

Руководство к программе PSPICE 9.2

Введение	2
Моделирование схемы с помощью Capture	5
Список соединений	8
Определение типа анализа.....	9
Bias or DC analysis.....	9
DC Sweep simulation	11
Отображение результатов моделирования	12
Анализ переходных процессов (Transient analysis).....	15
AC Sweep analysis	18
Дополнительные примеры.....	21
Схема с трансформатором.....	21
AC Sweep анализ фильтра на идеальном операционном усилителе	22
AC Sweep анализ фильтра на реальном операционном усилителе	23
Сглаживающий фильтр. Использование parametric sweep.	24
Parametric sweep	25
Модулированный сигнал (AM modulation)	28
Трансформатор с выводом от средней точки.....	29

Введение

PSPICE — это мощная программа общего назначения для моделирования аналоговых и смешанных схем, которая используется для проверки составленных схем. Она имеет особое значение для интегральных схем. По этой причине аббревиатура SPICE расшифровывается как:

Simulation Program for Integrated Circuits Emphasis
(Программа моделирования с ориентацией на интегральные схемы)

PSPICE — это версия программы SPICE для персонального компьютера, которая сейчас доступна от OrCAD Corp. of Cadence Design Systems, Inc.

В PSPICE можно проводить несколько типов анализа схем. Наиболее важные из них:

- Анализ нелинейных цепей постоянного тока (Non-linear DC analysis): вычисляет кривую намагниченности постоянного тока.
- Анализ переходных процессов и анализ Фурье в нелинейных цепях (Nonlinear transient and Fourier analysis): вычисляет напряжение и ток как функции времени; анализ Фурье дает частотный спектр.
- Анализ линейных цепей переменного тока (Linear AC Analysis): вычисляет выходную функцию как функцию частоты, строится график Боде.
- Анализ шумов (Noise analysis)
- Параметрический анализ (Parametric analysis)
- Анализ по методу Монте-Карло (Monte Carlo Analysis)

Кроме того, PSPICE имеет аналоговые и цифровые библиотеки, включающие стандартные элементы (такие, как НЕ-И, НЕ-ИЛИ, триггера, мультивибраторы, мультиплексоры, программируемые логические устройства, программируемые пользователем вентильные матрицы и многие другие цифровые компоненты). Это делает программу PSPICE полезным инструментом для исследования широкого круга аналоговых и цифровых схем.

Все исследования могут быть выполнены при различных температурах. Температура по умолчанию — 300 К.

Схема может содержать следующие компоненты:

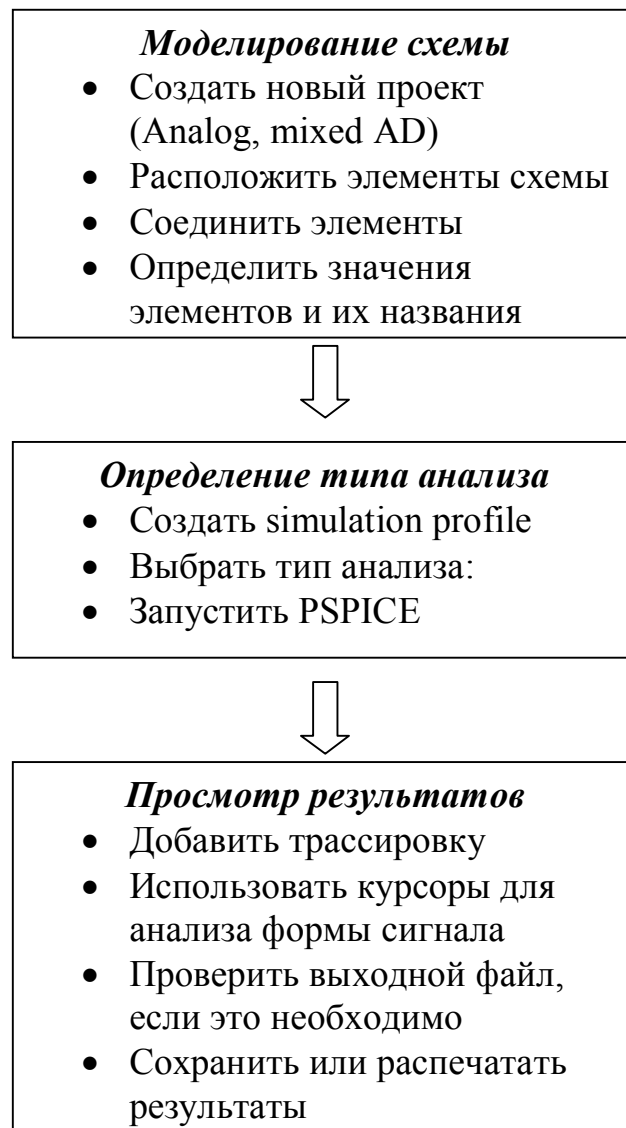
- Зависимые и независимые источники тока и напряжения
- Резисторы
- Конденсаторы
- Индукторы ?
- Вариометр с регулировкой взаимной индуктивности (Mutual inductors) ?
- Линии передачи ? проводники
- Операционные усилители
- Электронные ключи

- Диоды
 - Биполярные транзисторы
 - МОП-транзисторы
 - Полевые транзисторы с p-n переходом (JFET) ?
 - Полевые транзисторы с затвором, образованным контактом Шоттки(MESFET) ?
- и другие компоненты.

Перед тем, как приступить к анализу схемы, её необходимо смоделировать в программе. Это можно сделать несколькими способами. Один из них — создать текстовый файл с описанием схемы в соответствующих терминах. Этот файл называется входным файлом SPICE или исходным файлом.

Другой способ заключается в том, чтобы использовать программу ввода схемы такую, как OrCAD CAPTURE. Capture — это простая в использовании программа, которая позволяет смоделировать схему и определить тип анализа.

Следующая схема показывает шаги, которые нужно сделать, чтобы смоделировать схему.



Значения элементов могут быть заданы с использованием масштабирующих коэффициентов:

Приставка	Русское обозначение	Обозначение PSPICE		Множитель
Тера	Т	T	E12	10^{12}
Гига	Г	G	E9	10^9
Мега	М	MEG	E6	10^6
Кило	к	K	E3	10^3
Милли	м	M	E-3	10^{-3}
Микро	мк	U	E-6	10^{-6}
Нано	н	N	E-9	10^{-9}
Пико	п	P	E-12	10^{-12}
Фемто	ф	F	E-15	10^{-15}

В PSPICE можно использовать как верхний, так и нижний регистр букв. Например, определить конденсатор емкостью 225 пикофард можно следующими способами:

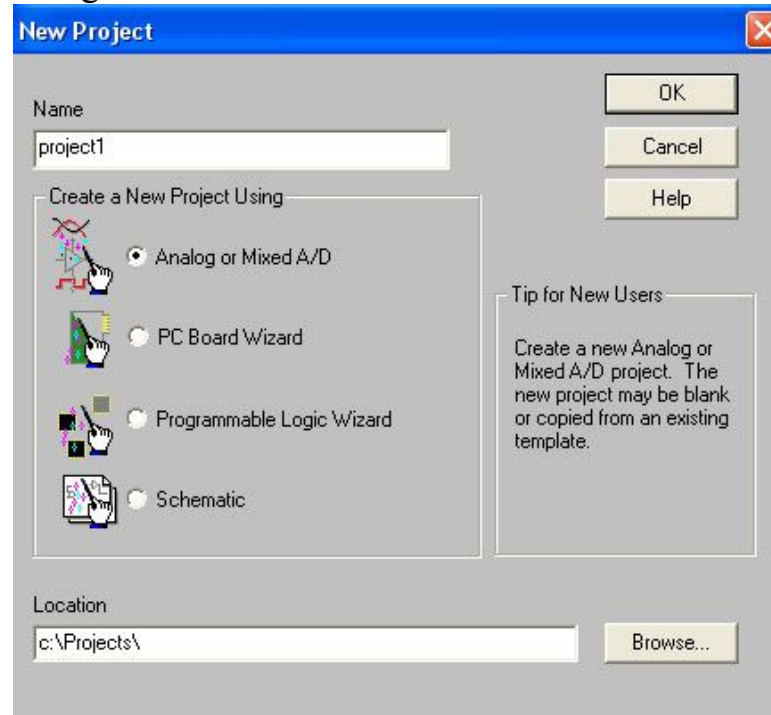
225P 225p 225pF 225pFarad 225E-12 0.225N

Обратите внимание! Приставка мега обозначается как MEG, так например, резистор сопротивлением 15 мегаОм может быть определен
 15MEG 15MEGohm 15meg 15E6

Будьте внимательны: не используйте М для мега! Когда вы записываете 15M, PSPICE будет это считать как 15 миллиОм!

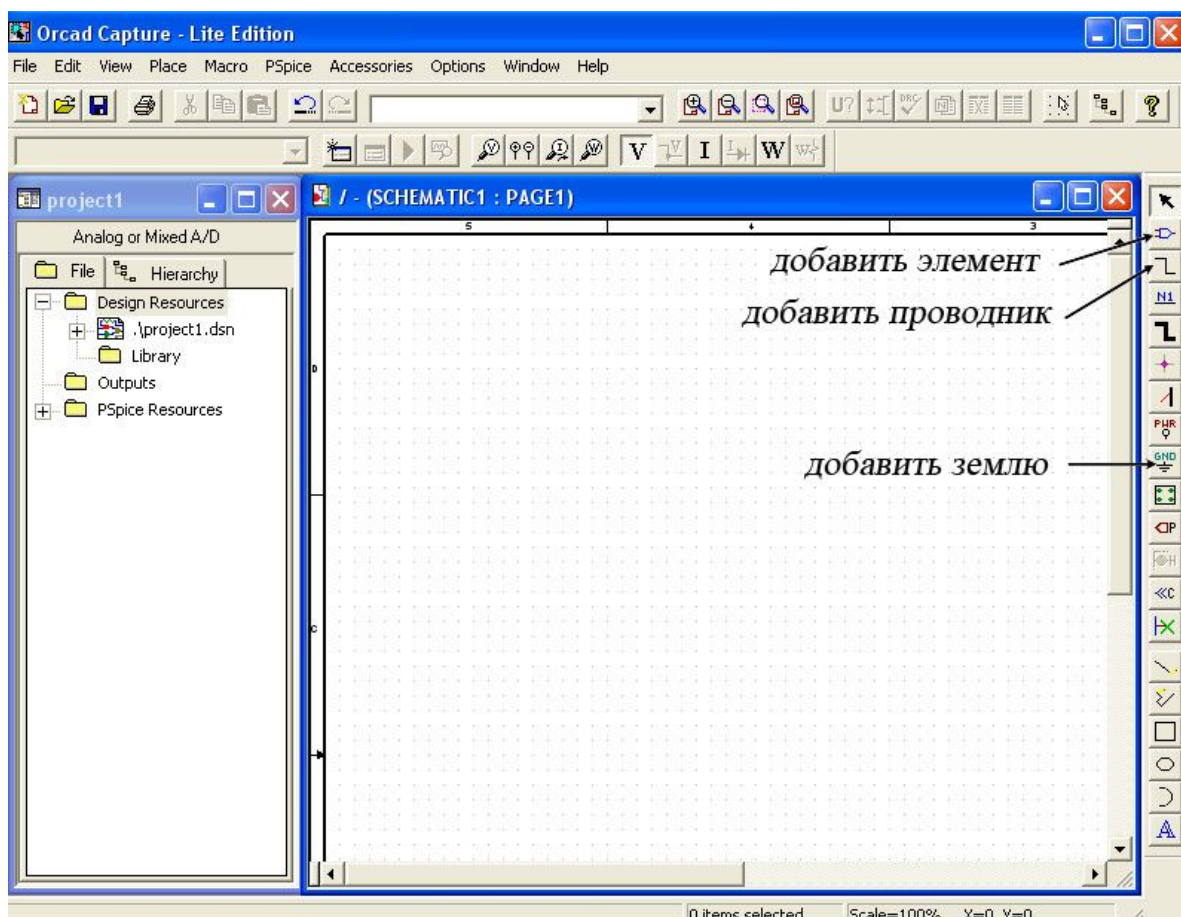
Моделирование схемы с помощью Capture


1. Откройте OrCAD Capture.
2. Создайте новый проект. Для этого выберите пункт меню File\New\Project.
3. Введите название проекта.
4. Выберите Analog or Mixed A/D.

