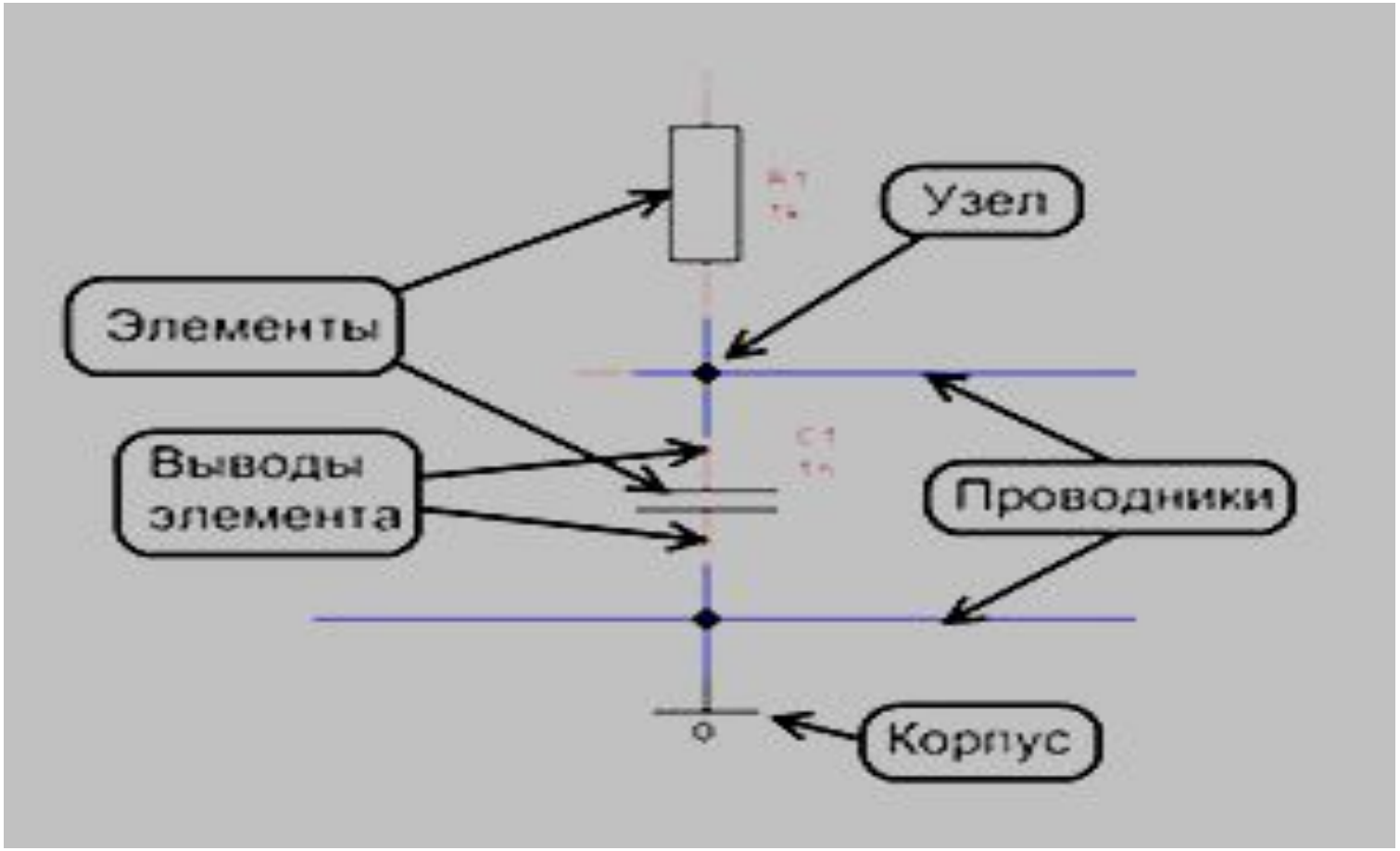
Переходная характеристика



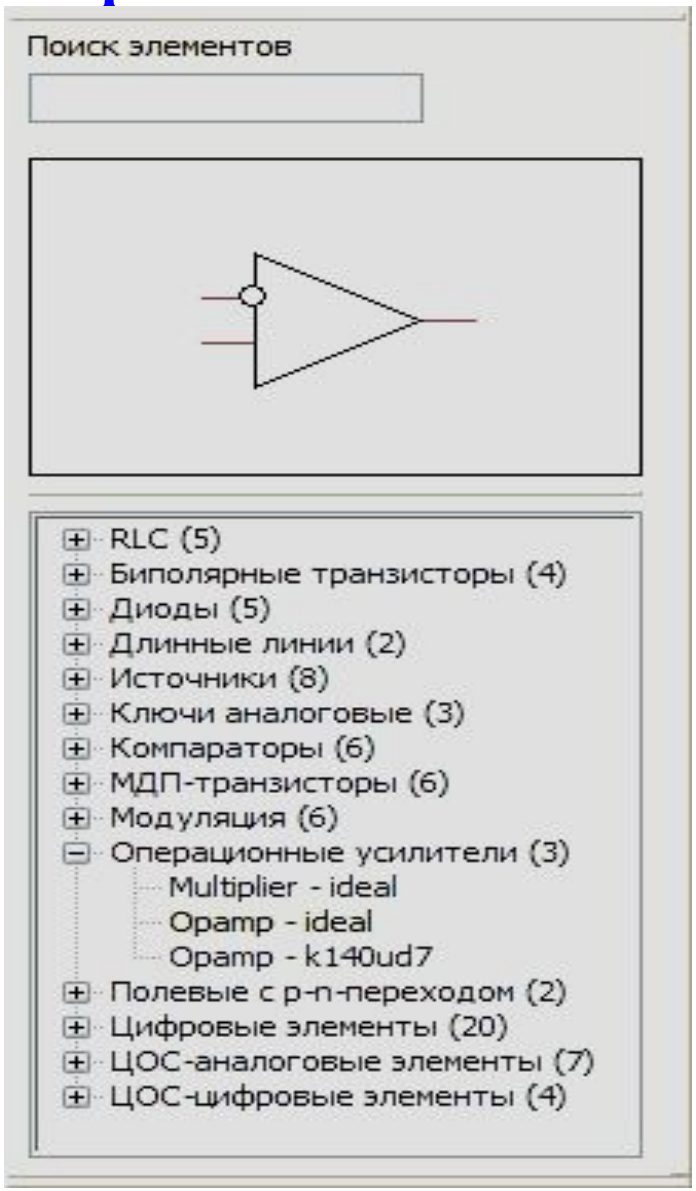
АЧХ схемы


ac1: *
mag(m2)
mag(m1)
В
1.00
0.80
0.60
0.40
0.20
0.00
100
10^3
10^4
10^5
10^6
10^7
10^8
Гц

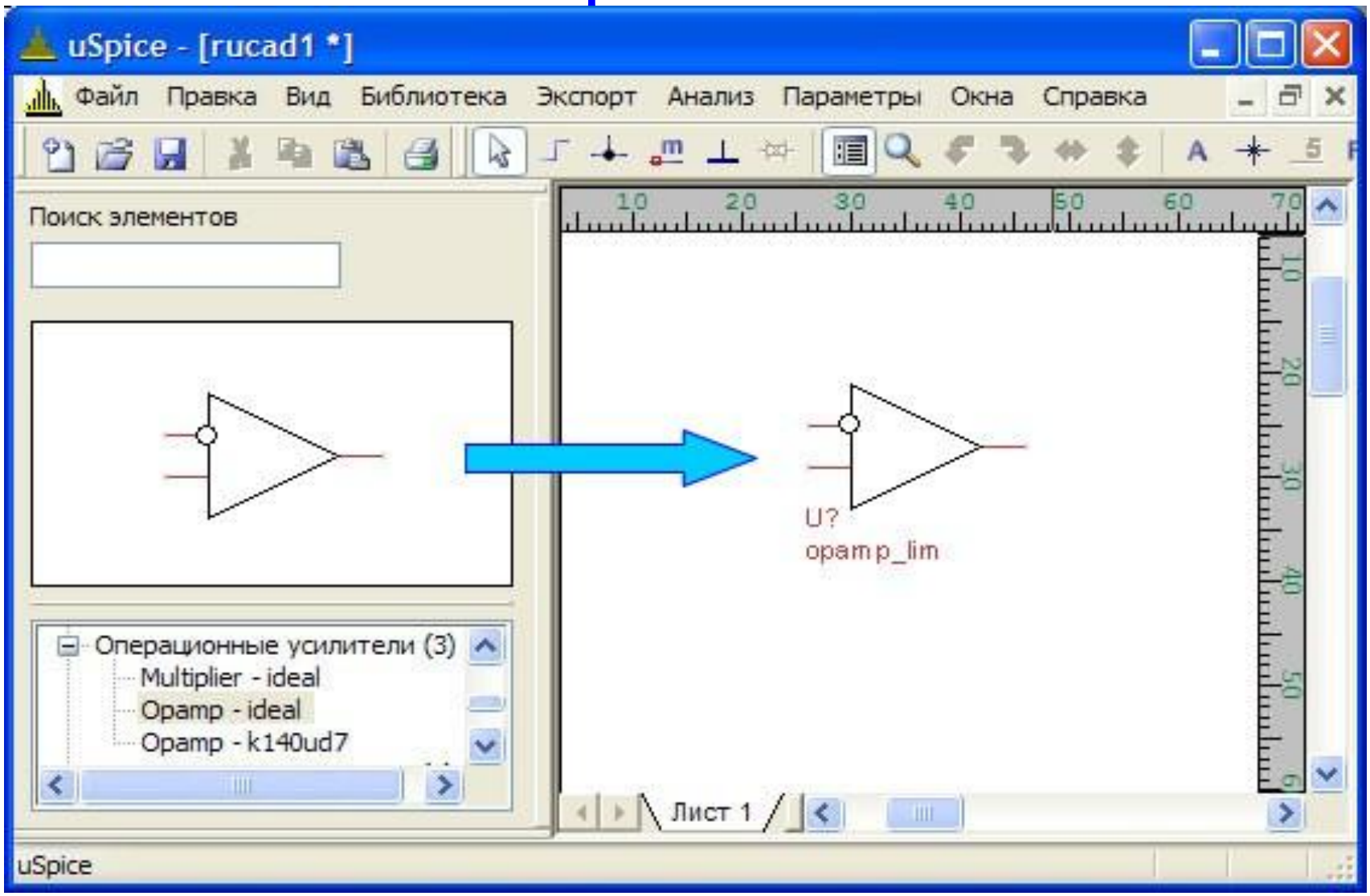
Создание схемы: узлы



Размещение элементов: Выбор библиотеки

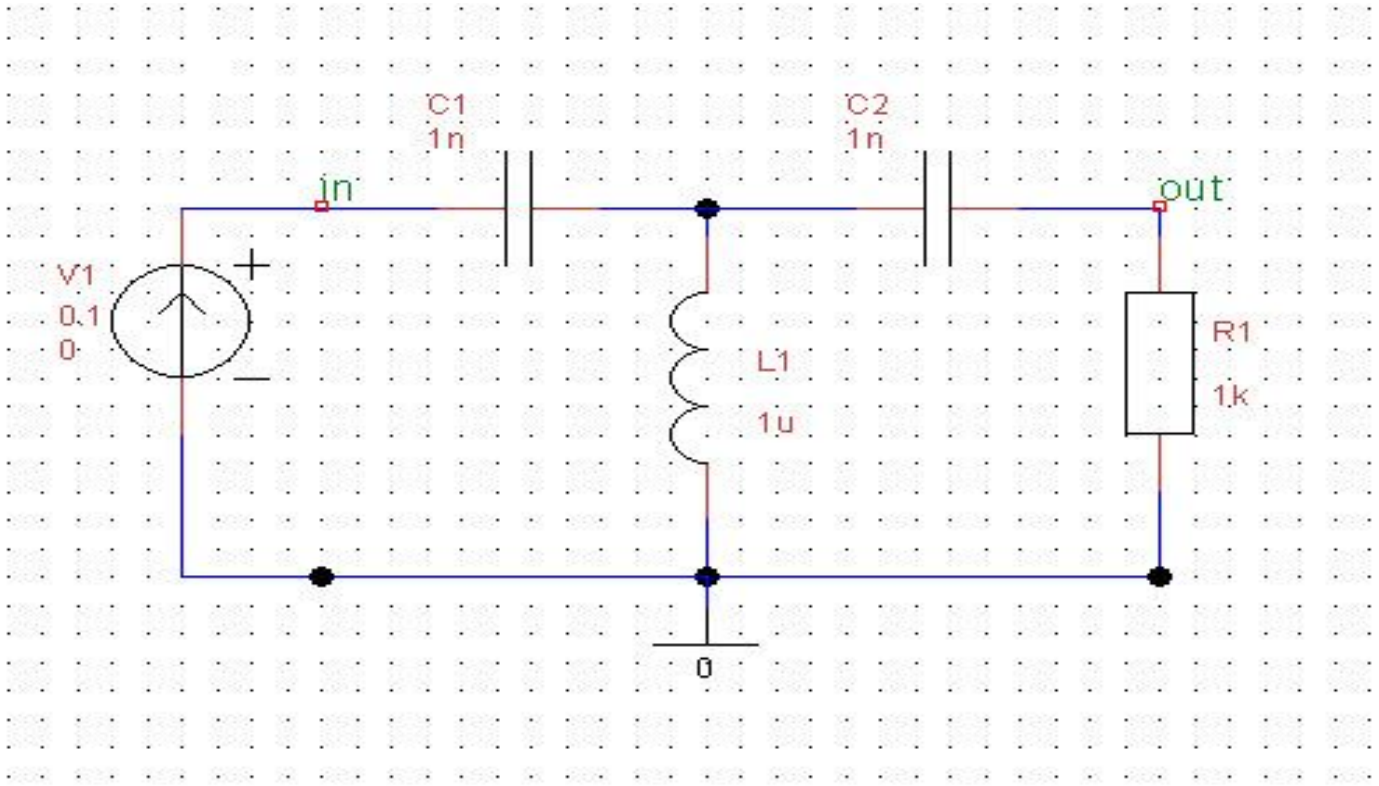


Размещение элементов: Выбор элемента



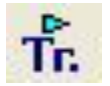
Создание схемы

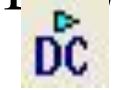
- **Корпус (заземление)**
- **Соединение выводов радиоэлементо**
- **Использование меток**