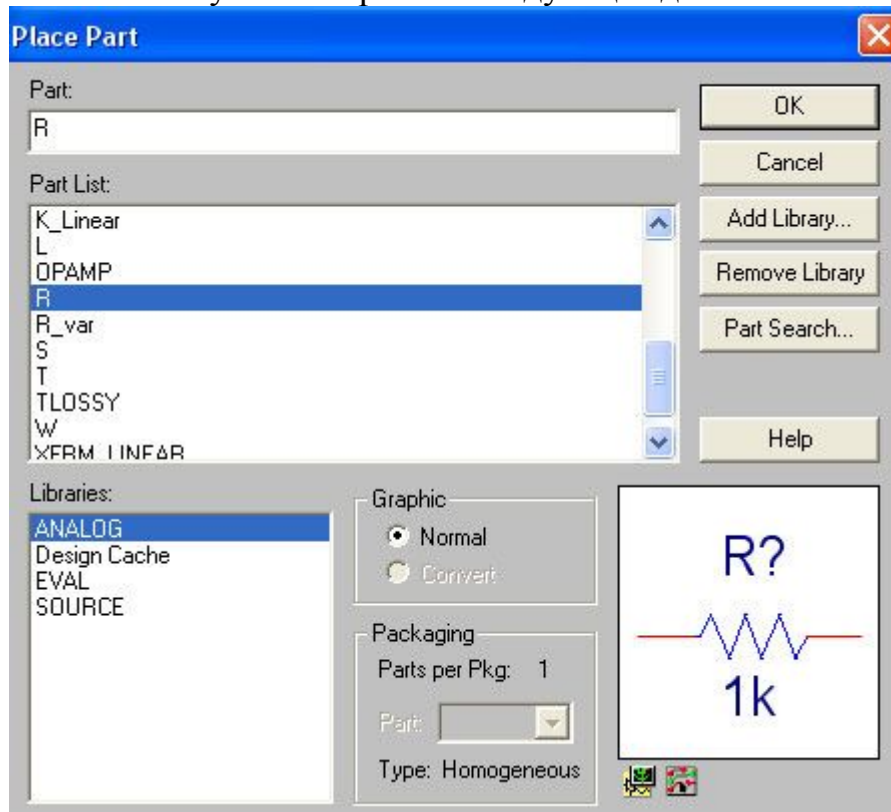


5. Когда откроется окно Create PSPICE Project, выберите "Create Blank Project".

Затем откроется новая страница, как показано ниже.



6. Чтобы добавить элемент к схеме, нужно выбрать пункт меню Place\Part или нажать на иконку . Откроется следующее диалоговое окно:



7. Выберите библиотеку, содержащую необходимые компоненты. Напечатайте начало названия элемента в поле Part. Список элементов Part List пролистается до тех компонентов, названия которых содержатся символы, которые вы ввели. Если библиотека недоступна, нужно добавить её, нажимая на кнопку Add Library. Появится окно, в котором вы можете выбрать желаемую библиотеку. Рассмотрим содержание некоторых библиотек.


Analog содержит пассивные элементы (R,L,C), mutual inductance ?, transmission line, зависимые источники тока и напряжения (источник напряжения, управляемый напряжением, E; источник тока, управляемый током, F; источник тока, управляемый напряжением, G; источник напряжения, управляемый током, H).

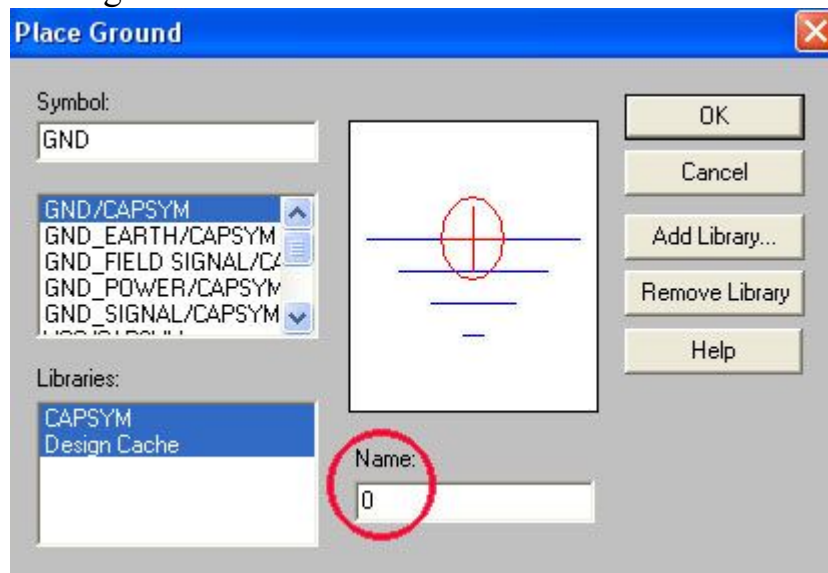
Source содержит различные типы независимых источников тока и напряжения.

Eval включает диоды (D...), биполярные транзисторы (Q...), МОП транзисторы, полевые транзисторы с p-n переходом (J...), реальный операционный усилитель такой, как u741, электронные ключи (SW_tClose, SW_tOpen), различные цифровые компоненты.

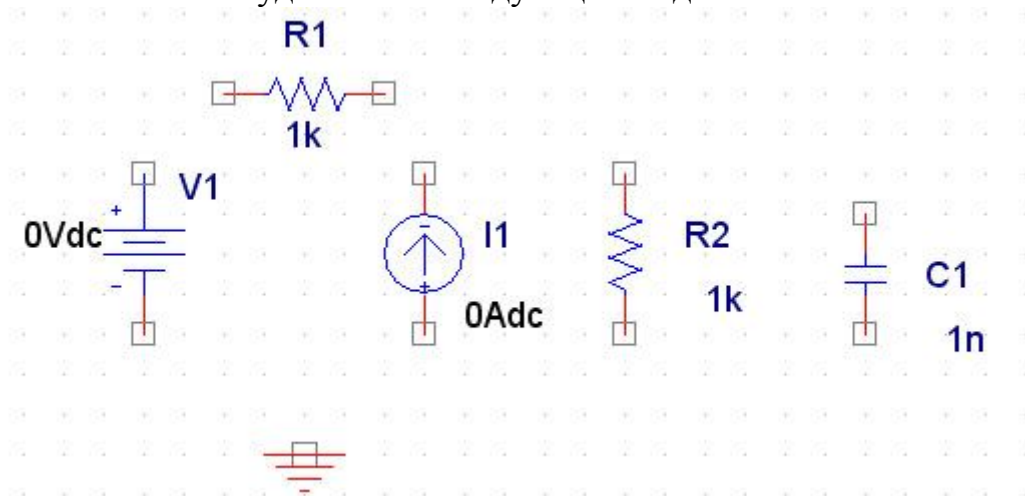
Abm содержит интересные математические операторы, которые могут быть применены к сигналам такие, как умножение (MULT), сумма (SUM), квадратный корень (SQRT), оператор Лапласа (LAPLACE), арктангенс (ARCTAN) и многие другие.


Special содержит разнообразные компоненты, типа параметров (PARAM) и другие.

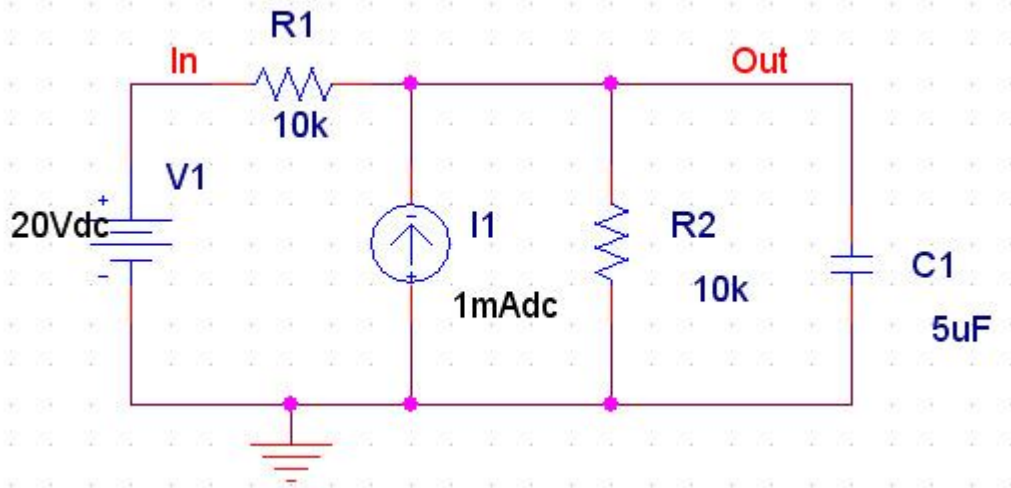
8. Расположите на странице резисторы, конденсатор (из библиотеки Analog) и источники постоянного тока и напряжения. Вы можете поместить элемент нажатием на левую кнопку мыши. Также можно повернуть элемент, если нажать клавишу R. Чтобы разместить еще один такой же элемент, нужно снова кликнуть левой кнопкой мыши. Нажмите клавишу Esc, когда закончите с данным элементом. Можно также установить начальное состояние конденсатора. Для этого необходимо два раза щелкнуть левой кнопкой мыши на нем, затем откроется окно Property Editor, где в колонке IC нужно ввести значение начального состояния, например 3V. В нашем случае предположим, что $IC = 0$ (значение по умолчанию).
9. После размещения всех элементов схемы необходимо добавить заземление, нажав на иконку  или выбрав пункт меню Place\Ground. Когда откроется окно Place Ground, выберите GND/CAPSYM и назовите его 0 (то есть ноль). Не забудьте сменить название, иначе PSPICE выдаст ошибку "Floating Node".



После этого схема будет иметь следующий вид:



10. Соедините элементы. Для этого выберите пункт меню Place\Wire или кликните по иконке .
11. Вы можете назначить имена узлам схемы, выбрав пункт меню Place\Net Alias.
12. Измените значения резисторов, дважды щелкнув на номере рядом с резистором. Можно так же изменить название резистора. Сделайте то же самое для конденсатора, источников тока и напряжения.



Список соединений

Список соединений — это список всех элементов, имеющий простой формат:

R_имя узел 1 узел 2 значение

Чтобы сгенерировать список соединений, выберите пункт меню PSPICE\Create Netlist. Чтобы просмотреть файл списка соединений, выберите PSPICE\View Netlist.

Обратите внимание на направление тока в элементах! Положительное направление тока в элементе такое, как резисторе, от узла 1 к узлу 2. Узел 1 является левым выводом для горизонтального расположения или верхним выводом для вертикального расположения. Вращая элемент на 180 градусов можно переключить номера выводов.

В нашем случае номера Netlist выглядят следующим образом:

```
V_V1      IN 0 20Vdc
I_I1      0 OUT DC 1mA dc
R_R1      IN OUT 10k
R_R2      0 OUT 10k
C_C1      0 OUT 5uF
```


Мы заинтересованы в направлении тока от узла OUT к заземлению, поэтому нужно повернуть резистор R2 дважды так, что надо поменять местами значения:

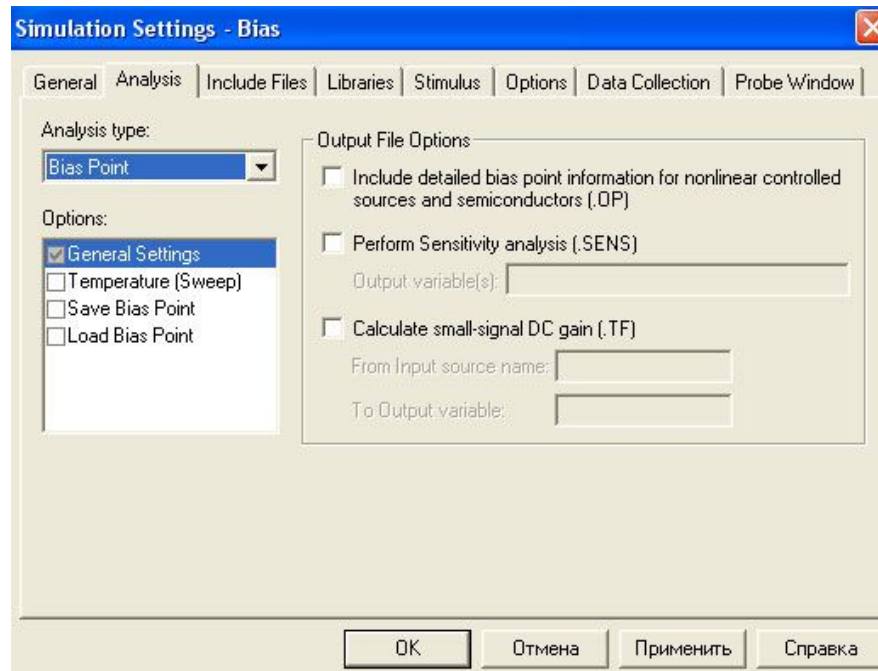
R_R2 OUT 0 10k

Определение типа анализа

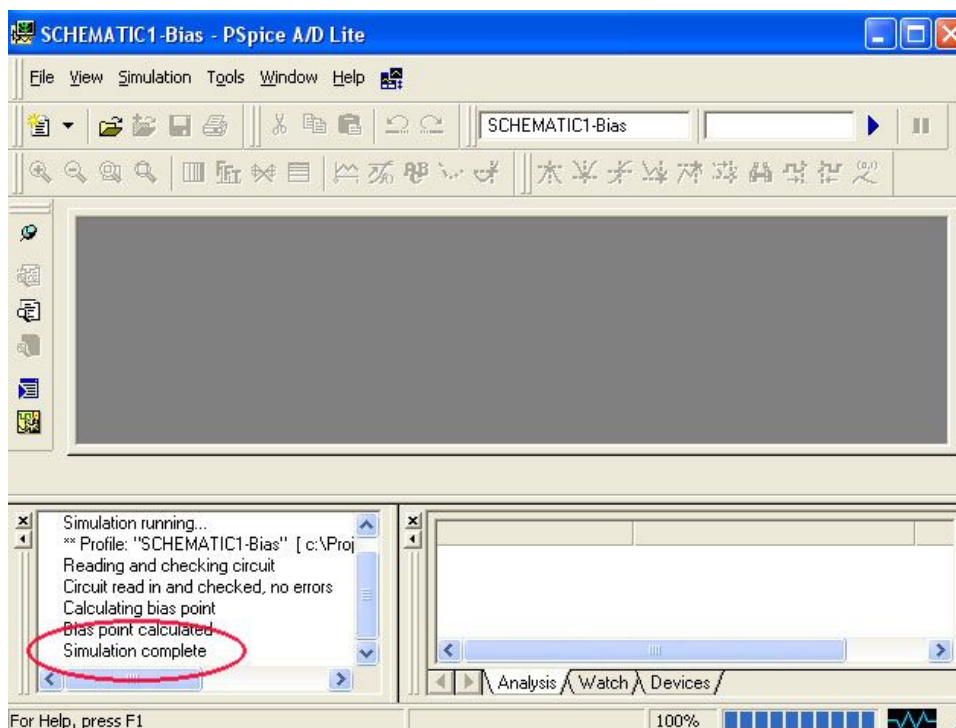
Как было упомянуто выше, PSPICE позволяет проводить различные типы анализа. Рассмотрим, как проводятся (Bias) и (DC Sweep) анализы на схеме, смоделированной выше.

Bias or DC analysis

1. Выберите пункт меню PSPICE\New Simulation Profile.
2. В текстовом поле Name введите имя файла, например Bias.
3. В поле Inherit From выберите none и нажмите Create.
4. Когда откроется окно Simulation Settings, в поле Analysis Type выберите Bias Point и нажмите OK.

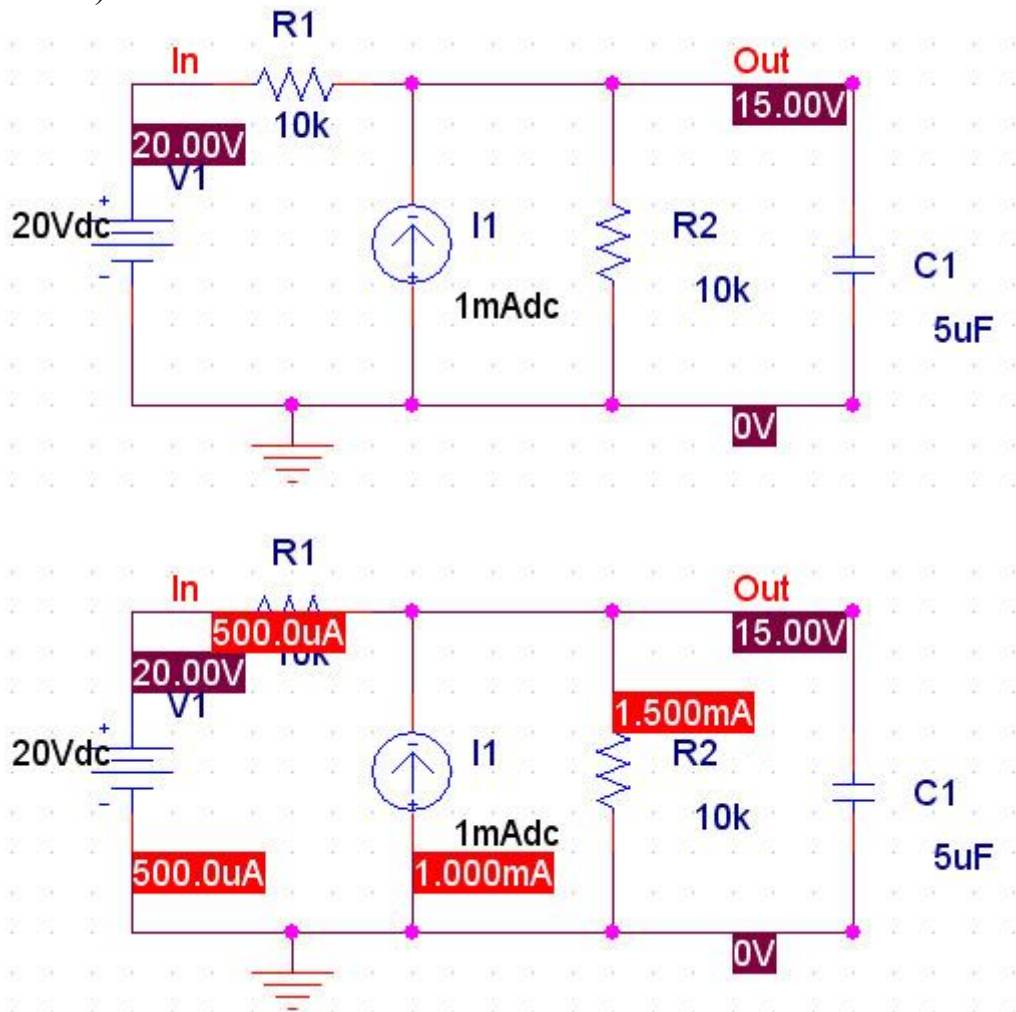


5. Далее пункт меню PSPICE\Run.



6. For Help, press F1
7. Откроется окно, сообщающее, что анализ прошел успешно. Если есть ошибки, посмотрите файл Simulation Output.

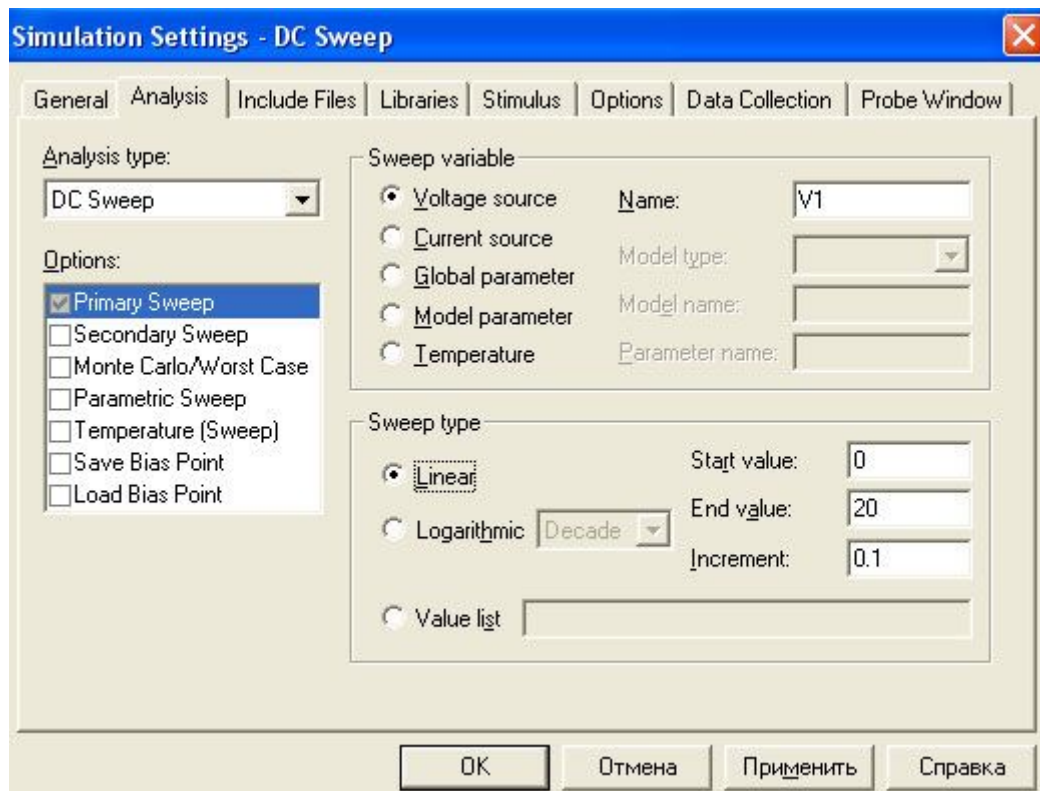
8. Чтобы увидеть результат анализа, вы можете открыть файл Simulation Output или нажать на иконку **V** (показать напряжения) и **I** (показать токи).



DC Sweep simulation

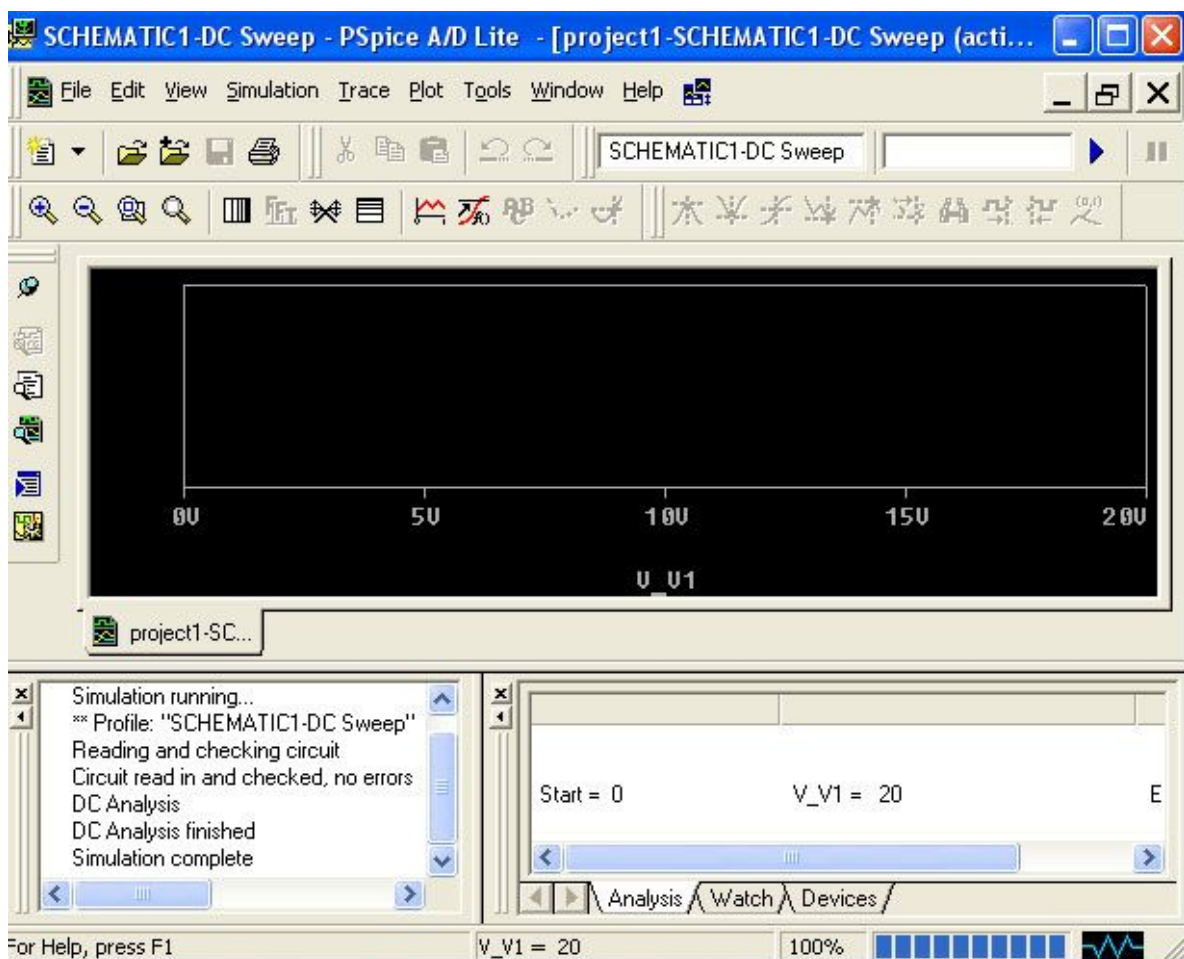
Рассмотрим ту же самую схему, чтобы проанализировать, что произойдет при изменении значения источника напряжения от 0 до 20 V. При этом значение источника тока оставим прежним 1mA.

1. Выберите пункт меню PSPICE\New Simulation Profile.
2. В текстовом поле Name введите имя файла, например DC Sweep.
3. В качестве типа анализа выберите DC Sweep. Введите имя источника напряжения V1, значение которого будет меняться. Нужно определить начальное и конечное состояния: 0, 20 и 0.1V соответственно.
4. Запустите моделирование (PSPICE\Run). PSPICE сгенерирует выходной файл, который содержит значения токов и напряжений в схеме.

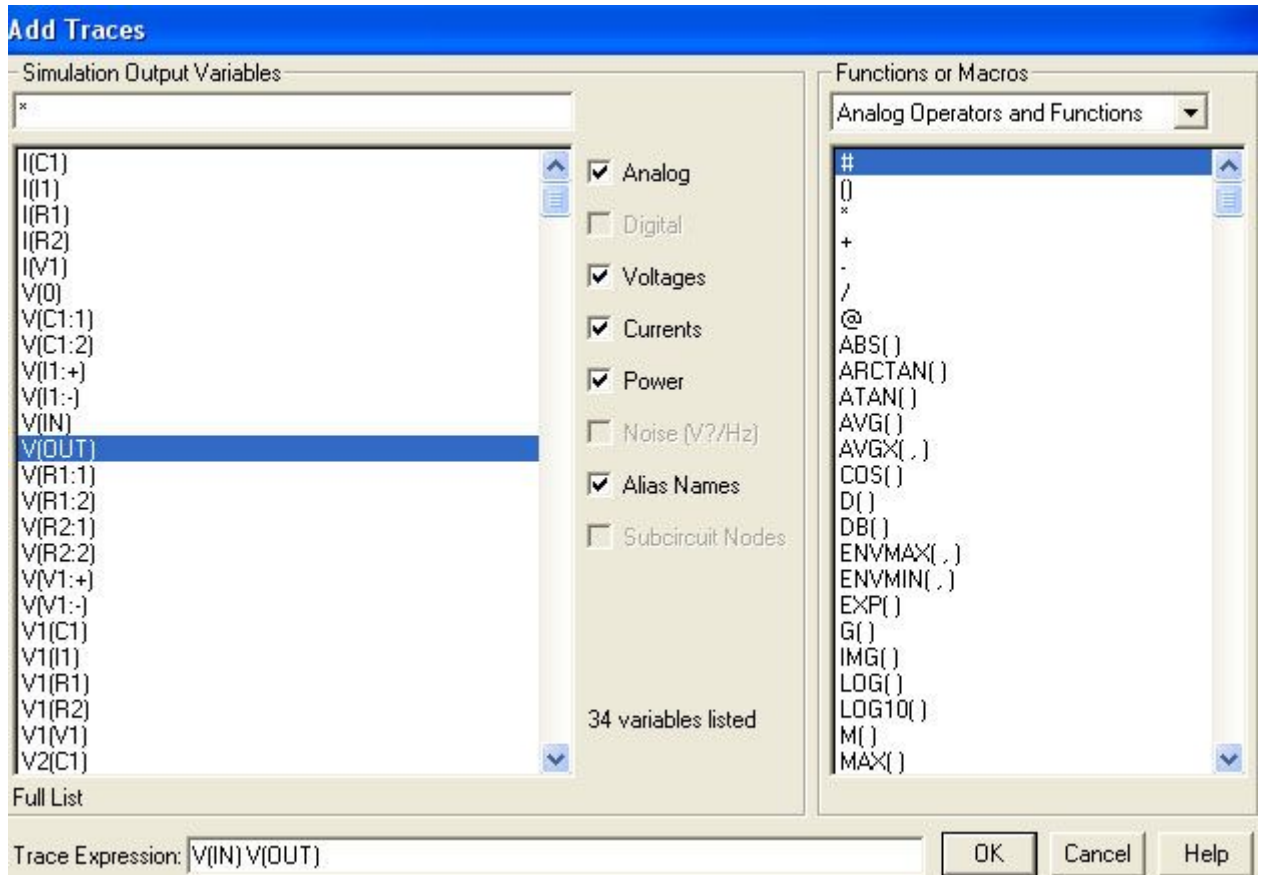


Отображение результатов моделирования

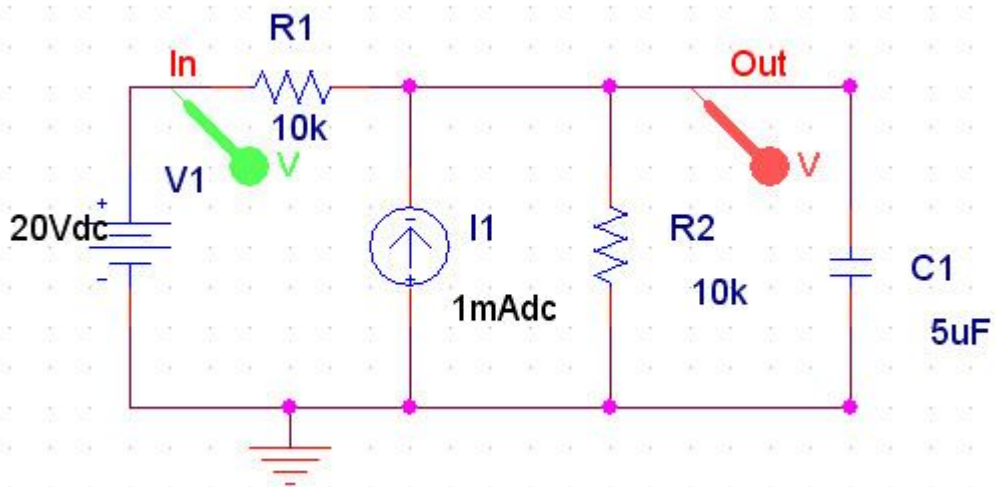
PSPICE имеет легкий в понимании интерфейс, который отображает результаты моделирования. Как только моделирование закончится, откроется окно Probe.



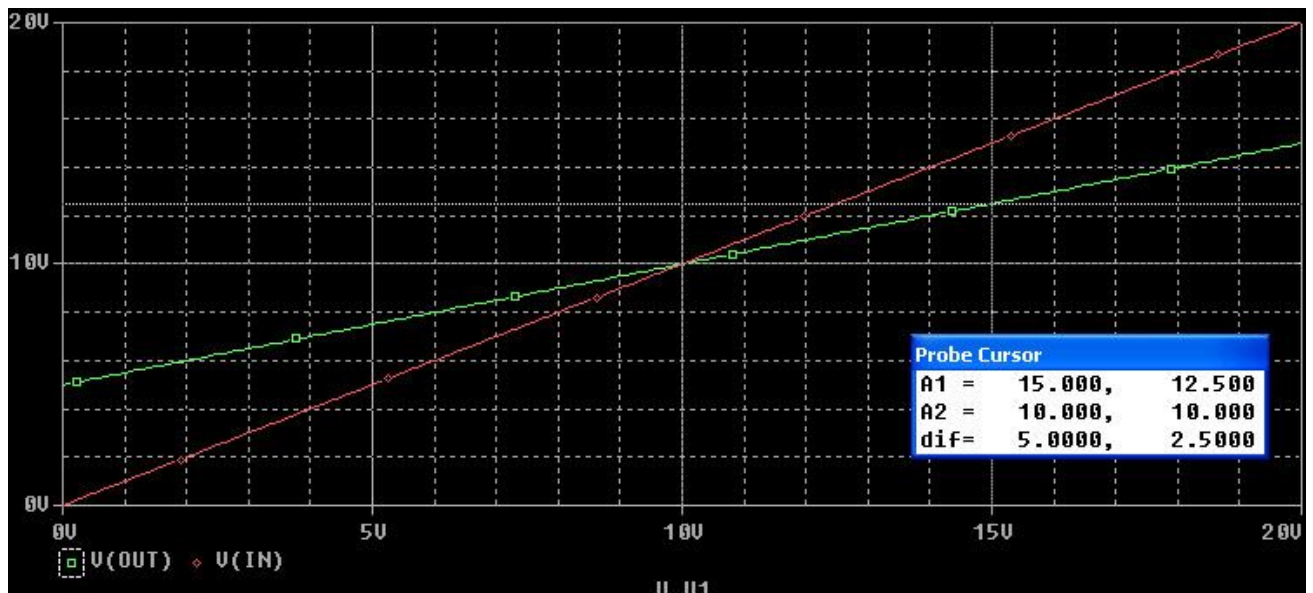
1. В меню Trace выберите Add Trace и выберите те напряжения и токи, которые вы хотите увидеть. В нашем случае мы добавляем V(in) и V(out). Нажмите ОК.



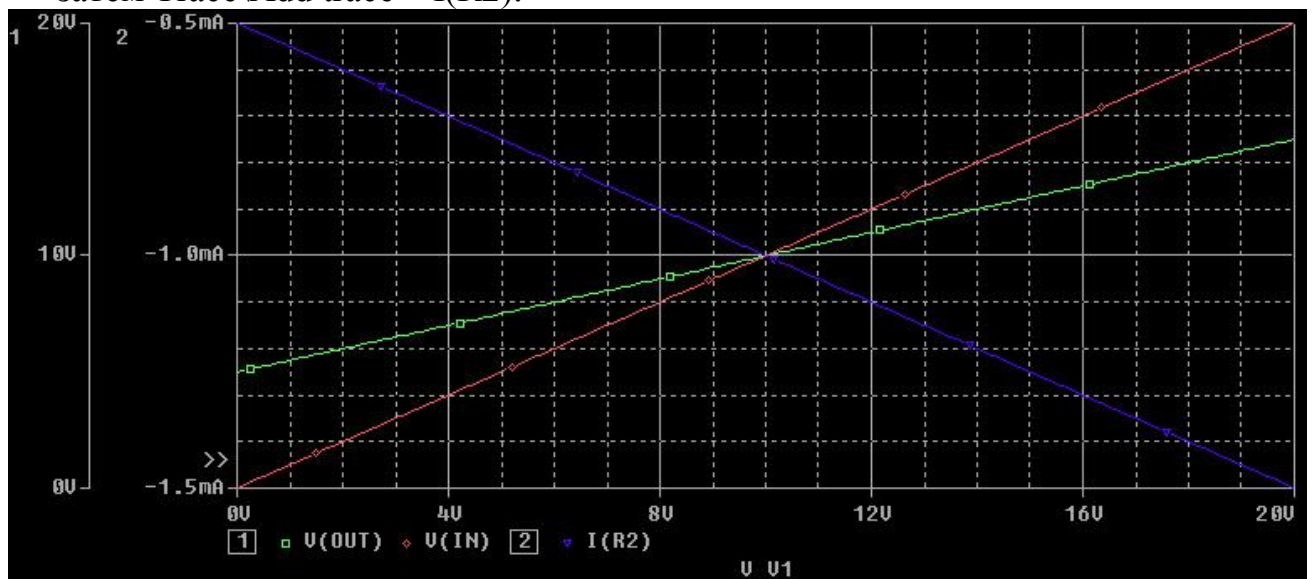
2. Это можно сделать и другим способом: выберите пункт меню PSPICE\Markers\Voltage Level. Расположите маркеры над узлами In и Out.
3. Вернитесь обратно в PSPICE. Обратите внимание на то, что маркеры закрасятся цветом.



4. Можно также использовать курсоры на графиках V(in) и V(out), чтобы увидеть фактические значения в некоторых точках. Для этого выберите пункт меню Trace\Curcor\Display.

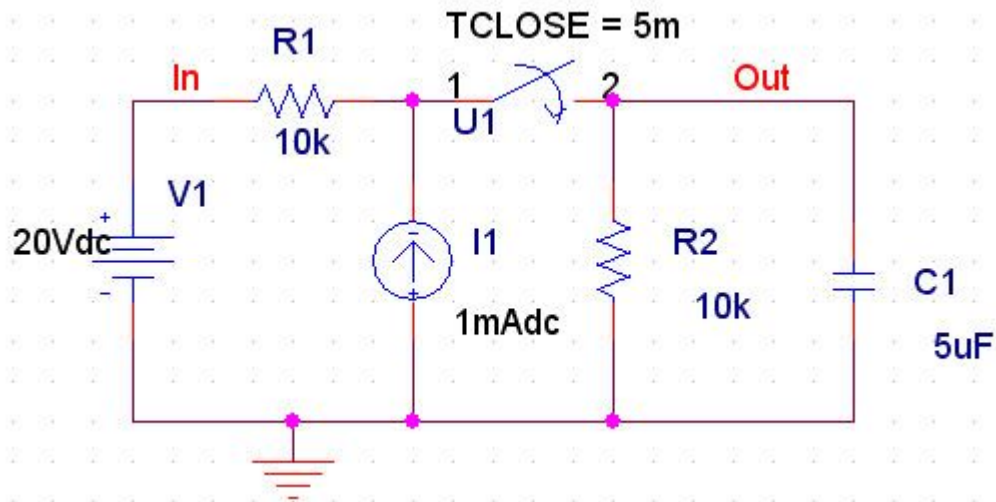


- Курсоры будут связаны с первым графиком (в нашем случае $V(out)$). Это обозначено маленьким прямоугольником вокруг легенды для $V(out)$ у нижнего края окна. Щелкните левой кнопкой мыши на первом графике и значения по оси X и по оси Y будут отображены в окне Probe Cursor. Если вы щелкните правой кнопкой мыши на графике, то увидите значение второго курсора в окне Probe Cursor и их разность в поле dif.
- Чтобы переместить курсор на второй график $V(in)$, нажмите правой кнопкой мыши на легенде для $V(in)$. Таким образом, нажатием левой кнопкой мыши вы фиксируете курсор на графике $V(out)$, а нажатием правой — на $V(in)$. При этом в окне probe Cursor будет отображаться их разность.
- Также можно добавить вторую ось Y и использовать ее, чтобы, например, посмотреть ток на резисторе $R2$. Выберите пункт меню Plot\Add Y Axis. А затем Trace\Add trace – $I(R2)$.