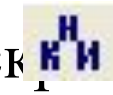


Анализ электрических цепей

- Программа uSpice позволяет проводить четыре основных вида анализа:
  - исследование переходных процессов во временной области (режим Tran)
  - расчет схем методом комплексных амплитуд (режим AC)
  - расчет рабочей точки на постоянном токе (режим OP),
  - многовариантный расчет на постоянном токе (режим DC)
- Дополнительные возможности анализа:
  - коэффициент нелинейных искажений (КНИ);
  - цифровая обработка сигналов с помощью дискретного преобразования Фурье (ДПФ)
  - и быстрого преобразования Фурье (БПФ);
  - найти огибающую и фазу аналитического сигнала







Анализ цепей: принцип

1) После нажатия одного из указанных восьми значков появляется соответствующая диалоговая панель с параметрами расчета.
2) После заполнения панели данными автоматически формируется .cir файл задания, содержащий описание цепи и директивы для проведения расчета.
3) Этот .cir файл записывается в тот же каталог, куда записывается .dsn файл с графическим описанием схемы цепи.
4) Затем подготовленный .cir файл передается подпрограмме uXSpice, которая проводит расчет цепи и представляет выходные данные в виде таблиц и графиков.

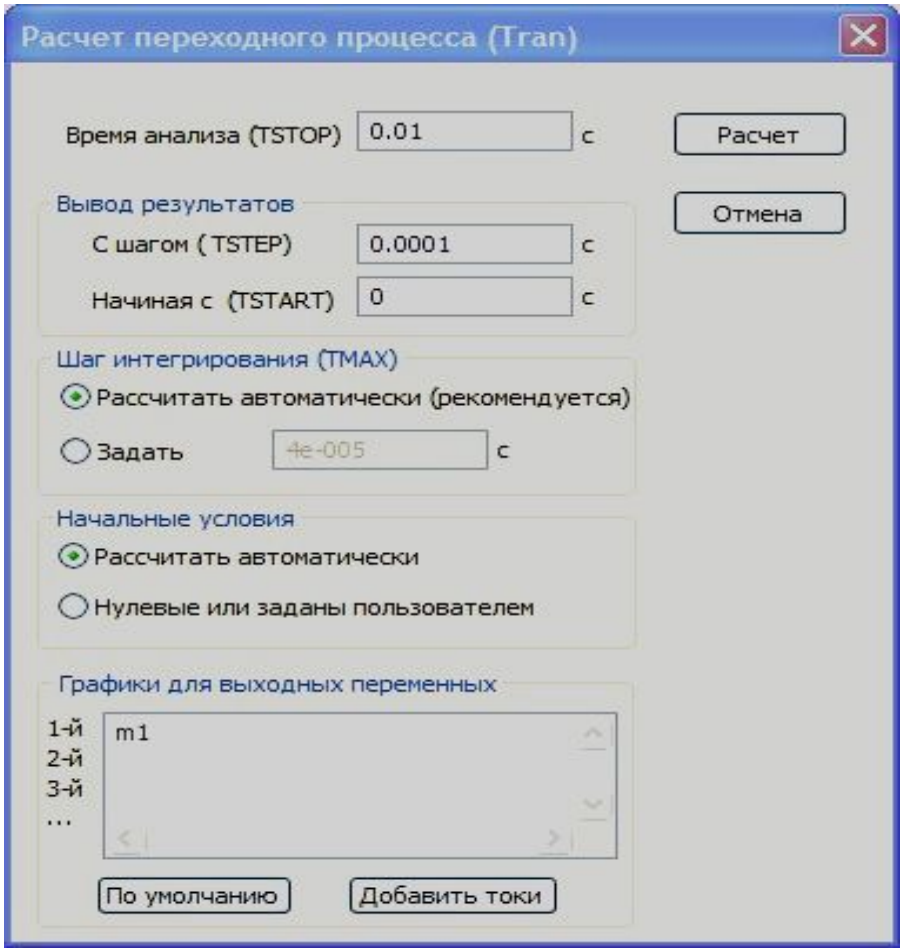
Анализ цепей: расчёт переходного процесса (1)

- Расчет переходных процессов в электрической цепи предполагает получение выходных напряжений или токов как функций времени в заданном временном диапазоне. Так как радиоэлектронные цепи в программе uSpice в общем случае описываются дифференциальными уравнениями, то расчет переходного процесса проводится с использованием численного интегрирования. Переходные процессы рассчитываются от нулевого момента времени до заданного момента времени TSTOP. Перед началом расчета переходных процессов по-умолчанию производится расчет рабочих точек (статического режима).
- Предварительный расчет рабочих точек может быть отменен, – вместо него можно задать нулевые начальные условия или начальные условия, определенные пользователем.
- Шаг при расчете переходных процессов может существенно меняться, т.к. он каждый раз выбирается системой автоматически исходя из условий минимизации времени вычислений и допустимых погрешностей. Для вывода результатов с фиксированным шагом TSTEP используется интерполяция данных.

Анализ цепей: расчёт переходного процесса (2)

- SPICE-инструкция для задания расчета во временной области имеет вид
  .TRAN TSTEP TSTOP [TSTART [TMAX]] [UIC]
- Здесь TSTEP — шаг вывода результатов расчета переходных процессов на печать,
- TSTOP — конечное время расчета переходных процессов,
- TSTART — начальное время вывода переходных процессов на печать (если TSTART не задано, то его значение считается нулевым).
- На интервале времени (0, TSTART) схема рассчитывается, но результаты расчета на печать не выводятся.
- На интервале (TSTART, TSTOP), схема рассчитывается и результаты выводятся на печать. С помощью необязательного параметра TMAX можно ограничить максимальную величину автоматически устанавливаемого шага интегрирования. Опция UIC указывает, что перед расчетом переходных процессов не будет проводиться расчет статического режима, – будут использоваться или нулевые начальные условия, или, если указаны, начальные значения напряжений на конденсаторах, токов в индуктивностях и т.д., которые могут быть заданы опцией IC в параметрах элементов.
- Все описанные параметры инструкции .TRAN вводятся с помощью диалоговой панели, изображенной на рисунке (сл.слайд). Это окно возникает при нажатии на значок **Tr** панели инструментов.

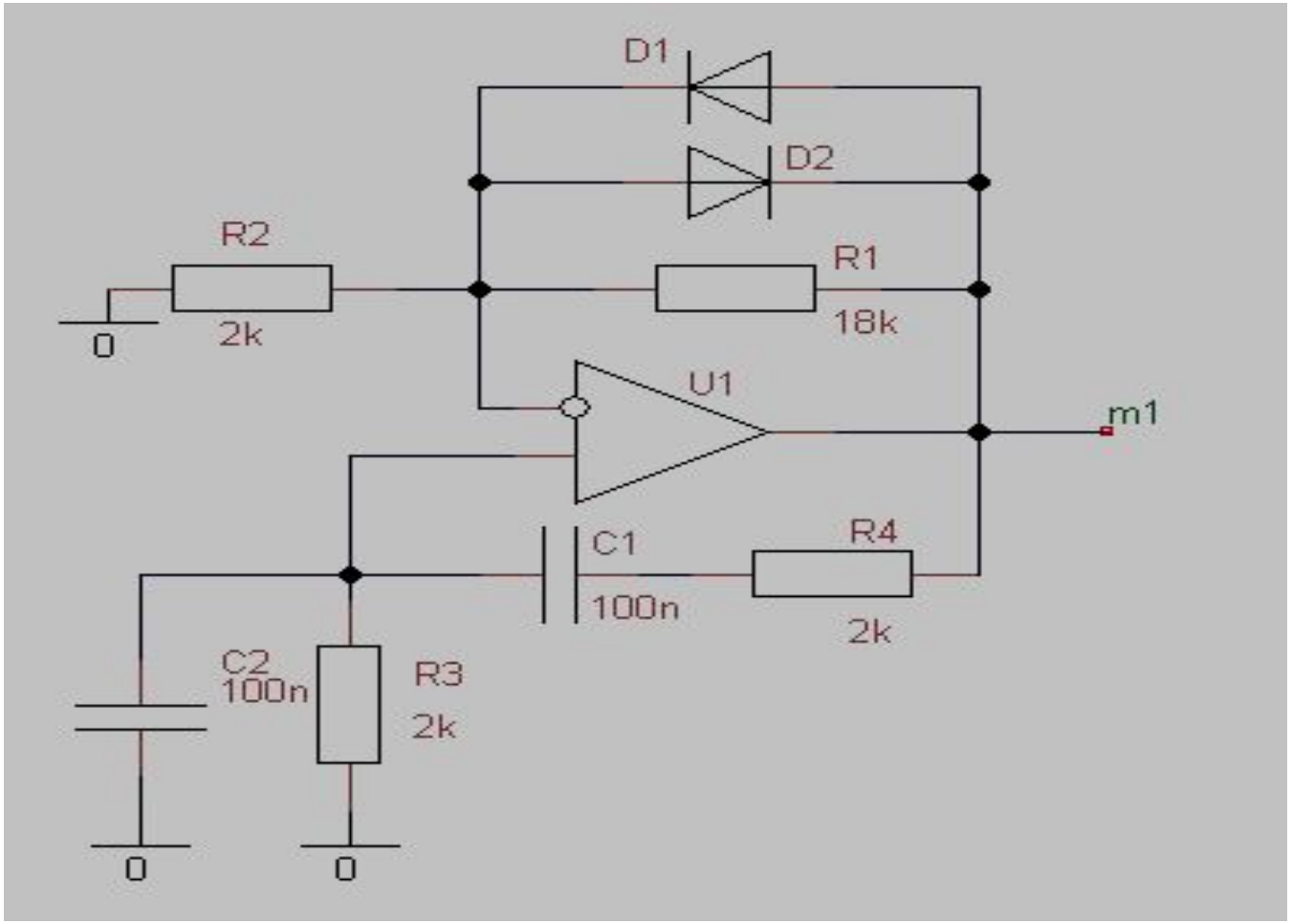
Анализ цепей: расчёт переходного процесса (3)



- В нижней части диалоговой панели имеется небольшое окно текстового редактора для описания выходных переменных. В нем указываются метки узлов, напряжения в которых должны быть выведены в виде графиков.
- Кнопка "По умолчанию" позволяет обновить список этих меток, если пользователь удаляет или добавляет метки в процессе работы со схемой устройства.
- Кнопка "Добавить токи" позволяет внести в окно выходных переменных токи через источники напряжения, которые имеются в схеме или специально добавлены в схему для исследования токов в заданных ветвях. В последнем случае величину напряжения источника устанавливаем равной нулю.
- Список меток в окне выходных переменных можно редактировать. В окне можно записывать формулы, с включением меток. В формулах можно использовать стандартные математические функции.