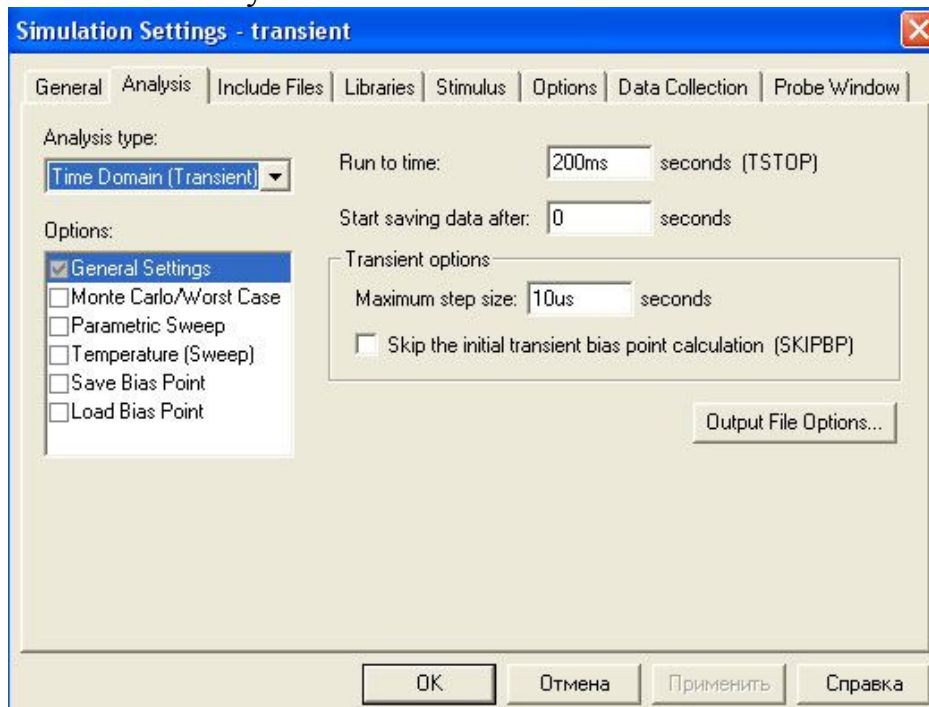


Анализ переходных процессов (Transient analysis)

Будем использовать ту же самую схему, что и для предыдущего анализа, однако внесем одно изменение:

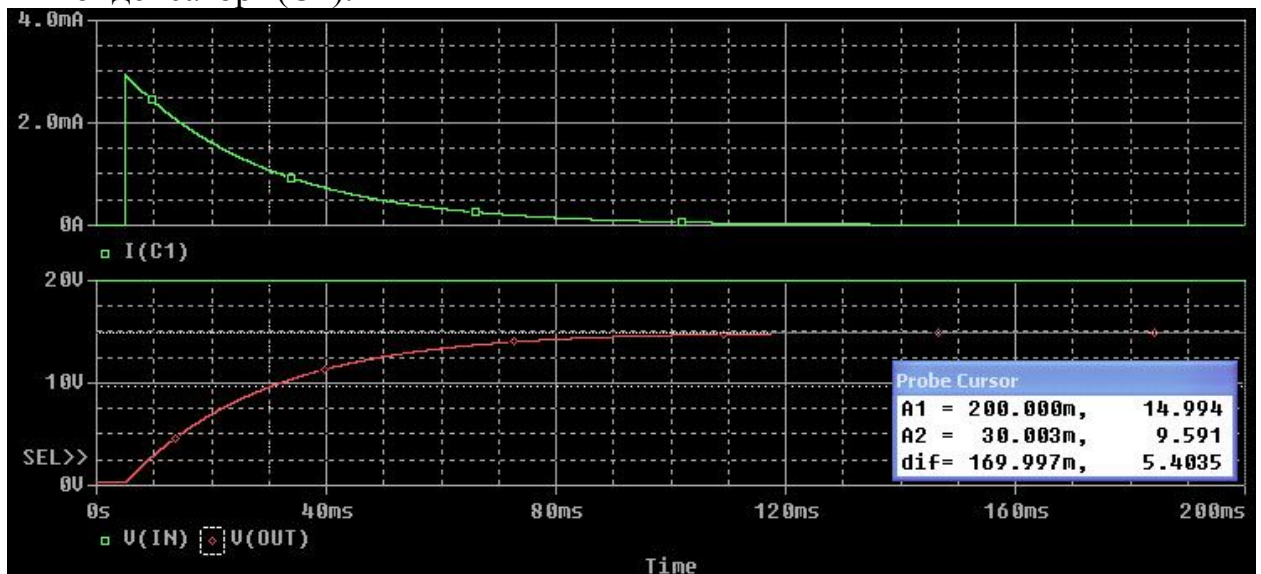


1. Вставьте элемент Sw_tClose (электронный ключ) из библиотеки Eval, как показано выше. Двойным щелчком на элементе, установите значение TCLOSE=5ms, когда ключ закрывается.
2. Установите тип анализа: пункт меню PSPICE\New Simulation Profile. Назовите его, например Transient. Когда откроется окно Simulation Settings, выберите Time Domain(Transient) тип анализа. Введите время выполнения (в поле Run to Time введите 200ms). Поле Maximum Step Size вы можете оставить пустым или ввести 10us.



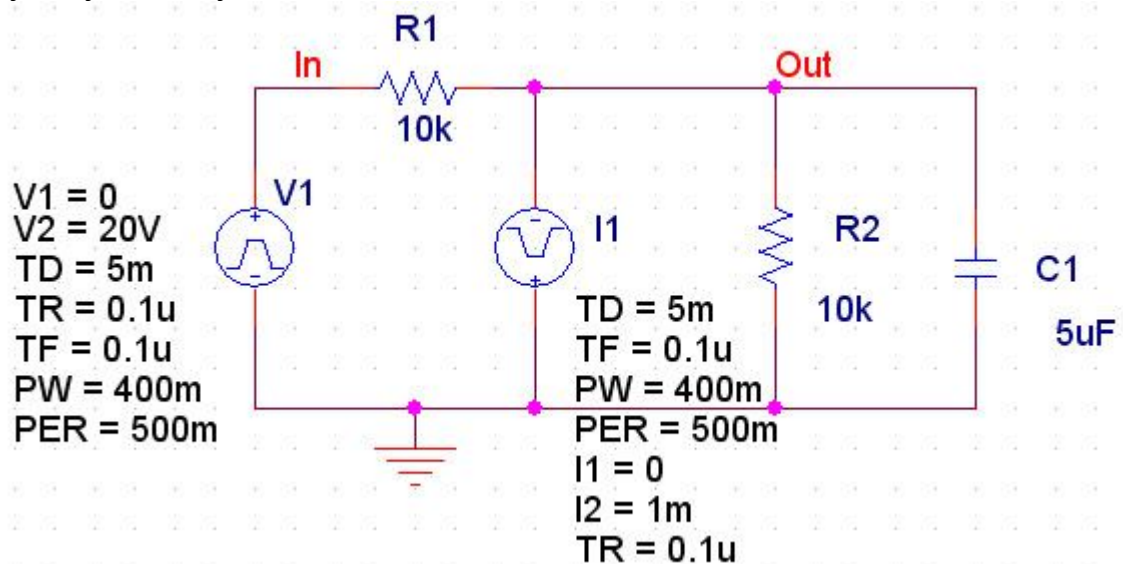
3. Запустите PSPICE (пункт меню PSPICE\Run).
4. Откроется окно Probe. Далее, как и в предыдущем случае, пункт меню Trace\Add Trace, выбираем V(out) и V(in). Добавим еще одну систему

координат (Plot\Add Plot to Window) и отобразим в нем ток через конденсатор I(C1).



5. Используя курсор, можно найти постоянную времени в экспоненциальной форме. Для этого вычислим $0.632 * V(\text{out})_{\text{max}} = 0.632 * 14.994 = 9.48$. Затем двигаем второй курсор в точку, где напряжение приблизительно равно 9.48, в нашем случае это 30ms. Таким образом, постоянная времени равная $30 - 5 = 25\text{ms}$ (в момент времени 5ms ключ закрывается).

Вместо электронного ключа можно использовать источник напряжения, который периодически изменяет свое значение. Рассмотрим следующую схему:

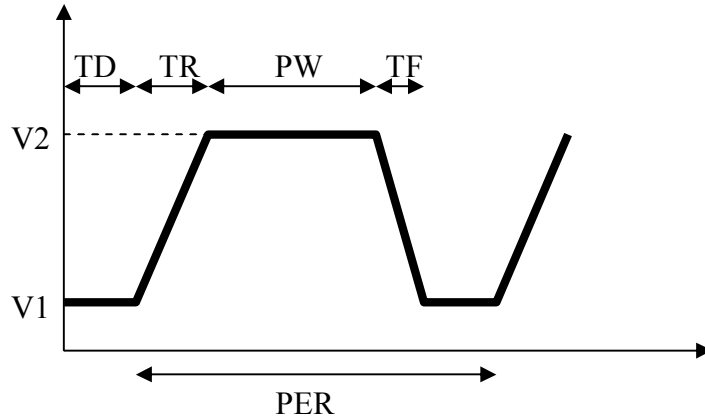


Здесь используются источники прямоугольных импульсов VPULSE и IPULSE из библиотеки SOURCE. Эти источники имеют следующие параметры(для VPULSE):

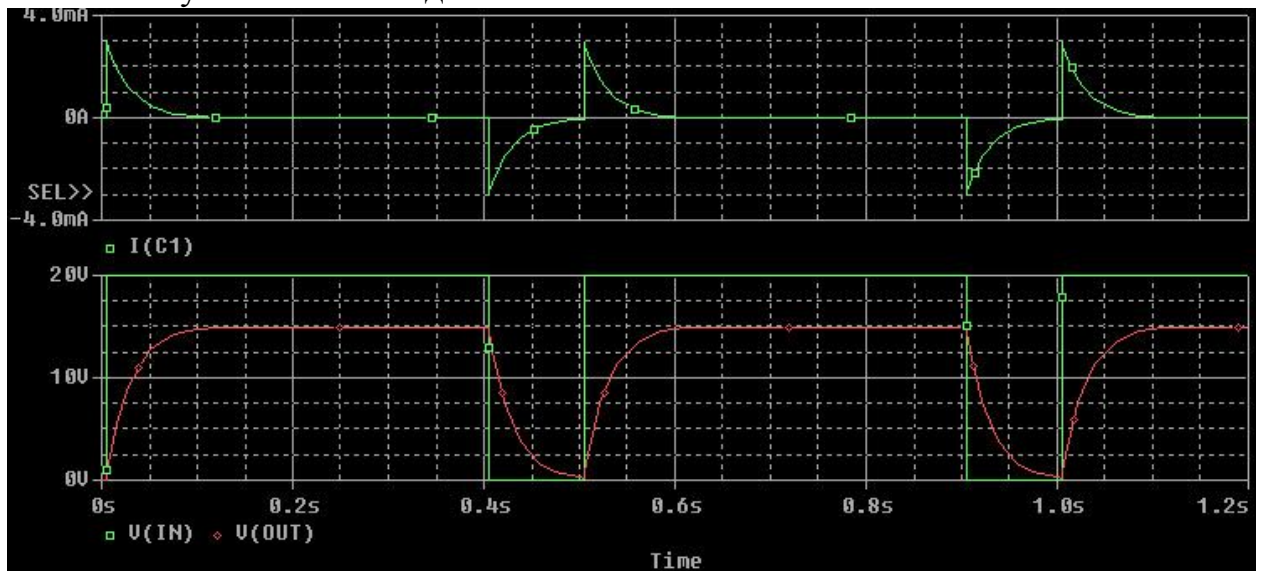
- V1 начальное напряжение
- V2 максимальное напряжение
- TD начальное время задержки
- TR время нарастания

TF время спада
 PW время импульса
 PER период

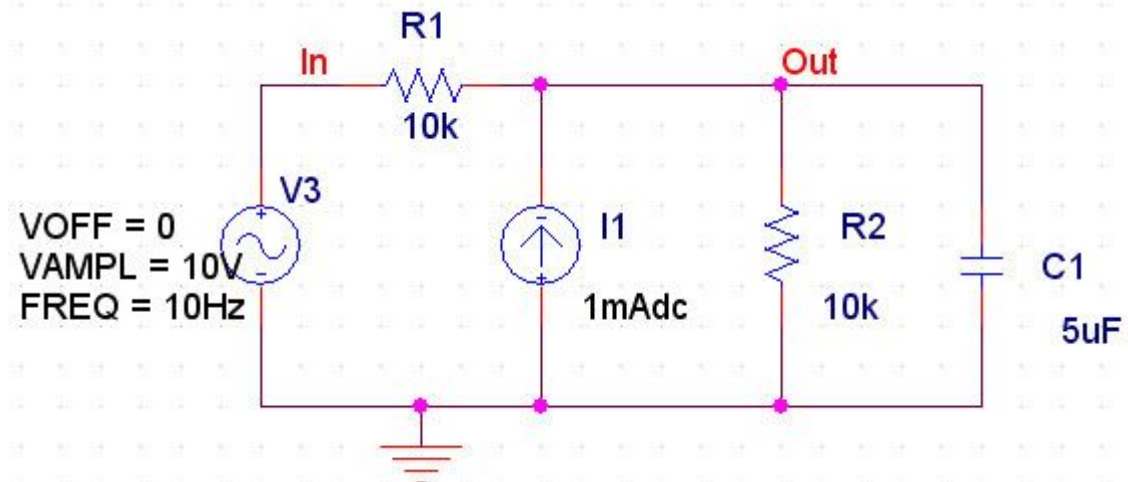
Следующий рисунок показывает смысл каждого параметра:



Результат анализа данной схемы:

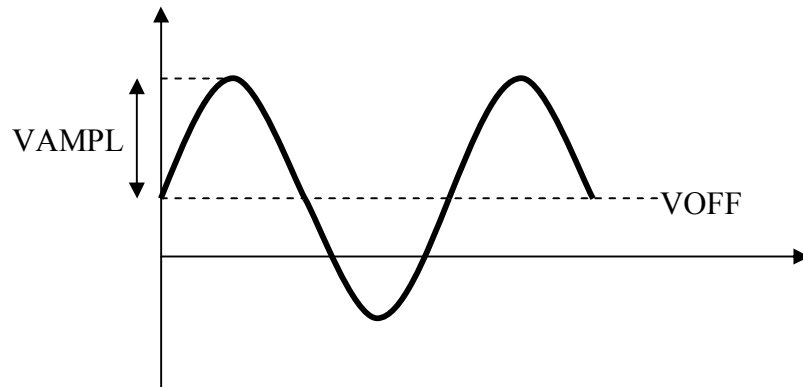


Приведем еще один пример. Рассмотрим схему с источником синусоидальных импульсов VSIN:

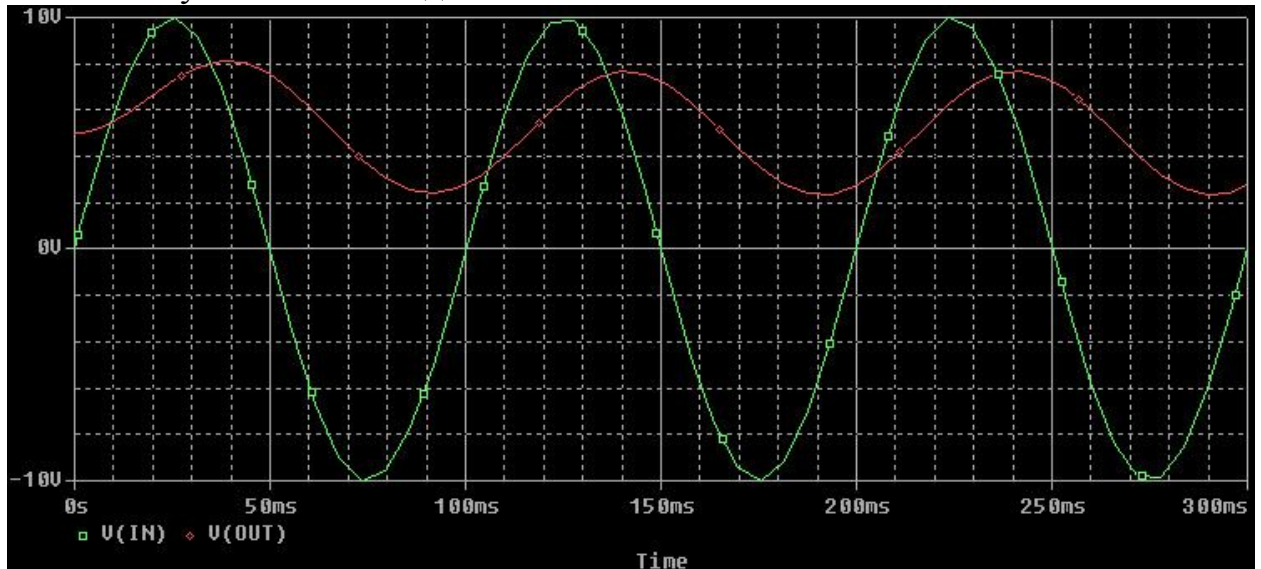


Параметры VSIN (библиотека SOURCE):

VOFF начальное напряжение
 VAMPL амплитуда
 FREQ частота



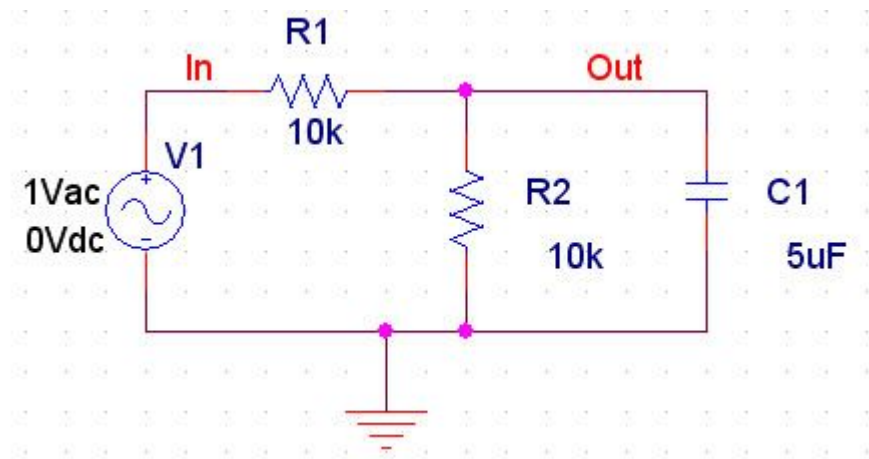
Результат анализа данной схемы:



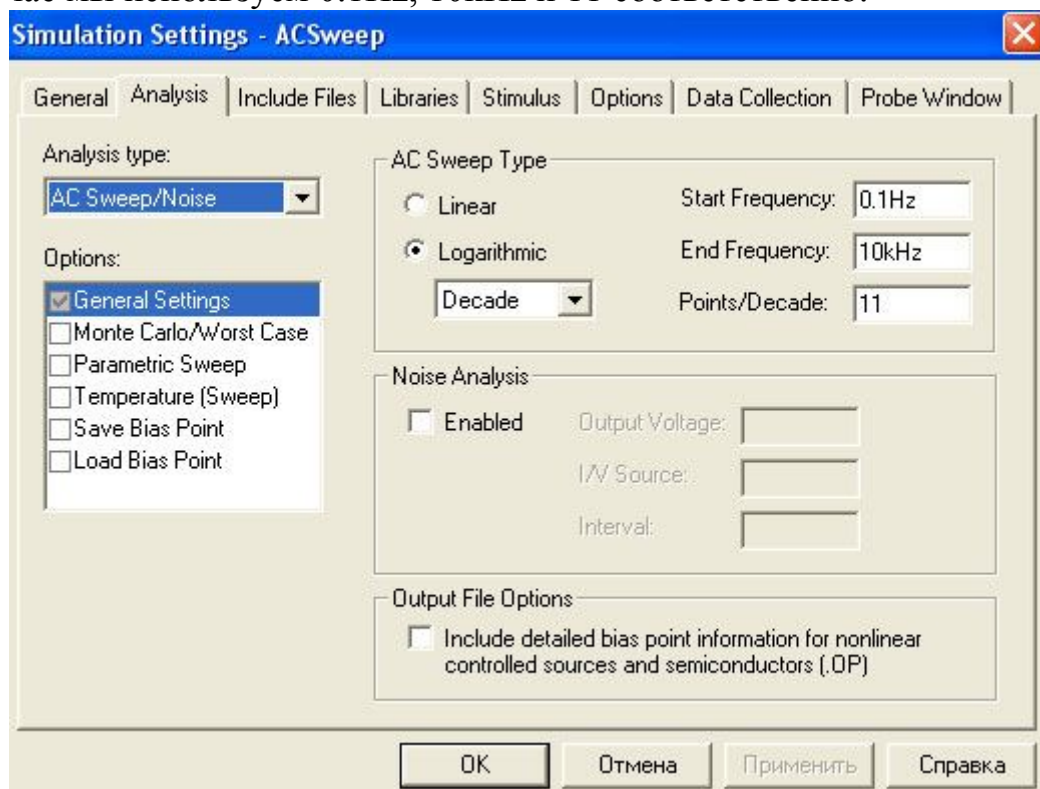
AC Sweep analysis

Рассмотрим данный вид анализа на примере схемы с синусоидальным напряжением, частота которого изменяется в заданном диапазоне. Программа вычислит соответствующие напряжение, амплитуду и фазу для каждой частоты. Если входная амплитуда установлена 1V, то выходное напряжение – это по существу передаточная функция. В отличие от анализа переходных процессов, в котором моделирование выполняется в некотором промежутке времени, AC Sweep – это моделирование устойчивых состояний схемы. Если схема содержит нелинейные элементы, например диоды или транзисторы, то эти элементы будут заменены на модели для малых сигналов с соответствующими параметрами.

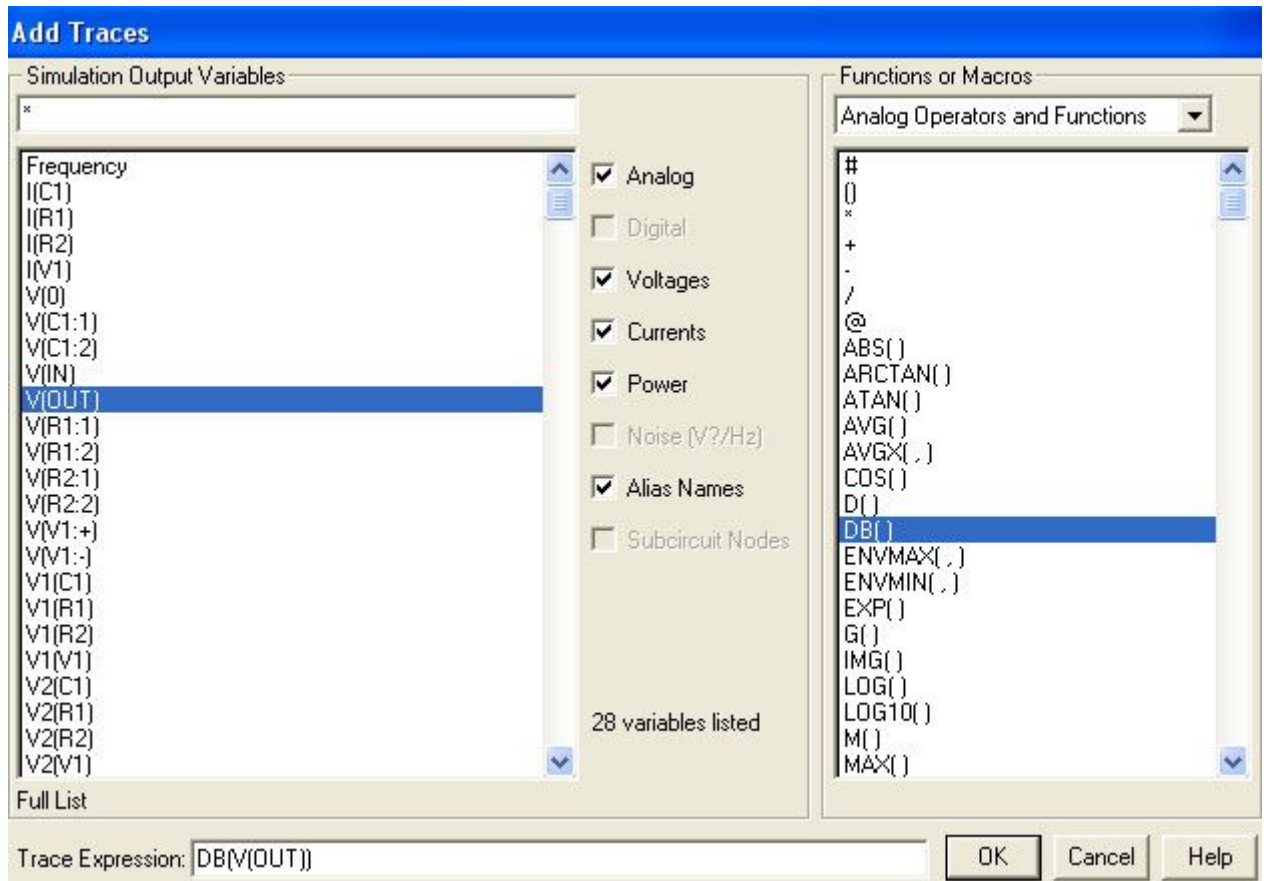
В качестве примера рассмотрим простой RC-фильтр:



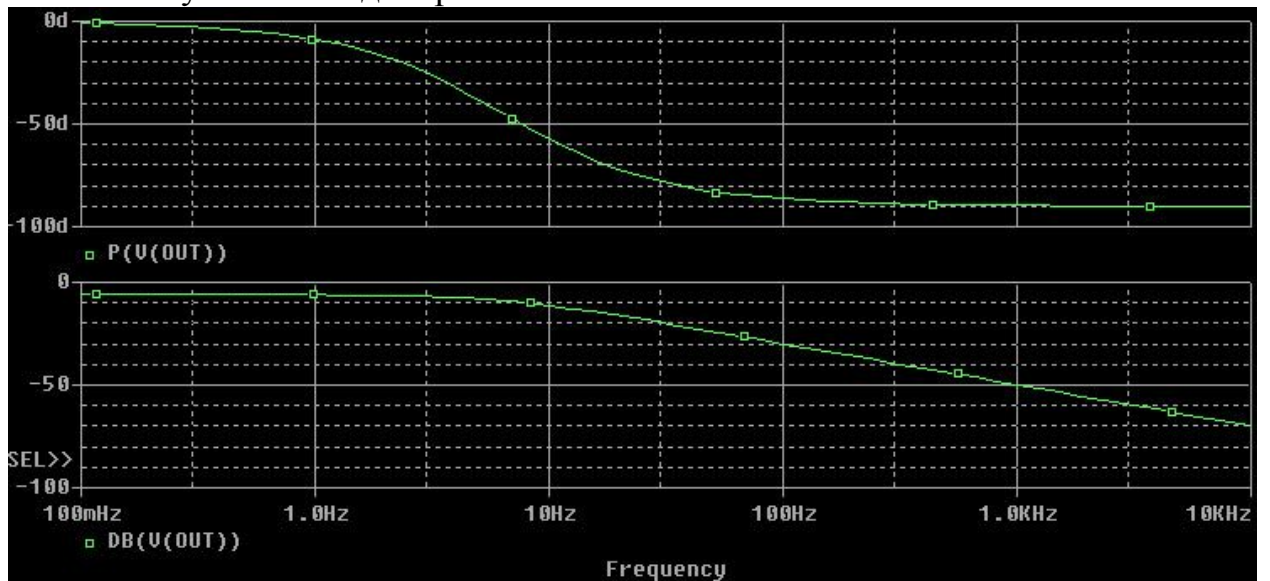
1. Создайте новый проект и соберите схему.
2. В качестве источника напряжения используйте VAC из библиотеки Source.
3. Установите значение входной амплитуды 1V.
4. Выберите тип анализа AC Sweep/Noise (PSPICE\New Simulation Profile).
5. Введите начальное и конечное значение частоты и число точек. В нашем случае мы используем 0.1Hz, 10kHz и 11 соответственно.



6. Запустите моделирование (PSPICE\Run).
7. Напряжение может быть показано в децибелах. Для этого из списка Functions or Macros выберите функцию DB(), а затем из списка Simulation Output Variables – V(out). Для фазы используйте функцию P().



Результаты моделирования:



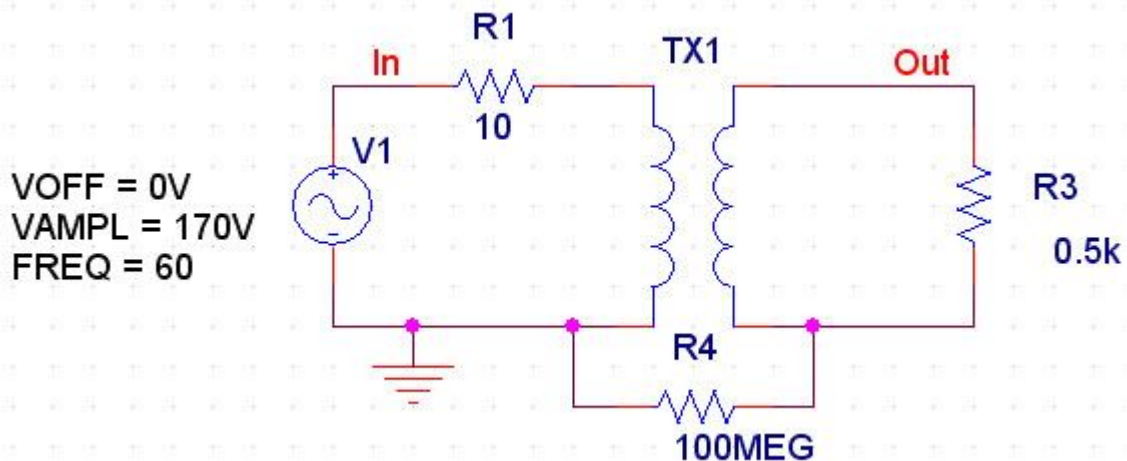
Дополнительные примеры

Схема с трансформатором

PSPICE не имеет никакой модели для идеального трансформатора. Идеальный трансформатор моделируется, используя коэффициент взаимной индукции таким образом, что

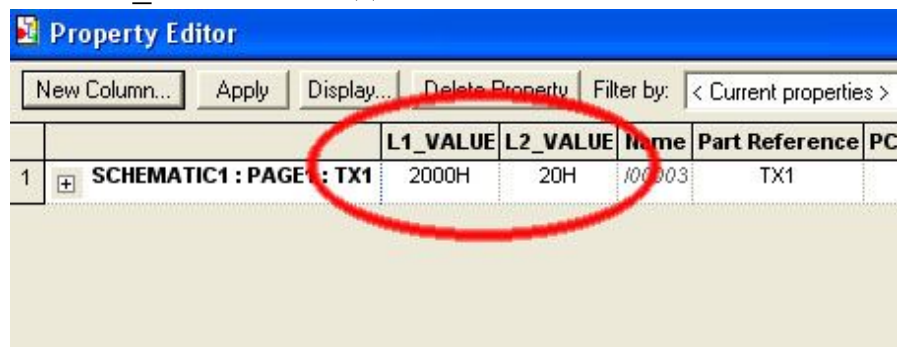
$$\frac{N_1}{N_2} = \sqrt{\frac{L_1}{L_2}}.$$

Этот элемент находится в библиотеке Analog и называется XFRM_LINEAR. Выберите коэффициент связи $K \approx 1$, а индуктивность катушки L так, чтобы величина ωL была много больше сопротивления резистора, подключенного к индуктивному элементу. Цепь вторичной обмотки должна быть заземлена. Это может быть достигнуто, если к заземлению подключить резистор с большим сопротивлением, и соединить цепи первичной и вторичной обмотки. Следующий пример иллюстрирует моделирование схемы с трансформатором.



В данной схеме резистор R3 соединен параллельно с катушкой L2. Тогда должно выполняться $\omega L_2 \gg 500$ Ом или $L_2 \gg 500 / (60 * 2 * \pi)$. Предположим $L_2 = 20$ Гн. Таким образом, чтобы получить коэффициент трансформации, равный 10, нужно взять $L_1 = L_2 * 100 = 2000$ Гн.

1. Соберите данную схему.
2. Используйте трансформатор XFRM_LINEAR из библиотеки Analog.
3. Кликните два раза левой кнопкой мыши на трансформаторе, появится окно Property Editor. Прокрутите скролл вправо, пока не увидите колонки L1_VALUE и L2_VALUE. Введите значения 2000H и 20H соответственно.

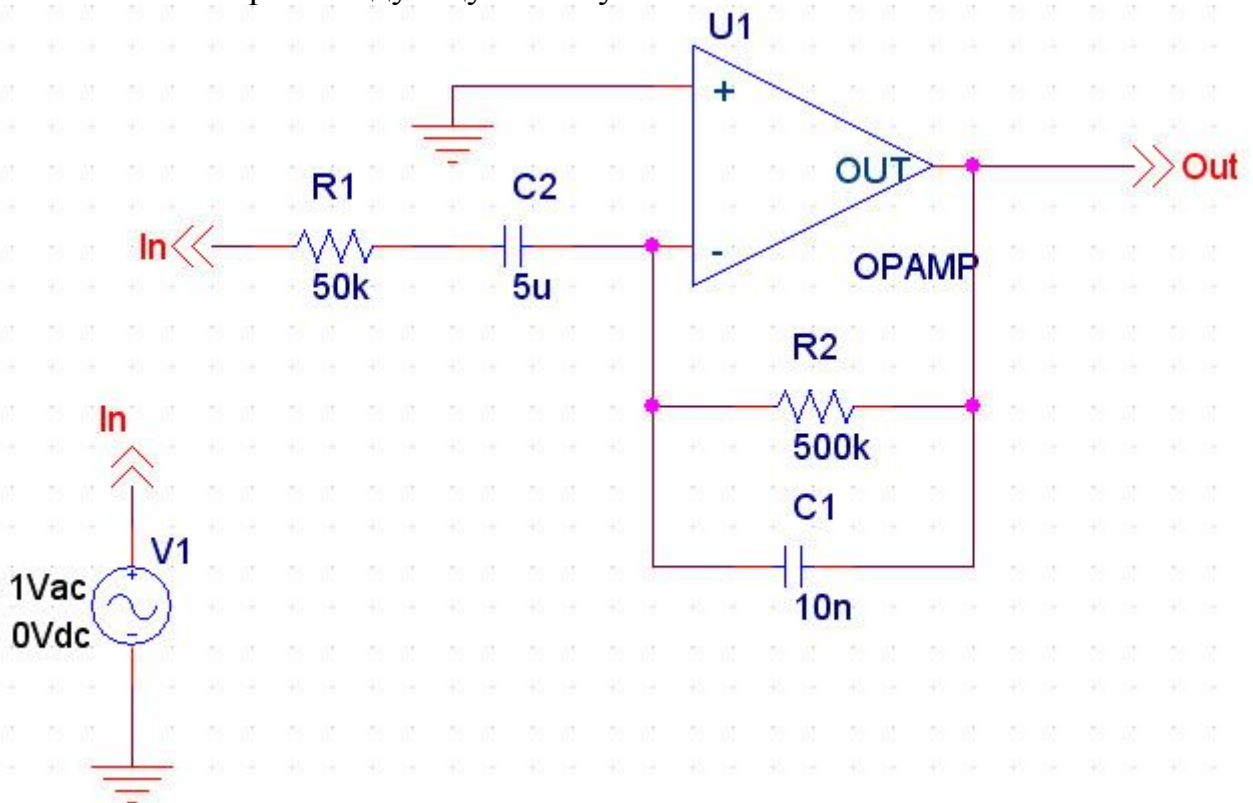


4. Проведя анализ переходных процессов (Transient), получим следующий результат:



AC Sweep анализ фильтра на идеальном операционном усилителе

Рассмотрим следующую схему:



В данной схеме используются соединения особого вида – OFFPAGELEFT-R из библиотеки CAPSYM. Названия таких соединений могут быть изменены двойным щелчком левой кнопки мыши на них. Если дать одно и тоже название двум соединениям (узлам), то они считаются соединенными.