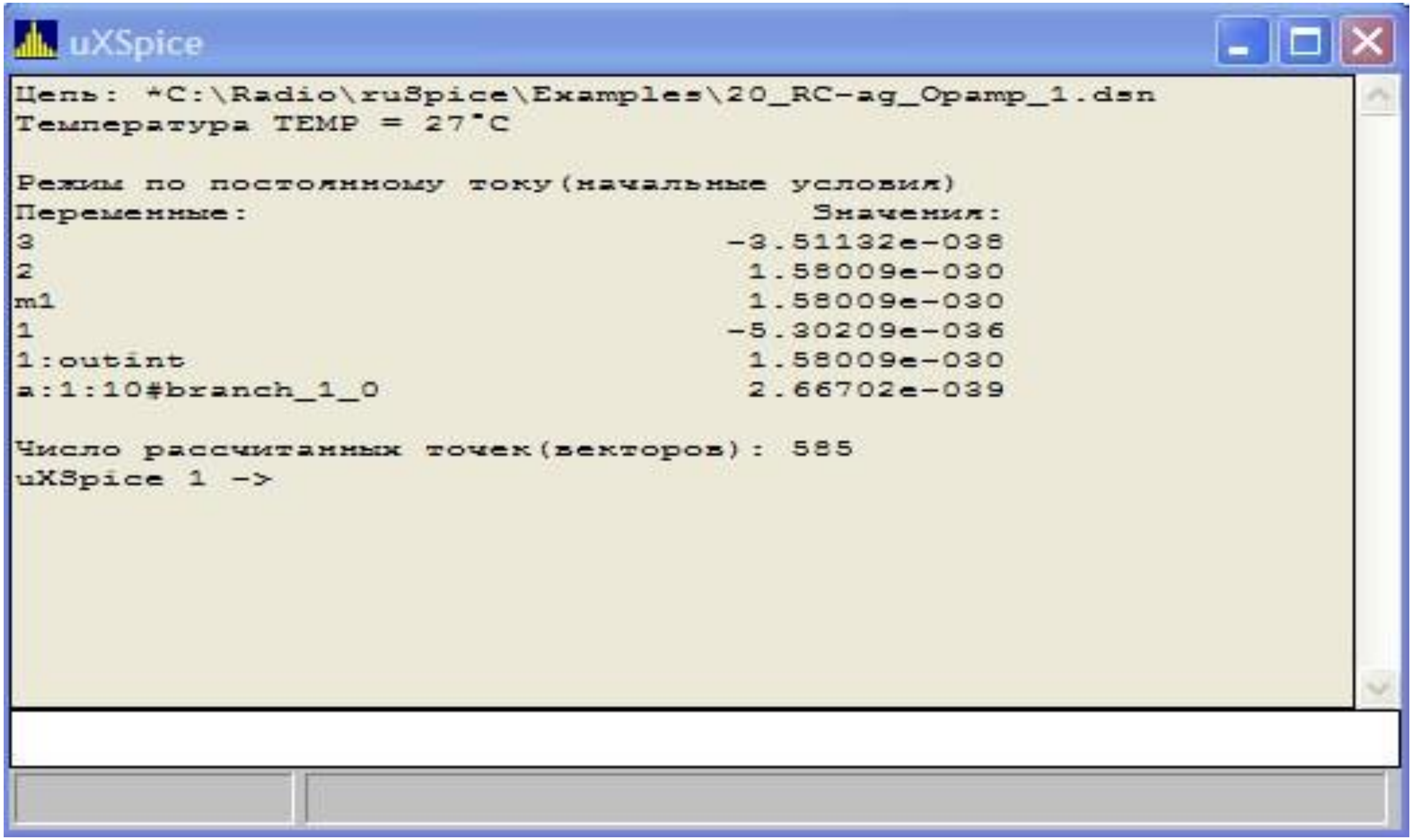
Анализ цепей: расчёт переходного процесса (4)

- Пример расчёта: схема автогенератора



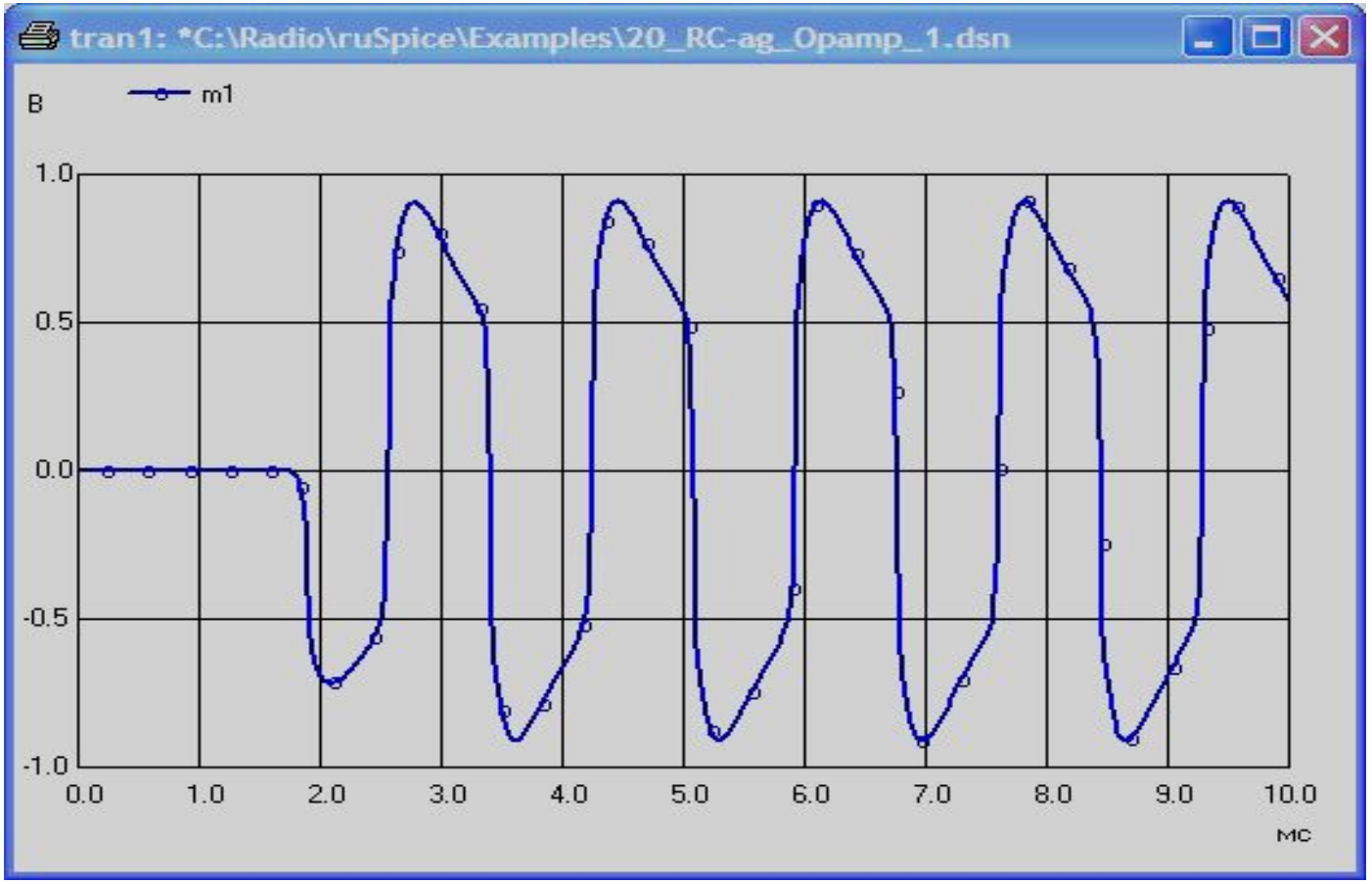
Анализ цепей:
расчёт переходного процесса (5)

- Окно расчёта uXSpice



Анализ цепей: расчёт переходного процесса (6)

- Результат анализа автогенератора



Анализ цепей: расчёт частотных характеристик (1)

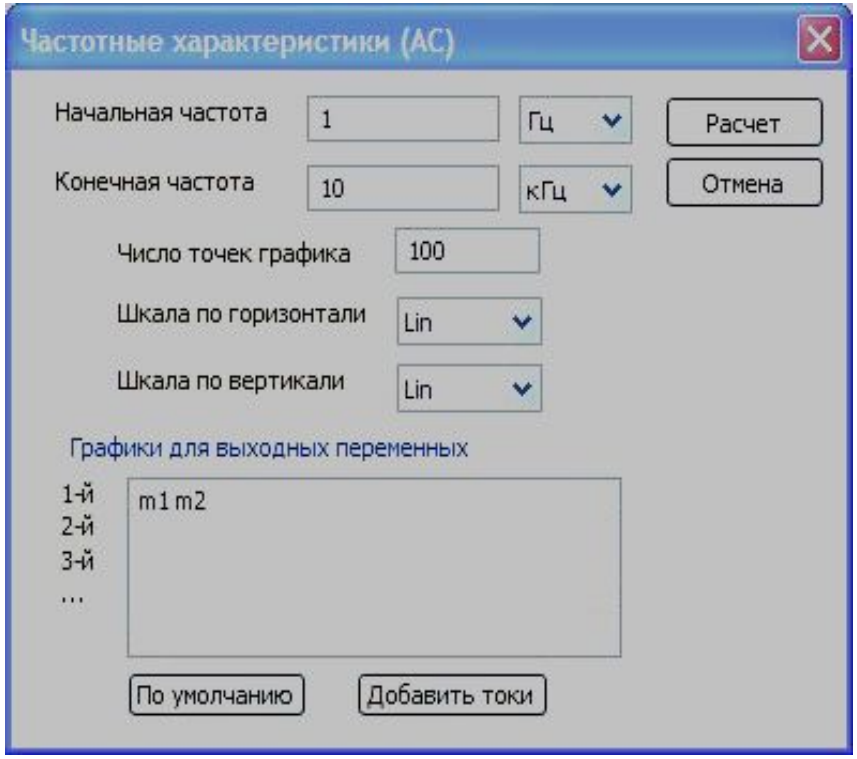
- Частотные характеристики описывают напряжения, или токи, или их отношения друг к другу как функции от частоты. Перед началом расчета частотных характеристик всегда производит расчет статического режима схемы. Это требуется для определения рабочих точек нелинейных элементов и расчета их линейных параметров. Линейная модель схемы анализируется в заданном частотном диапазоне.
- Имеются три SPICE-инструкции для расчета в частотной области:

  .AC DEC ND FSTART FSTOP
  .AC OCT NO FSTART FSTOP
  .AC LIN NP FSTART FSTOP

- Здесь параметр DEC устанавливает логарифмический масштаб изменения частоты по декадам, ND указывает количество точек в декаде, OCT устанавливает логарифмический масштаб изменения частоты по октавам, NO указывает количество точек в октаве, а LIN устанавливает линейный масштаб изменения частоты, NP указывает количество точек в заданном частотном диапазоне, FSTART указывает начальную частоту, а FSTOP указывает конечную частоту анализа.

  Пример: .AC LIN 100 1 10K

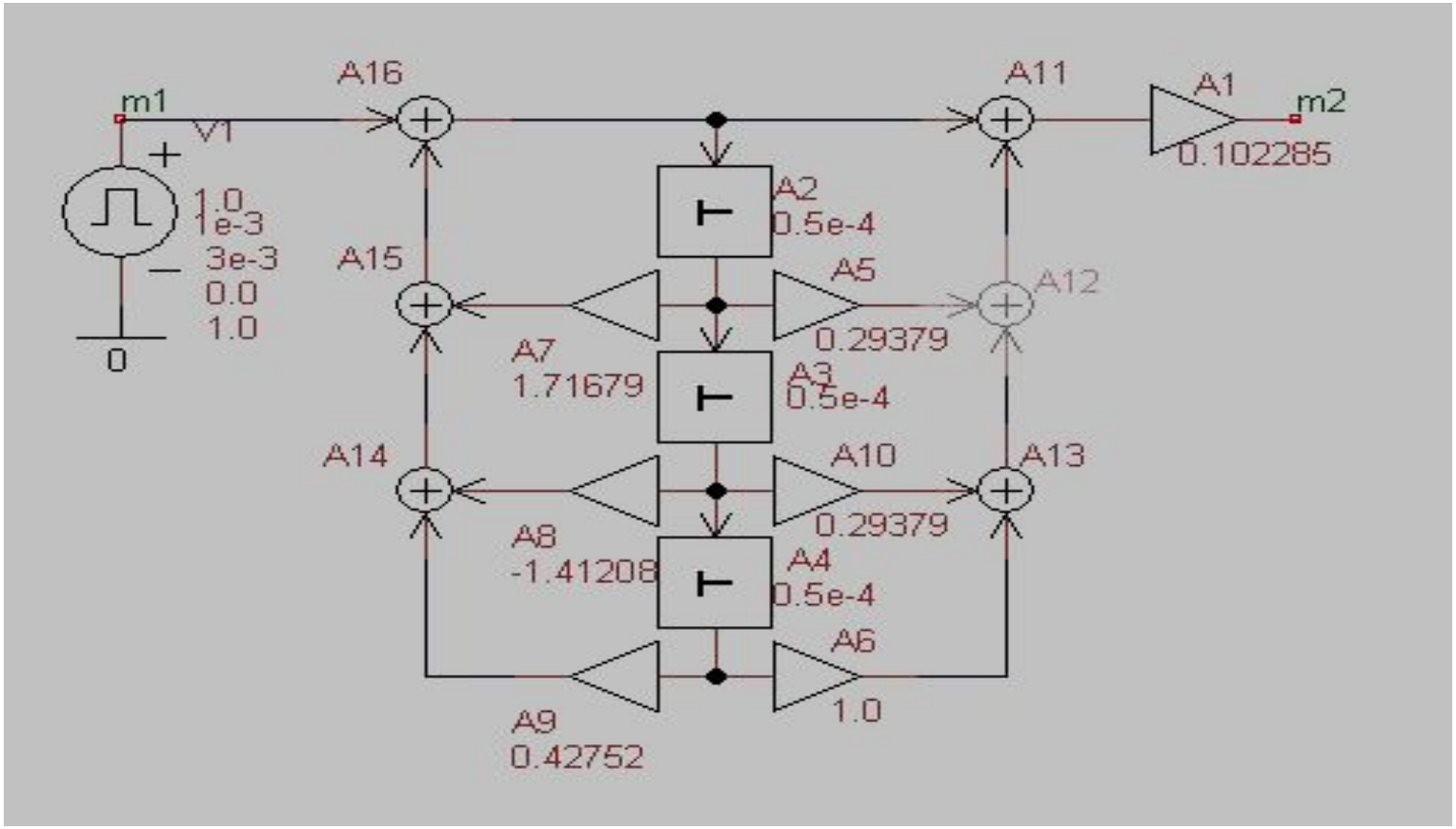
Анализ цепей: расчёт частотных характеристик (2)



- В нижней части диалоговой панели в окне текстового редактора контролируем правильность списка выходных переменных.
- Кнопка "По умолчанию" позволяет обновить список меток.
- Кнопка "Добавить токи" позволяет внести в окно выходных переменных токи через источники напряжения, которые имеются в схеме или специально добавлены в схему для исследования токов в заданных ветвях.
- Список меток в окне выходных переменных можно редактировать.
- Для каждой метки рассчитываются амплитудно-частотная (АЧХ) и фазочастотная (ФЧХ) характеристики.
- После завершения работы с диалоговым окном и нажатия кнопки "Расчет" параметры расчета записывается в .cir файл, который передается в подпрограмму uXSpice. Результаты работы этой программы выводятся в виде таблиц и графиков.

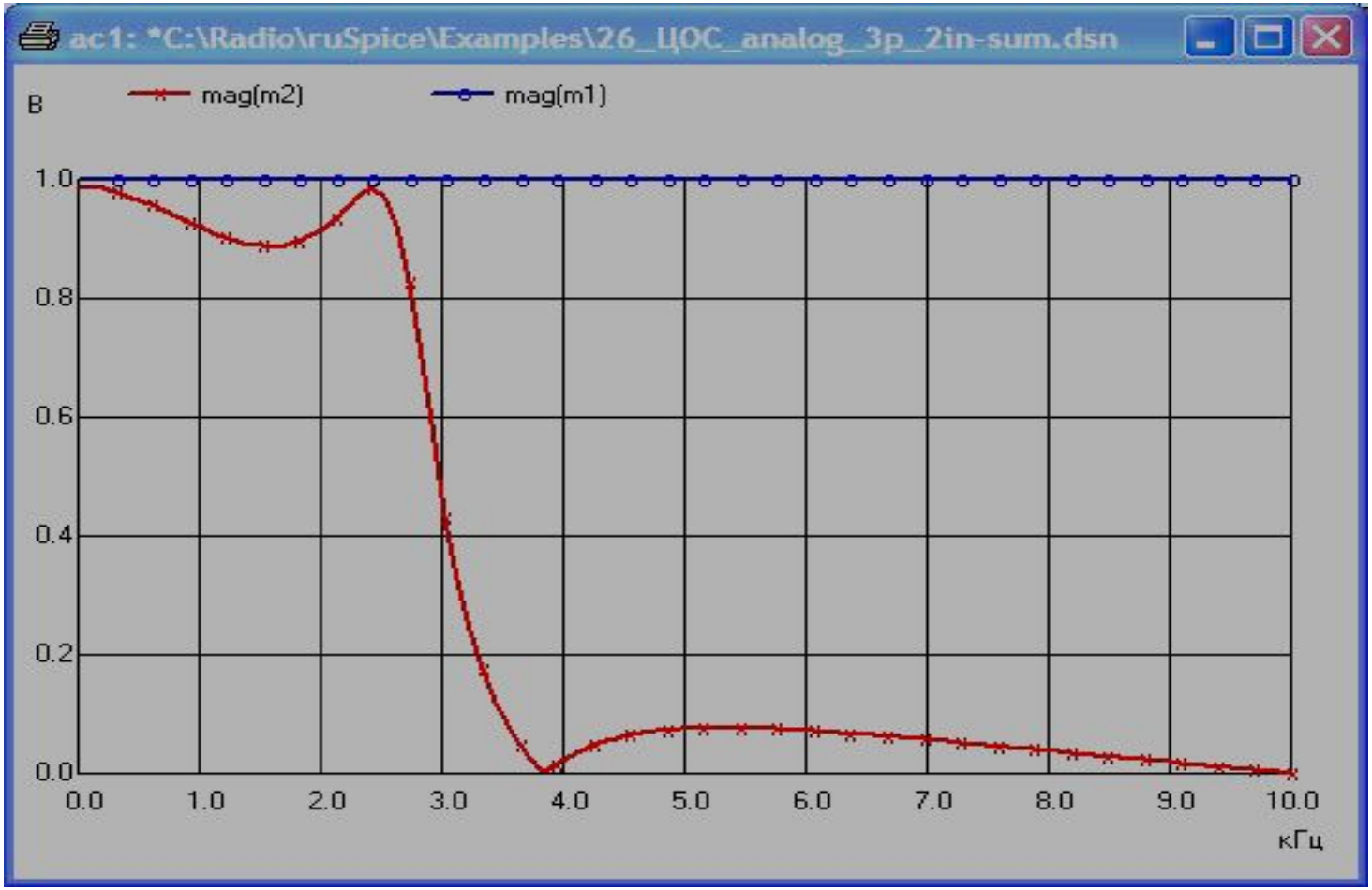
Анализ цепей: расчёт частотных характеристик (3)

- Пример расчёта: схема цифрового фильтра



Анализ цепей: расчёт частотных характеристик (4)

- Результат анализа цифрового фильтра (АЧХ)

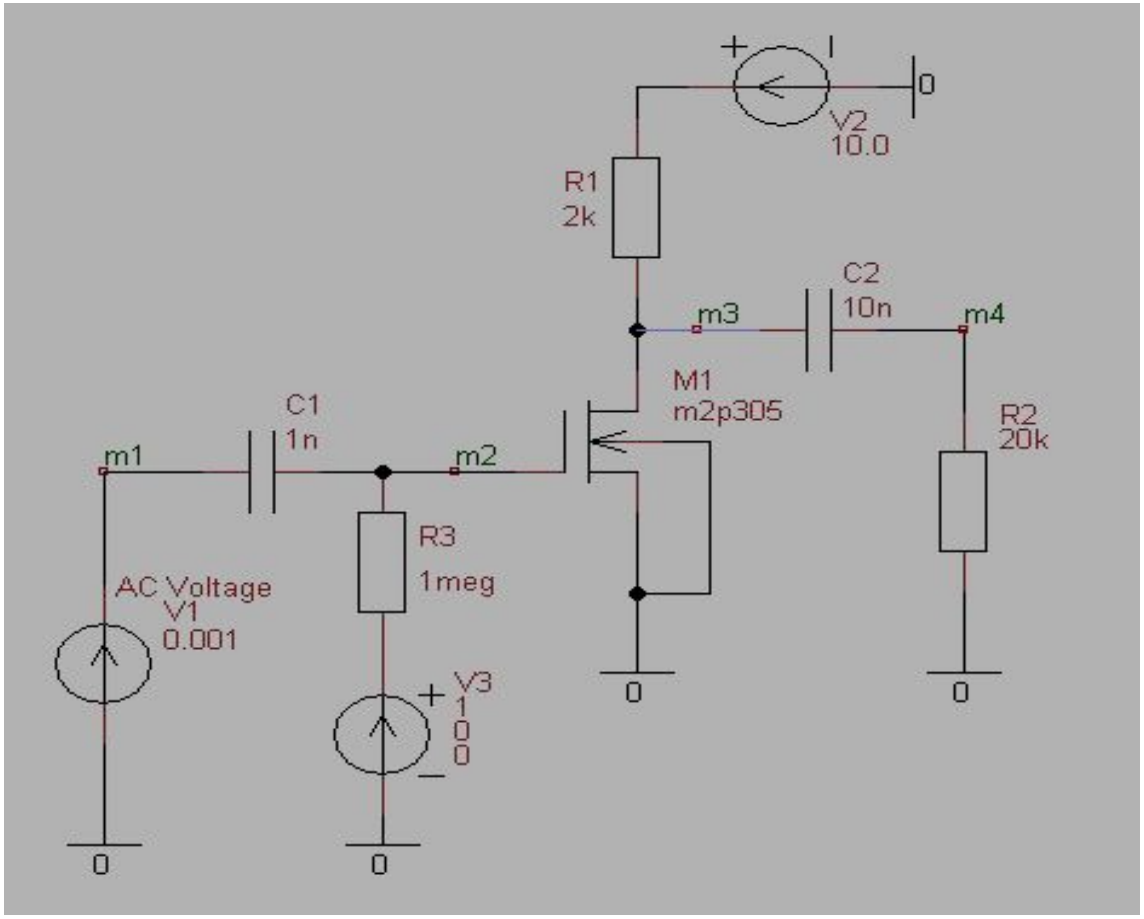


Анализ цепей: расчёт рабочих точек (1)

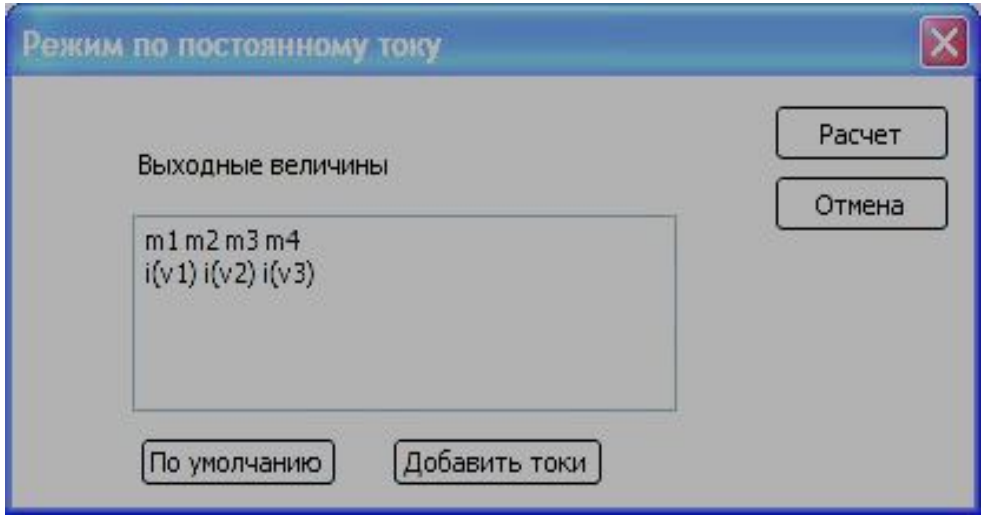
- Анализ рабочих точек (статических режимом работы электрической схемы) проводится, когда все переходные процессы, протекающие в схеме при подаче питания, закончились. При этом программа считает, что все индуктивности в электрической схеме замкнуты, а емкости разомкнуты. SPICE-инструкция на расчет записывается в виде одного слова **".OP"**.
- Для задания параметров расчета рабочих точек нажимаем кнопку **OP** на панели инструментов. В появившемся окне контролируем правильность списка выходных переменных. При необходимости добавляем токи всех источников напряжения в схеме и редактируем список переменных

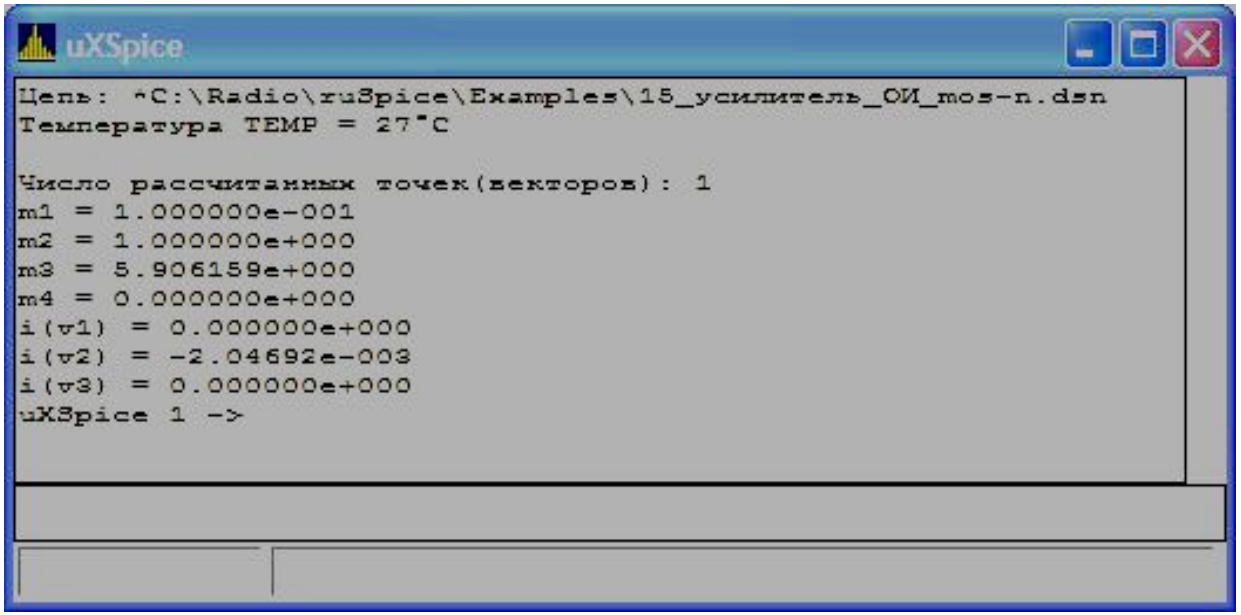
Анализ цепей: расчёт рабочих точек (2)

- Пример: расчёт рабочей точки усилителя на полевом транзисторе с изолированным затвором



Анализ цепей: расчёт рабочих точек (3)





Диалоговое окно со списком переменных показано выше.

Результаты расчетов статического режима приведены ниже в окне подпрограммы uXSpice.

Анализ цепей: Многовариантный расчет на постоянном токе (1)

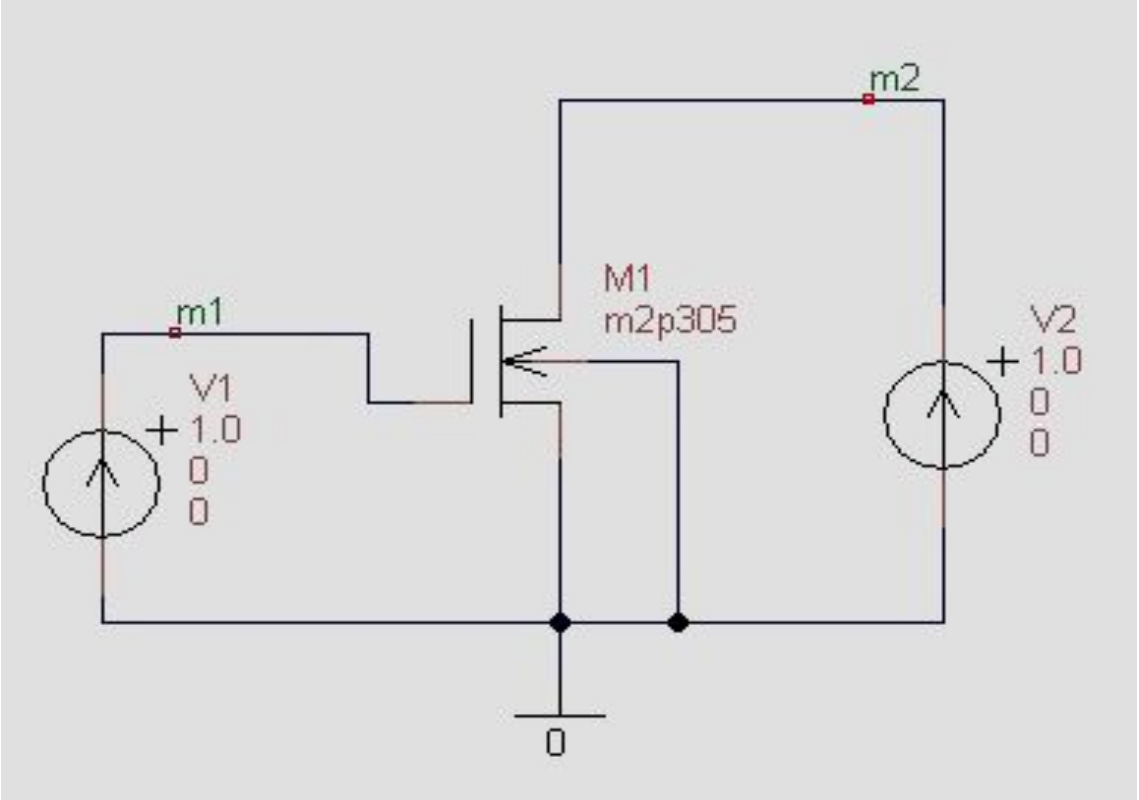
- В отличие от расчета рабочих точек, при многовариантном расчете проводится расчет статических режимов при пошаговом изменении напряжений или токов одного или двух источников постоянного напряжения или тока.
- Инструкция для расчета статического режима с вариацией напряжений или токов источников записывается следующим образом.

.DC SRC1 START1 STOP1 INCR1 [SRC2 START2 STOP2 INCR2]

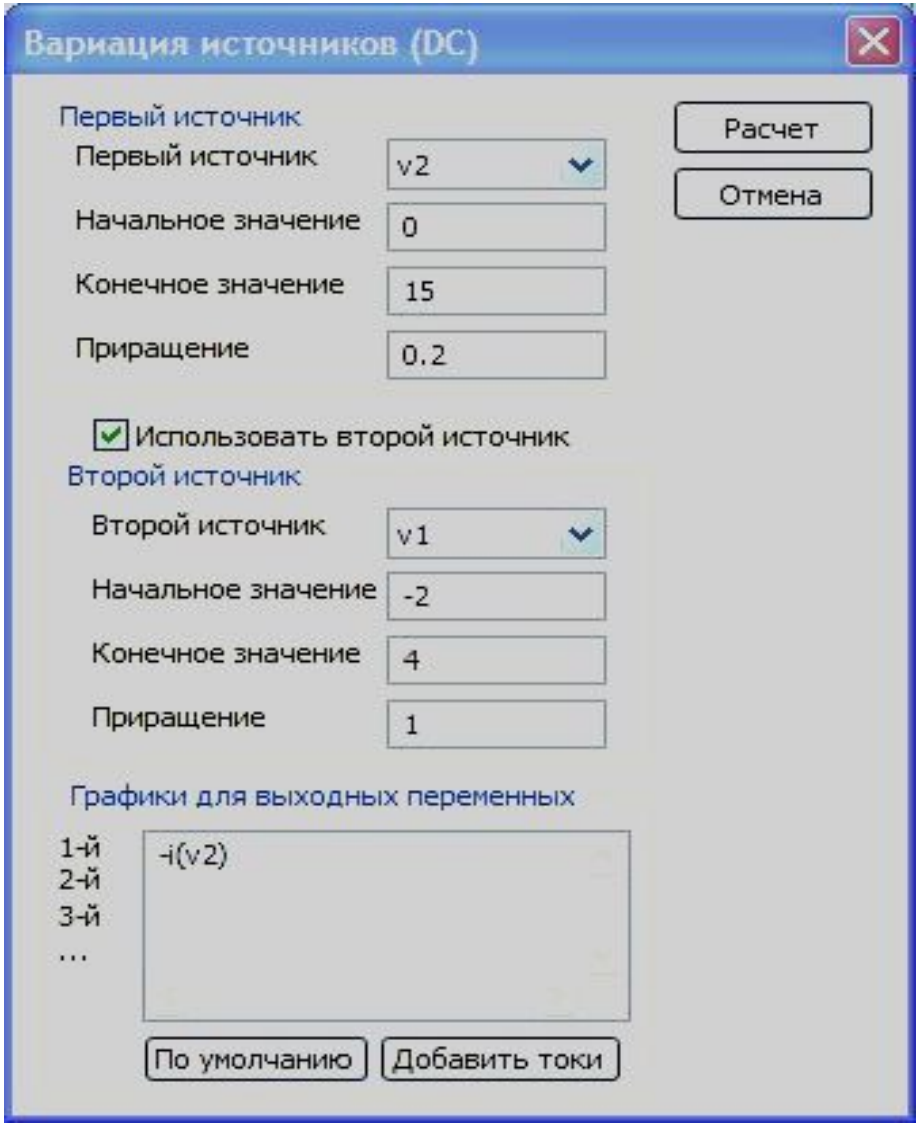
- Здесь SRC1— имя первого источника напряжения или тока в рассчитываемой схеме,
- START1, STOP1 и INCR1— параметры, определяющие начальное, конечное и шаг изменения значений источника.
- Если используется второй источник SRC2, то его параметры описываются аналогично.
- Изменение значений первого источника во всем диапазоне происходит для каждого значения второго источника. Эта инструкция автоматически записывается в .cir файл для проведения расчета схемы.

Анализ цепей: Многовариантный расчет на постоянном токе (2)

- Пример: расчет выходных характеристик полевого транзистора



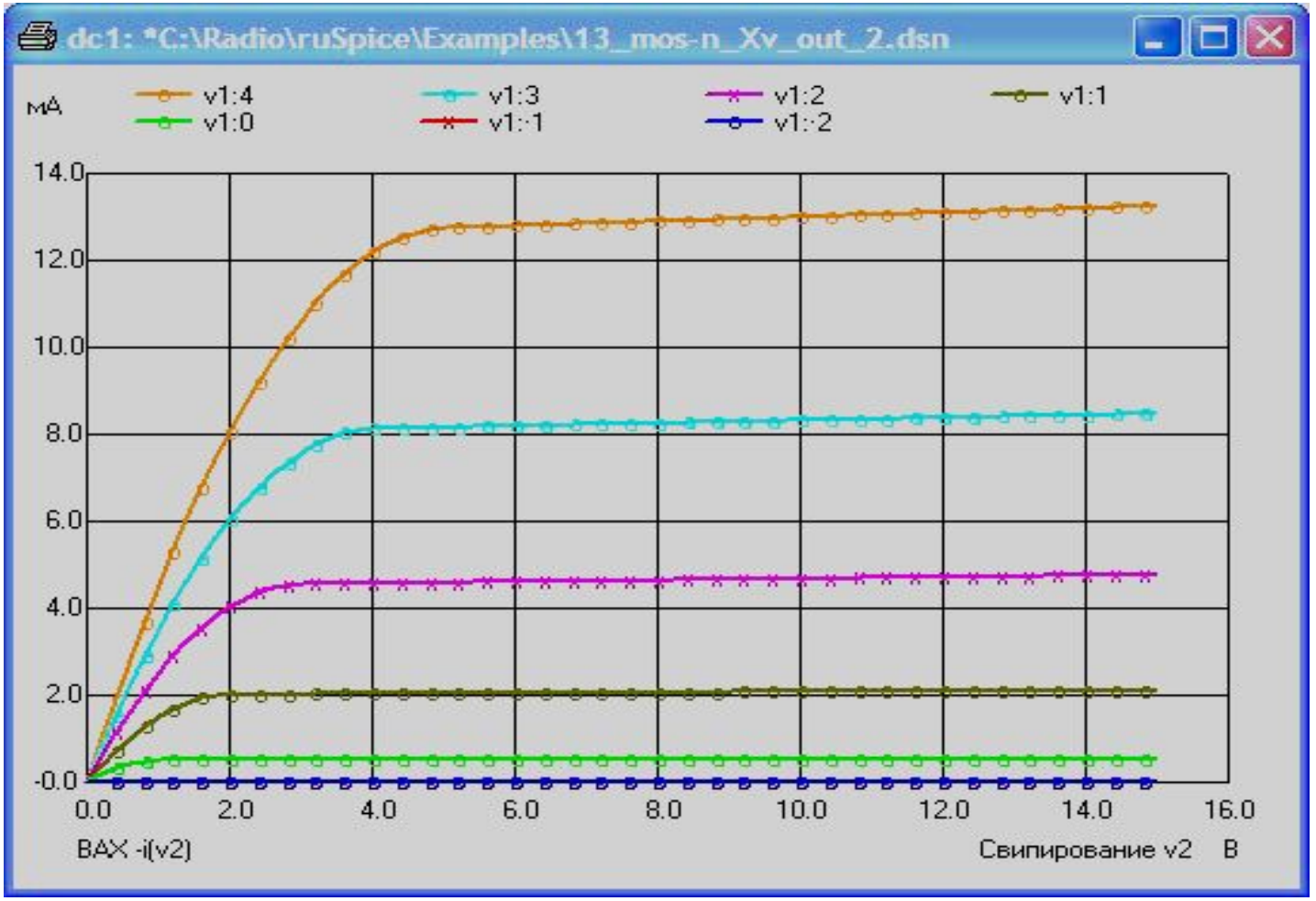
Анализ цепей: Многовариантный расчет на постоянном токе (3)



- После нажатия значка **DC** и появления диалоговое окно, вводим следующие значения.
- Напряжение источника V2 изменяется от 0 В до 15 В с шагом 0.2 В,
- напряжение источника в цепи затвора V1 изменяется от -2 В до 4 В с шагом 1 В.

Анализ цепей: Многовариантный расчет на постоянном токе (4)

- Результат многовариантного расчёта (ВАХ)

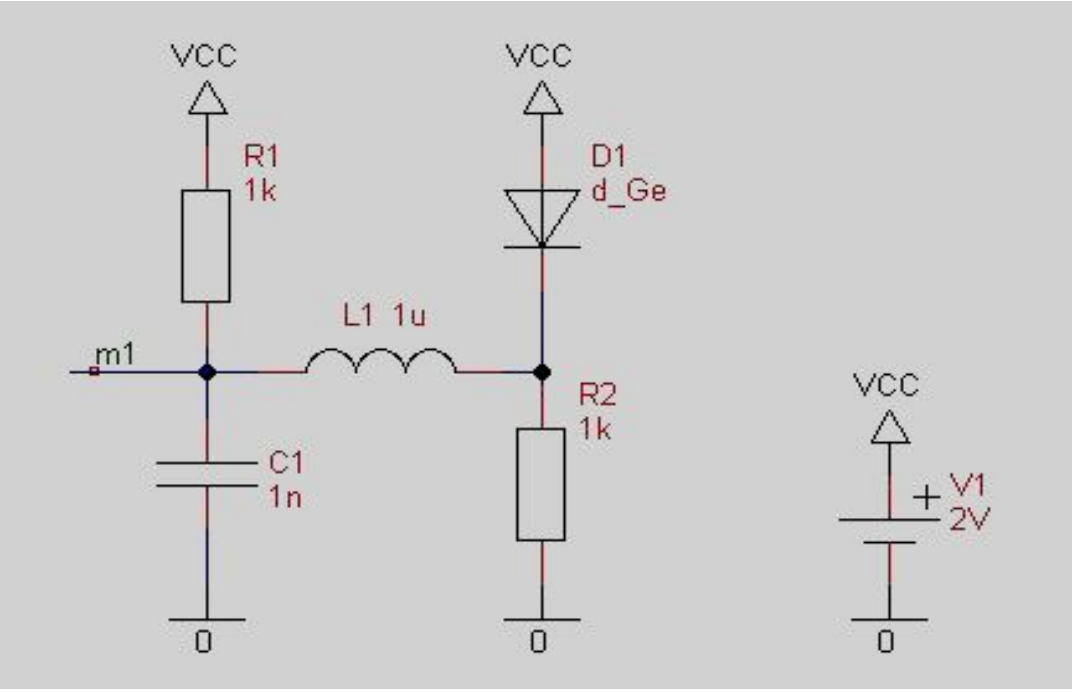


Особенности создания схем: общий источник питания

Нажимая значок с изображением корпуса (заземления) на панели инструментов, можно ввести в схему общий источник питания.

Для этого в окне параметров требуется указать имя общего источника питания.

В окне параметров этого элемента можно также выбрать изображение символа общего источника питания в виде отрезка прямой, круга, треугольника или отрезка синусоиды.



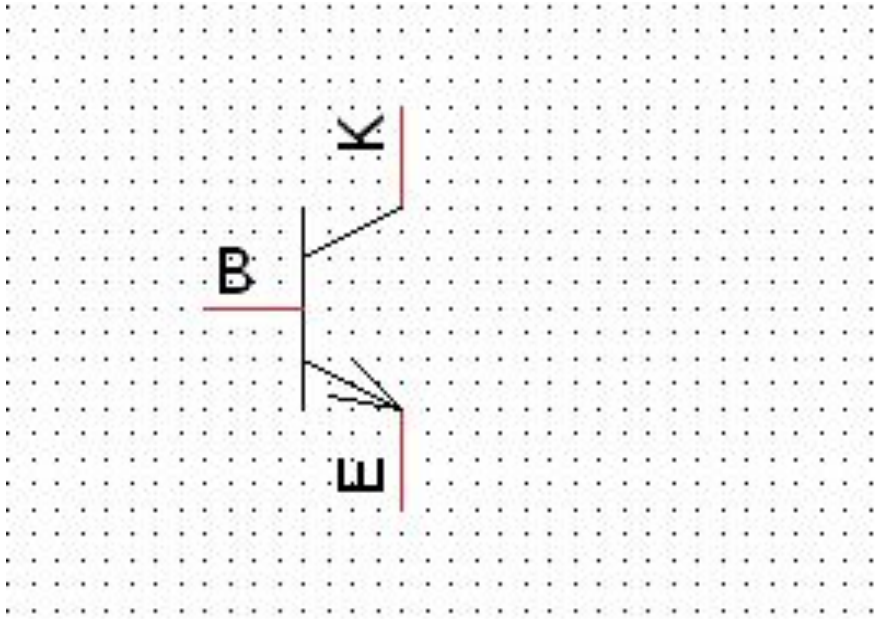
Особенности создания схем: сетка

При рисовании схемы можно включить в опциях программы отображение сетки и привязку элементов к сетке, используя меню "Параметры/Установки редактирования/Сетка".

Быстро удалить или показать сетку, а также установить привязку элементов к сетке можно в меню "Параметры".

Как правило, отображение сетки и привязка к ней элементов требуется при создании или редактировании библиотечного элемента.

Сетка не изображается при уменьшении размера схемы до значения менее 80% от номинального. Видимый шаг сетки автоматически изменяется в зависимости от масштаба.

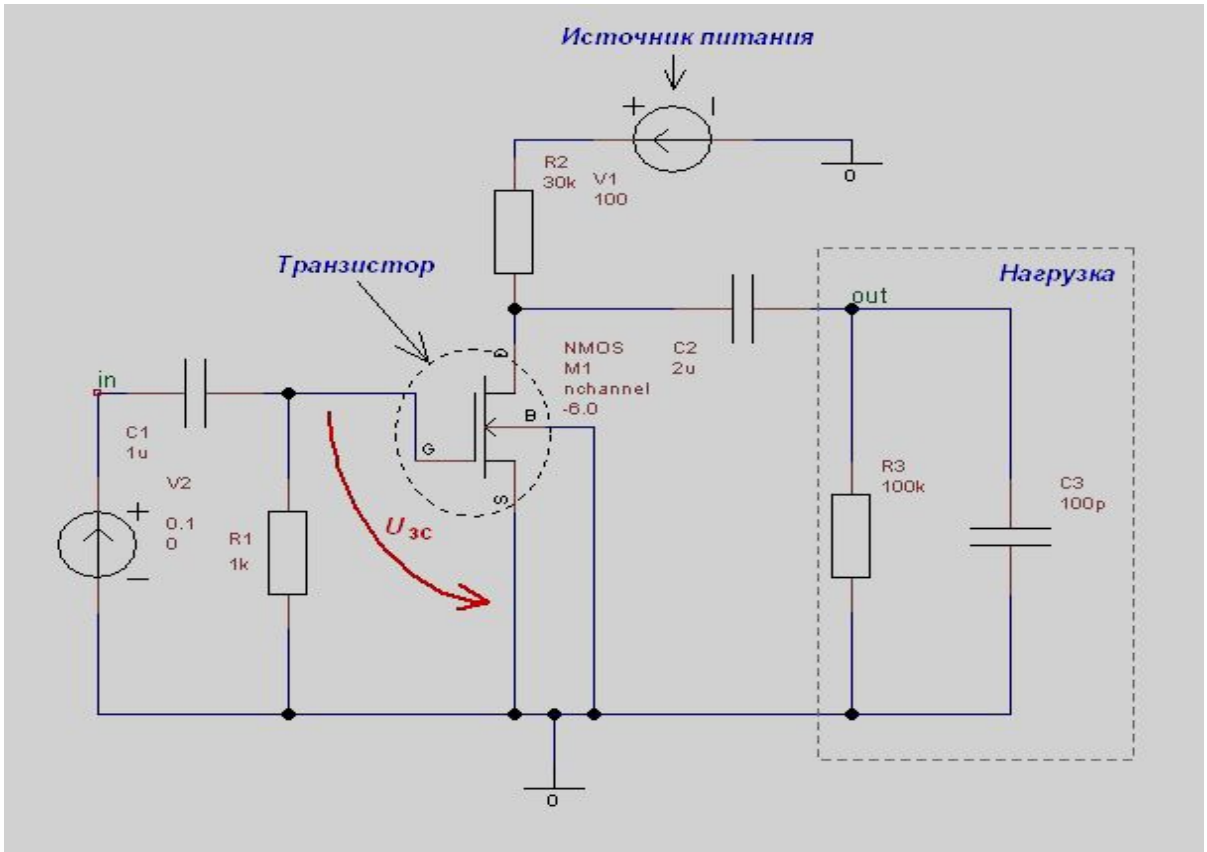


Особенности создания схем: добавление текста

На схему можно наносить надписи и простейшие графические элементы: линии, многоугольники, эллипсы, окружности и дуги.

Добавить надписи можно, используя значок с буквой А на панели инструментов главного окна программы.

Если при вводе текста перед буквой ввести символ " ` ", то буква будет выведена с чертой сверху. Это часто требуется при описании логических сигналов.



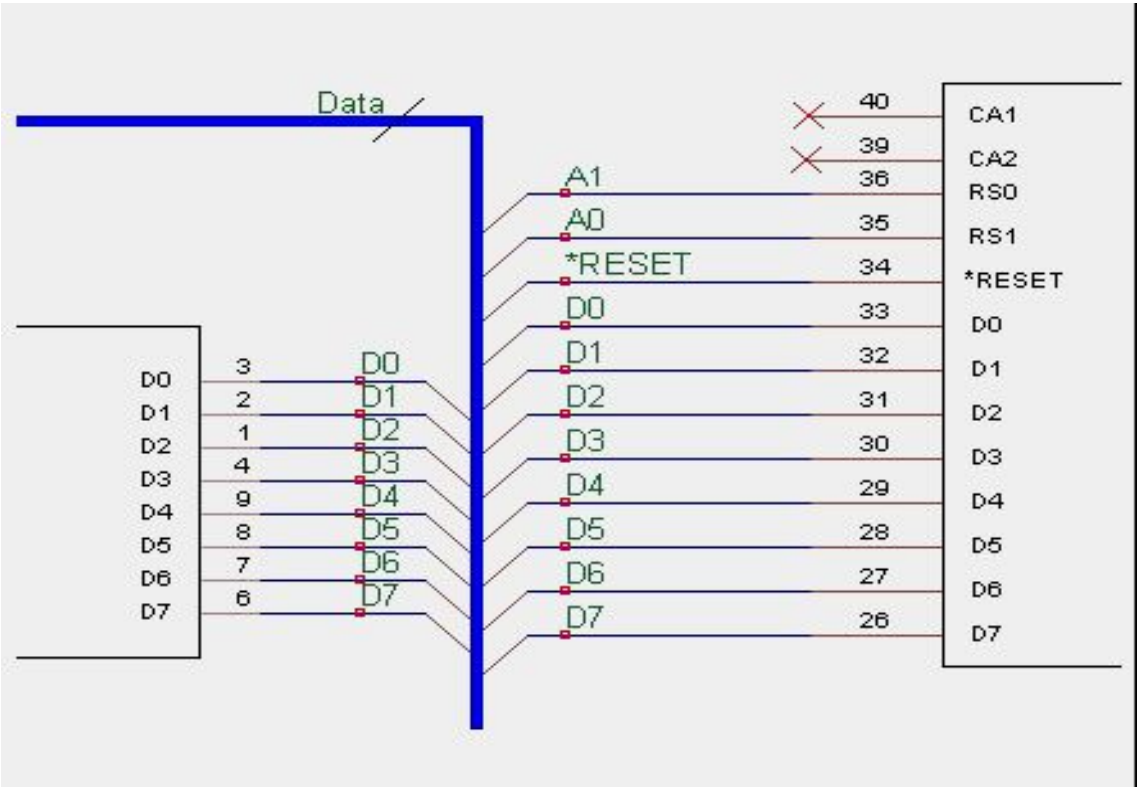
Особенности создания схем: добавление графических элементов

Для добавления простейших графических элементов необходимо включить панель графических примитивов (меню "Вид/Панели инструментов/Рисование"). Работа с графическими элементами проводится по обычным для графических программ правилам. Для модификации нарисованных графических элементов используйте контекстное меню, вызываемое нажатием правой кнопки мыши. Пример схемы с нанесенными в учебных целях надписями и графическими элементами показан на рисунке.

Особенности создания схем: использование шин

В сложных схемах с большим количеством проводников можно использовать шины. Для работы с шинами необходимо включить изображение панели шин (меню "Вид/Панели инструментов/Шины").

Для идентификации проводников шины удобно использовать метки. Пример использования шины с именем Data показан на рисунке ниже.



Особенности создания схем: символ "Нет соединения"

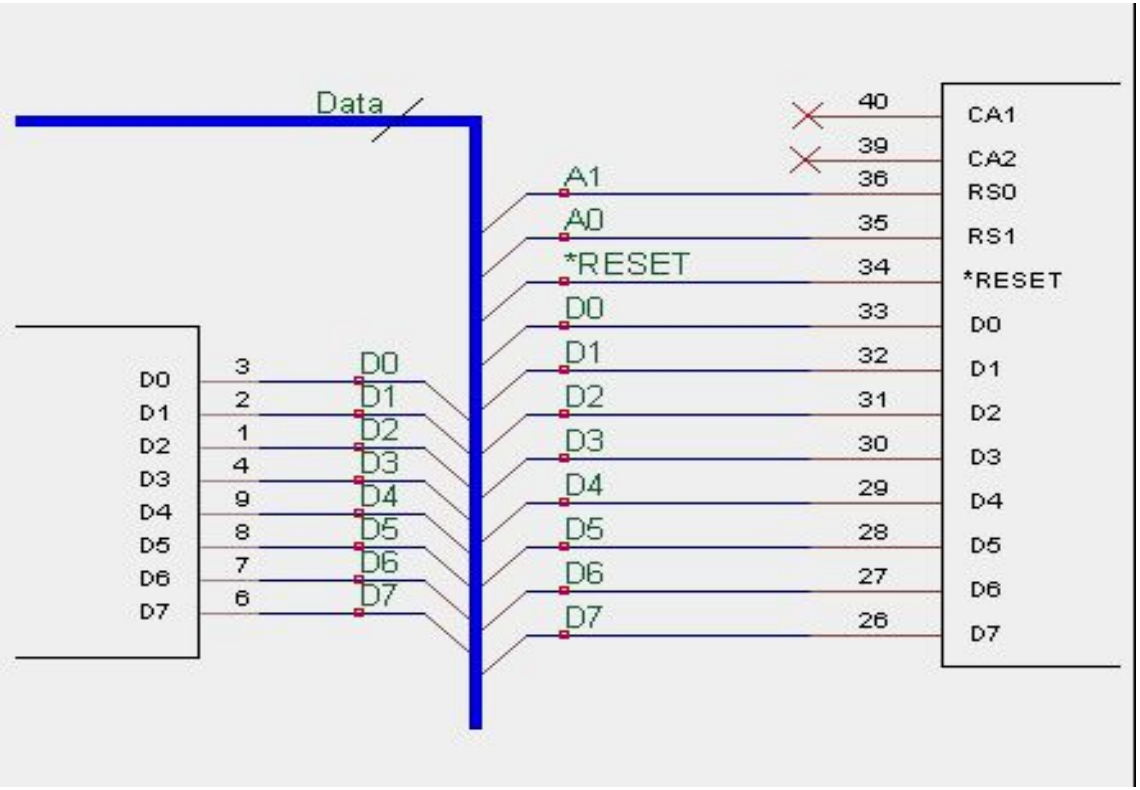
Обычно все контакты элемента должны быть соединены с другими элементами схемы.

Однако, некоторые элементы разрешается использовать с неподключенными выводами.

В этом случае рекомендуется использовать символ "Нет соединения".

При проверке схемы неподключенные выводы в этом случае не будут отмечаться как ошибочные.

На рисунке символом отсутствия соединений помечены выводы 39 и 40 правого по схеме элемента.



Особенности создания схем: изменение масштаба

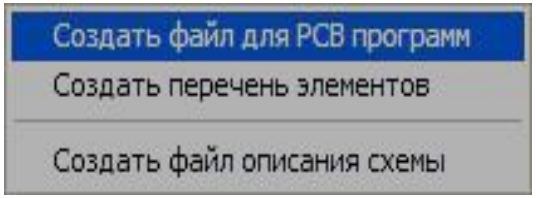
- Масштаб изображения можно изменить, используя значок с изображением лупы и нажимая в окне схемы левую или правую кнопку мыши. Быстро изменить масштаб можно, нажимая клавиши PageUp, PageDown.
- Установить номинальный масштаб можно, используя меню "Вид/Масштаб 100%".
  Изменить масштаб можно также используя меню "Вид/Увеличить масштаб" или меню "Вид/ Уменьшить масштаб".
- Для того, чтобы при большом увеличении масштаба интересующий пользователя элемент схемы оставался в центре экрана, необходимо предварительно его выделить мышкой.

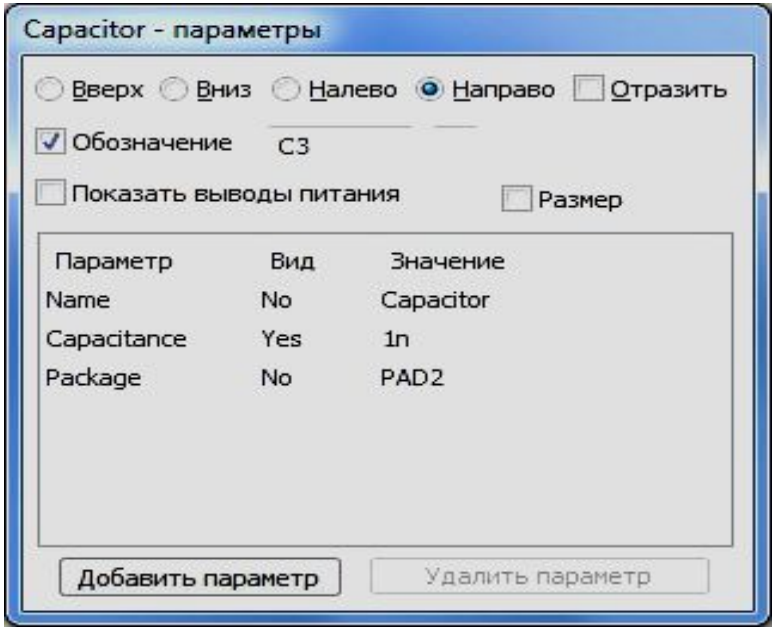
Особенности создания схем: экспорт в программы трассировки

- Используя показанное ниже меню "Экспорт", можно подготовить данные для программ разводки печатных плат(PCB-программ).
- Для этого необходимо:

1) Использовать схему с правильно соединенными элементами.
2) Корректно добавить аттрибут "Package", описывающий тип корпуса радиоэлемента.
3) Выбрать требуемый формат выходного файла для программы разводки печатной платы.

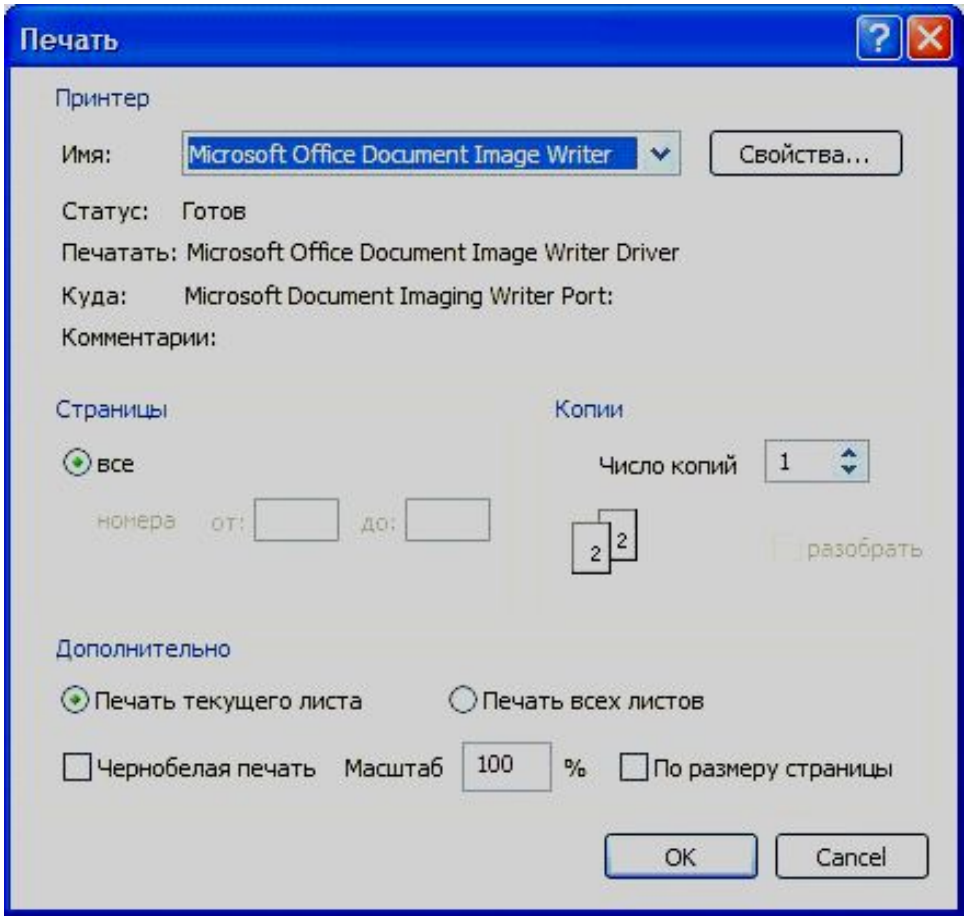
- В программе реализованы следующие форматы выходного файла: PADS-PCB, Eagle SCR и Protel.





Особенности создания схем: вывод на печать

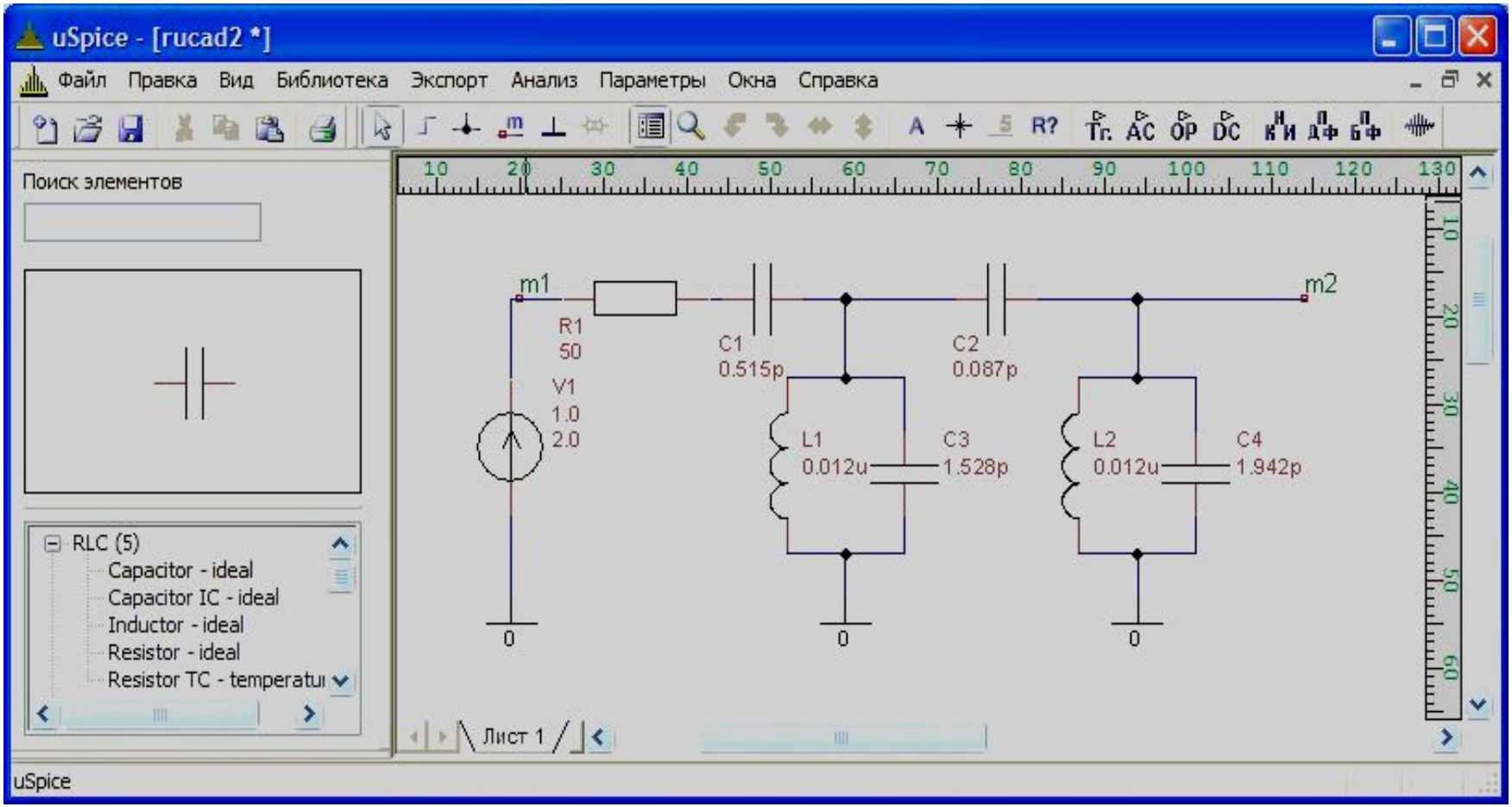
Печать схемы производится с использованием окна задания параметров печати, показанного на рисунке



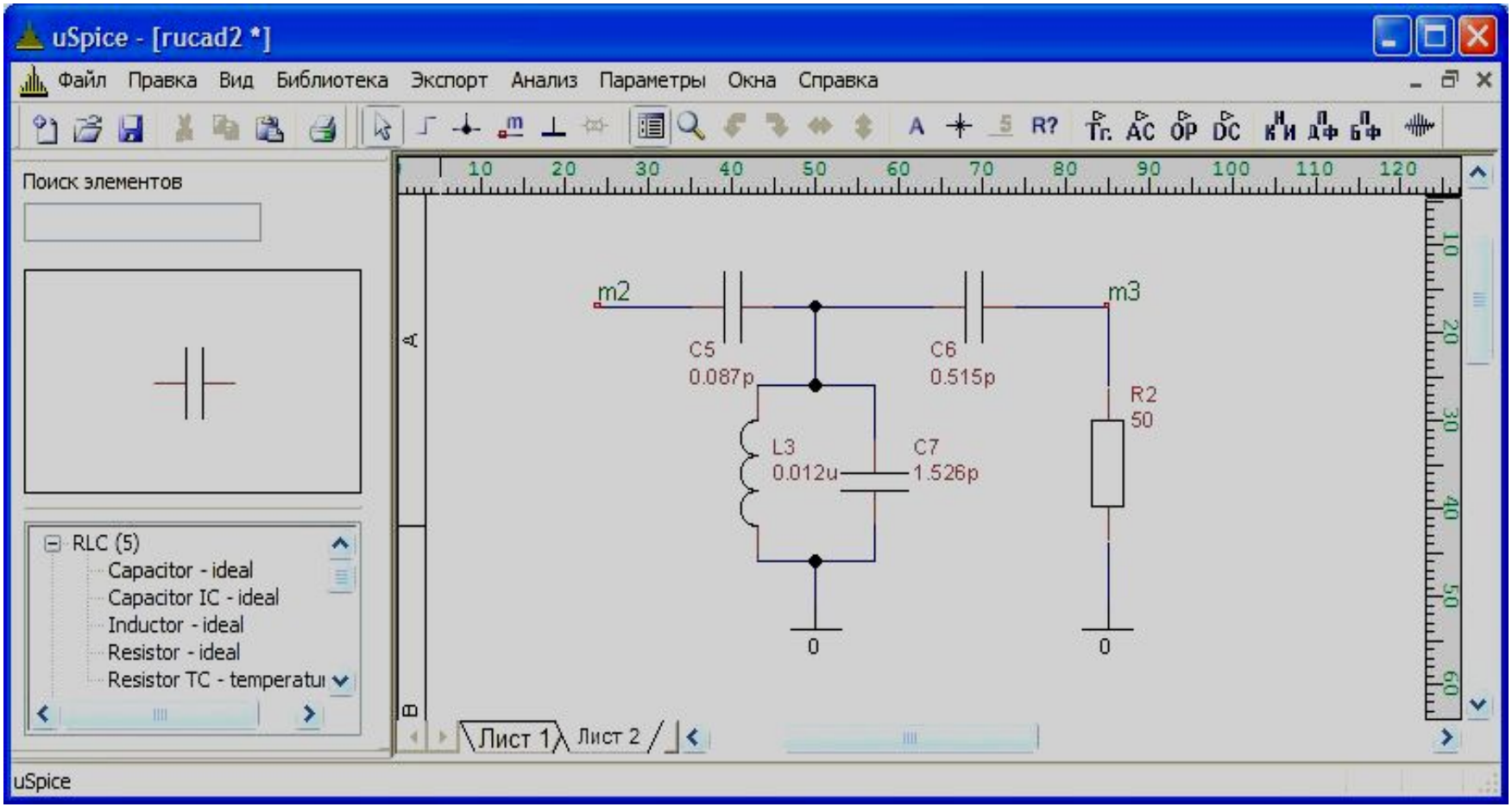
Создание больших схем: схемы на нескольких листах (1)

- Для добавления нового листа в большую схему необходимо нажать правую кнопку мыши на закладке "Лист 1" (“Sheet 1”) первого листа схемы и выбрать пункт "Вставить лист". Будет создан новый чистый лист для рисования продолжения большой схемы. Эту операцию можно повторить для создания дополнительных листов схемы.
- Все листы одной большой схемы будут иметь одинаковый размер страницы, однако, каждый отдельный лист может иметь свои собственные детали оформления. Все листы большой схемы записываются в один и тот же файл.
- Для осуществления связи между отдельными частями схемы, расположенными на отдельных листах, используются метки, имеющие одинаковые названия на разных листах. В этом случае можно генерировать связанное описание всей схемы, например, в виде Spice-файла.
  При необходимости можно удалять или переименовывать листы большой схемы, нажимая правую кнопку мыши на названии листа внизу экрана.
- При удалении листа, его невозможно восстановить с помощью команды отмены.
- Далее представлена многозвенная схема СВЧ-фильтра, размещенная на двух листах.

Создание больших схем: схемы на нескольких листах (2)



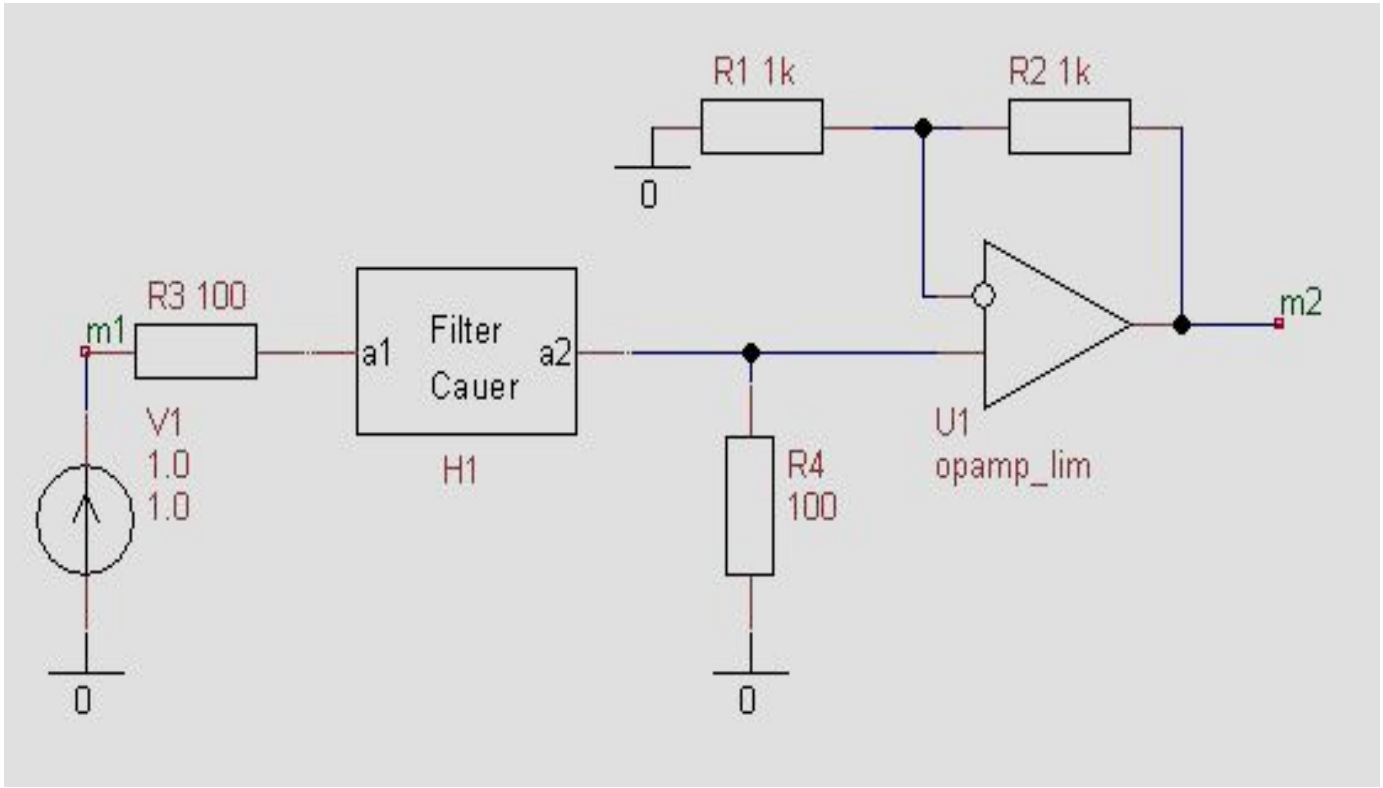
Создание больших схем: схемы на нескольких листах (3)



Создание больших схем: использование подсхем (1)

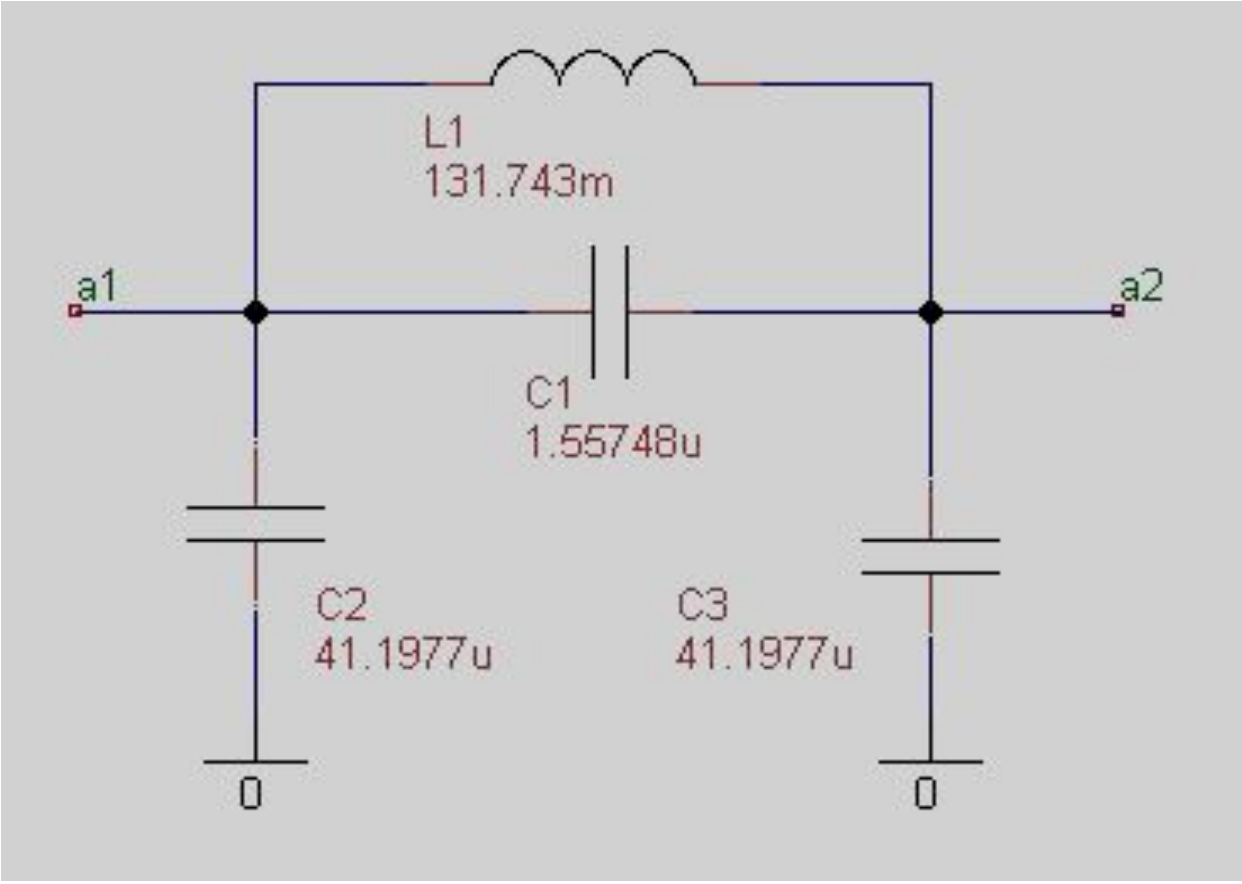
- Изображение большой схемы можно улучшить, используя элементы-подсхемы (hierarchical symbol). Подсхему вначале нужно изобразить на отдельном листе. Чтобы связать наименования выводов будущего символа подсхемы с контактами самой подсхемы, в последней каждый внешний вывод отмечаем меткой. Все метки (выводы будущего элемента-подсхемы) должны иметь разные имена.
- Затем, используя меню "Правка/Создать элемент-подсхему", к листу с подсхемой добавляется отдельный лист, на котором, используя графические примитивы, нужно нарисовать символ подсхемы. Обычно это прямоугольник, в который вписывается название подсхемы, а к боковым сторонам добавляется соответствующее число выводов с именами, соответствующими именам меток подсхемы.
- Полученные изображения подсхемы и ее символа сохраняется в файл. Теперь элемент-подсхему можно вставить в основную большую схему, выбирая пункт меню "Правка/Вставить элемент-подсхему".
- Внедренный символ элемента-подсхемы используется также, как обычный символ из библиотеки. Он может быть перемещен, повернут на соответствующий угол, отражен и т.п. Как и в случае нескольких листов схемы, при расчете схем с элементами-подсхемами генерируется единое описание.
- Наименования выводов подсхемы (метки) можно использовать для расчета соотвествующих узловых напряжений.
- Далее приведена схема усилителя на ОУ с использованием элемента-подсхемы H1.

Создание больших схем: использование подсхем (2)



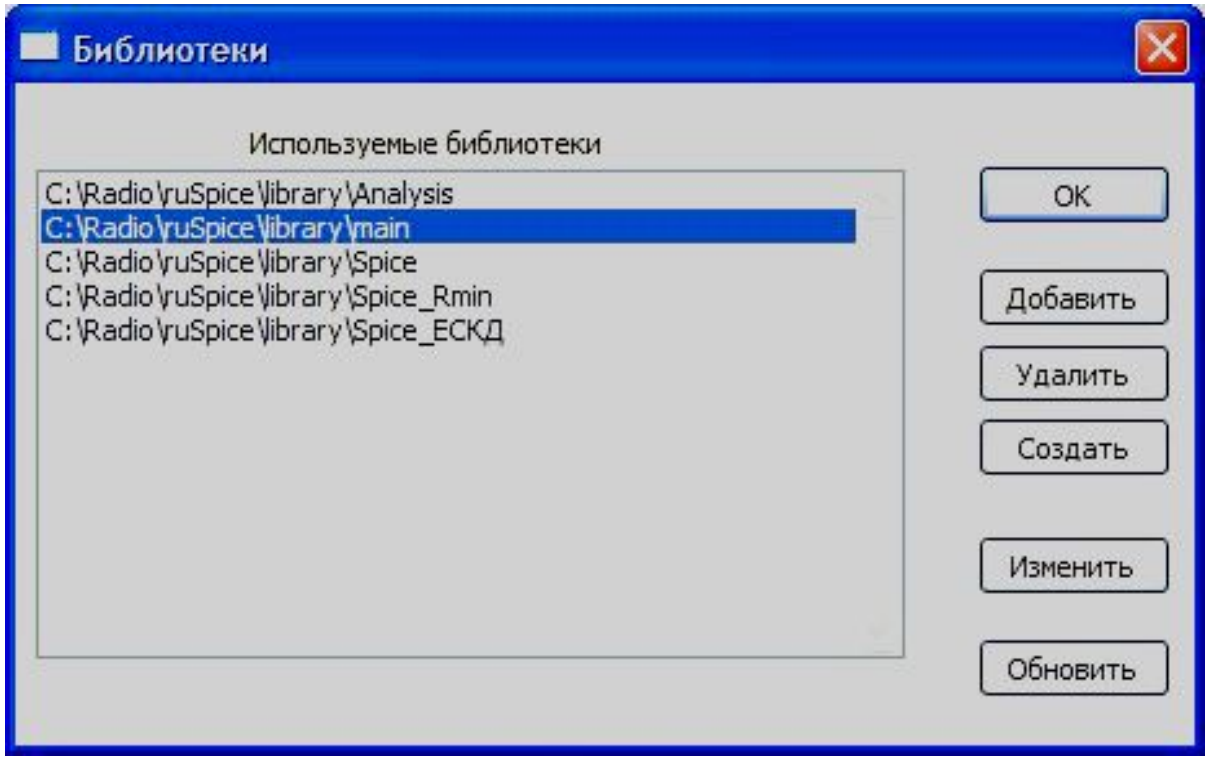
Создание больших схем: использование подсхем (3)

Элемент-подсхема: метки выводов подсхемы a1и a2, соответствуют меткам на условном изображении элемента-подсхемы H1



Библиотека элементов

- В отдельную библиотеку собираются, как правило, однотипные элементы схемы. Пользователь, используя возможности программы, может легко создать новую библиотеку, или добавить в имеющуюся библиотеку свой собственный элемент, или изменить существующий элемент.
- Для работы с библиотеками выбираем пункт меню "Библиотека/Библиотеки элементов". Возникающее при этом окно с используемыми библиотеками показано на рисунке.



Подробности в описании

- Программа uSpice сопровождается довольно подробным описанием (в формате .pdf), на основании которого была сделана эта презентация