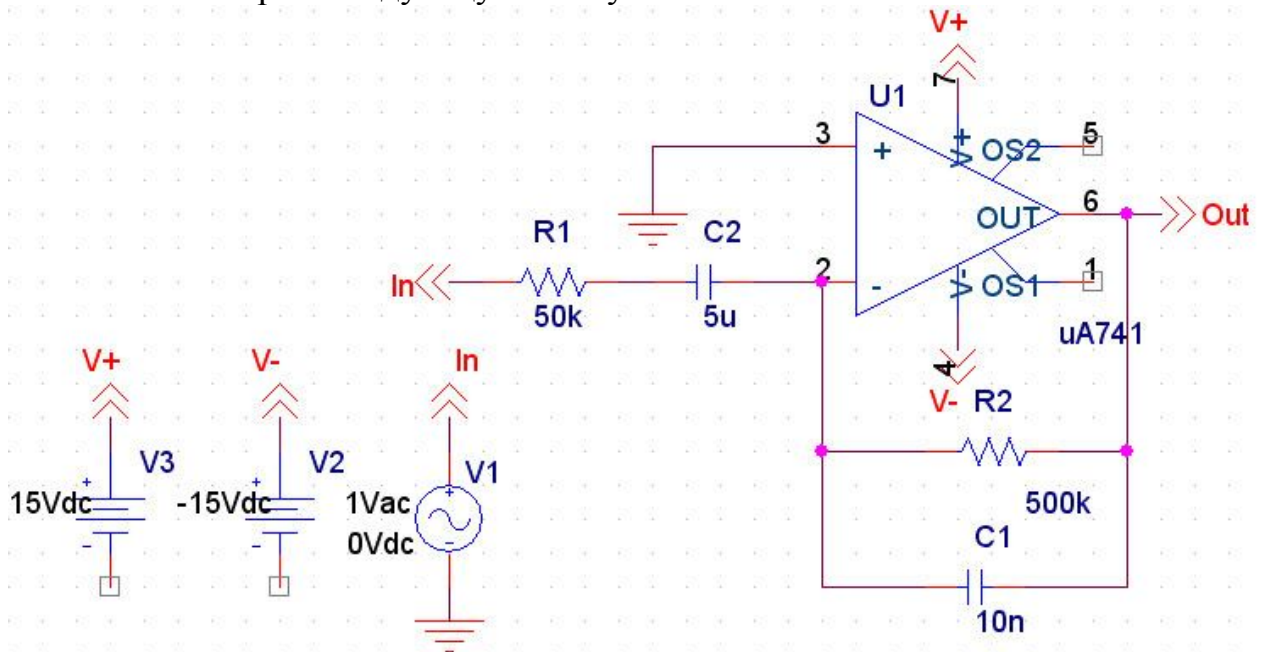
В данной схеме также используется источник напряжения VAC из библиотеки Source и операционный усилитель Opamp из библиотеки Analog.

Результат AC Sweep анализа этой схемы выглядит следующим образом:

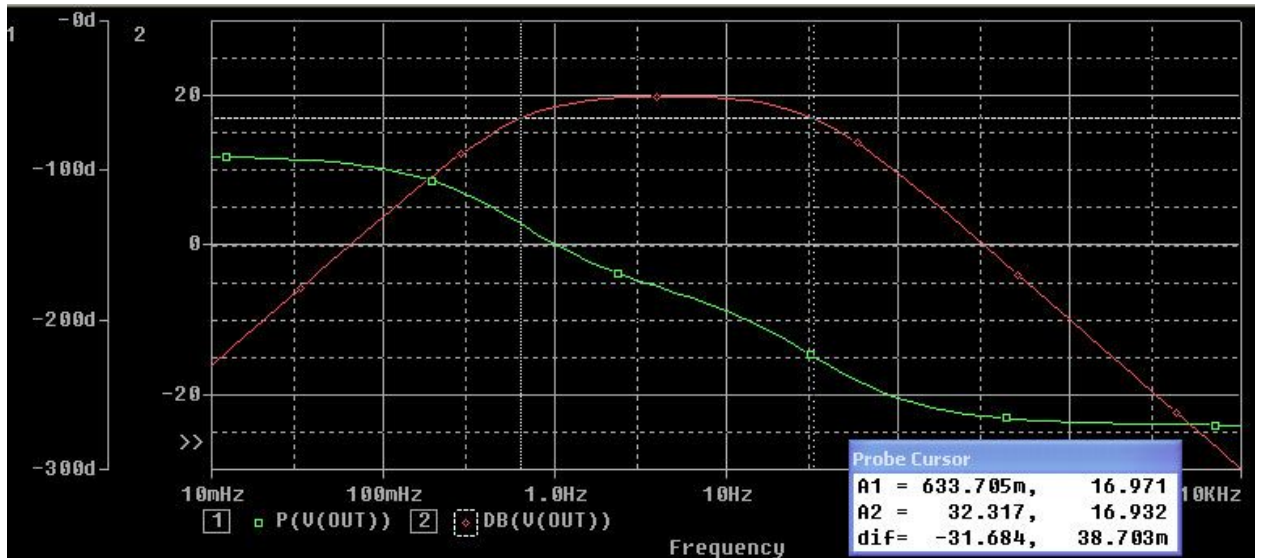


AC Sweep анализ фильтра на реальном операционном усилителе

Рассмотрим следующую схему:

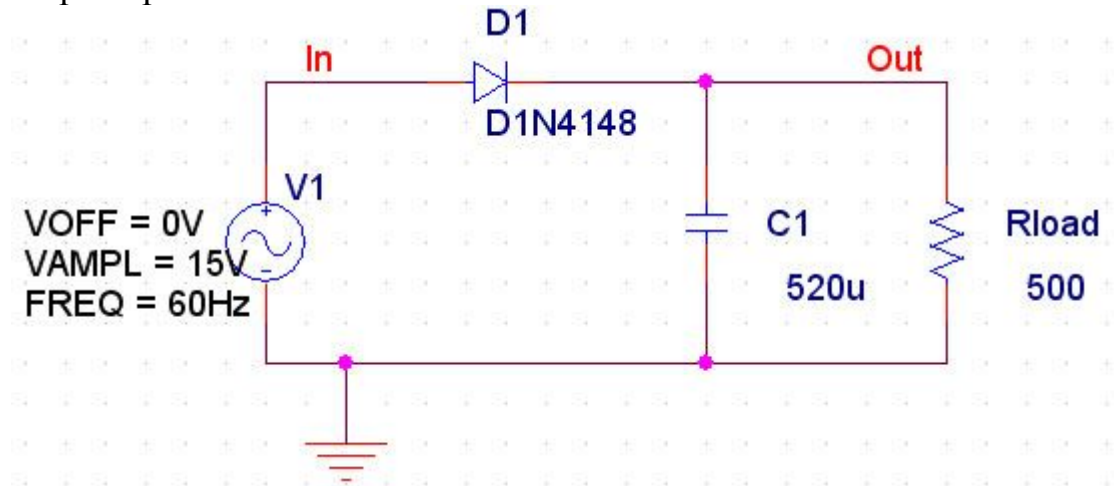


Здесь используется операционный усилитель U741 из библиотеки Eval. Результат моделирования показан ниже. Разница между фильтрами на идеальном и реальном операционном усилителе незначительна в данном диапазоне частот.

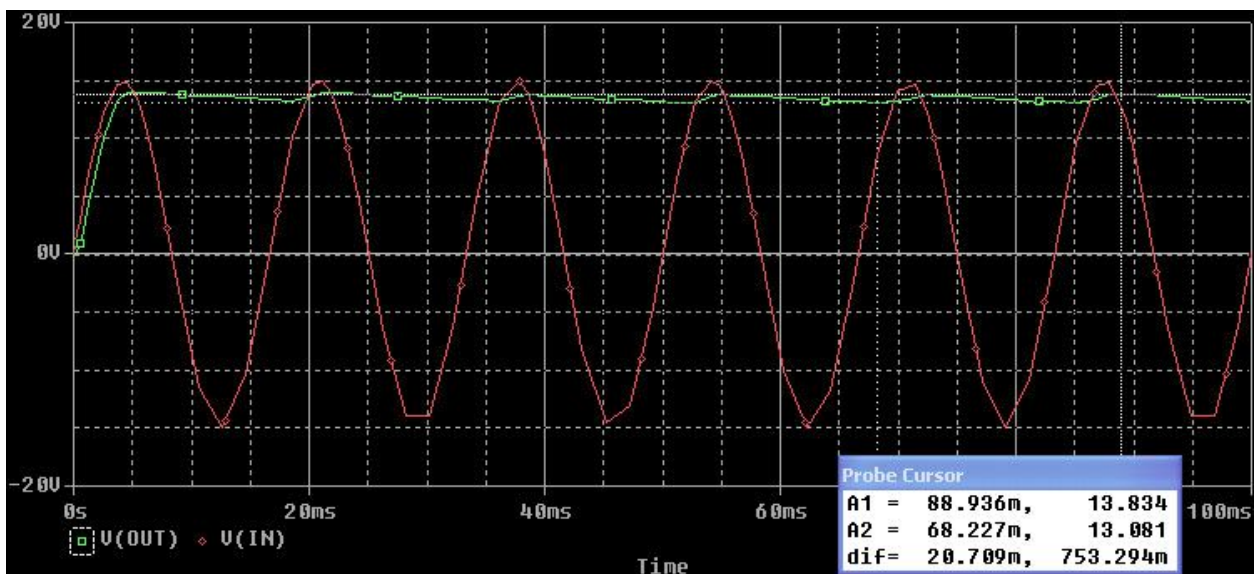


Сглаживающий фильтр. Использование parametric sweep.

Соберем схему сглаживающего фильтра, используя диод D1N4148 и резистор сопротивлением в 500 Ом.



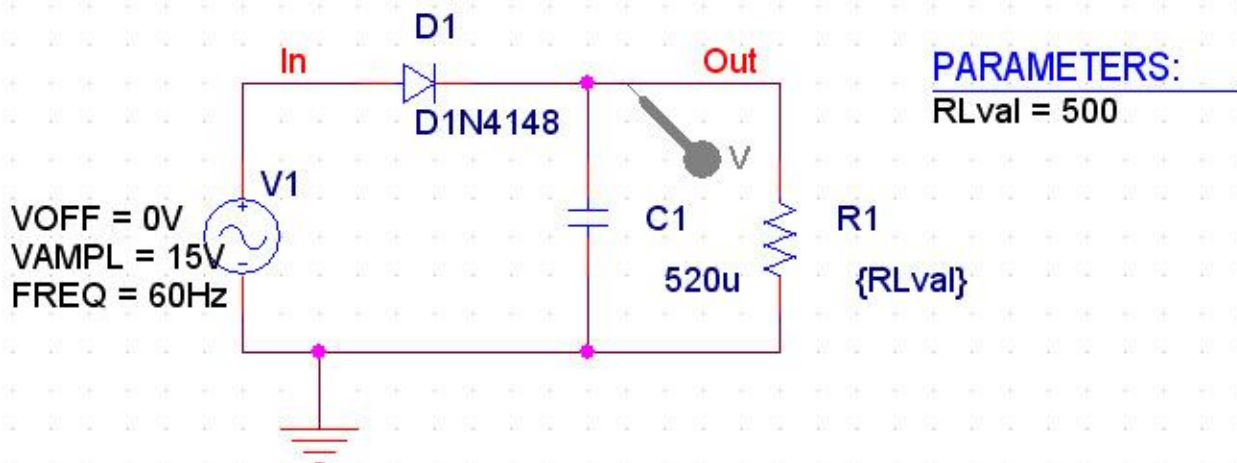
Результат моделирования:



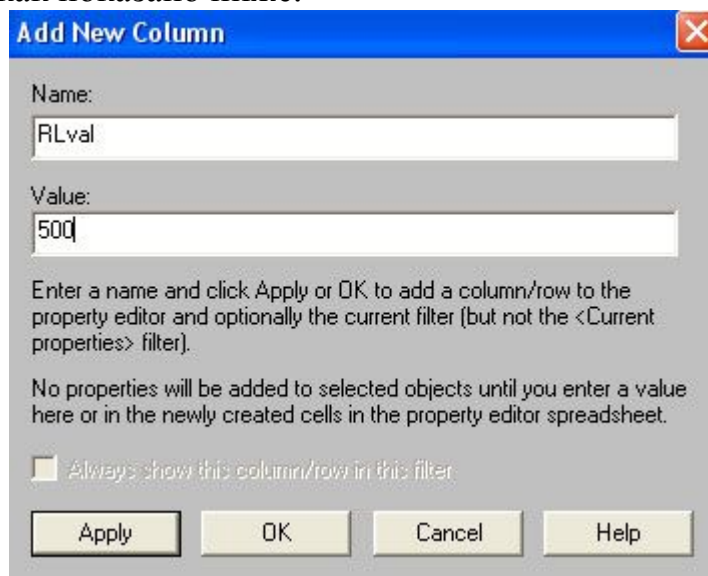
С помощью курсоров можно определить, чтобы пульсация напряжения на выходе будет 753мВ. Максимальное выходное напряжение 13,834В, что на 1В меньше, чем входное напряжение 15В.

Parametric sweep

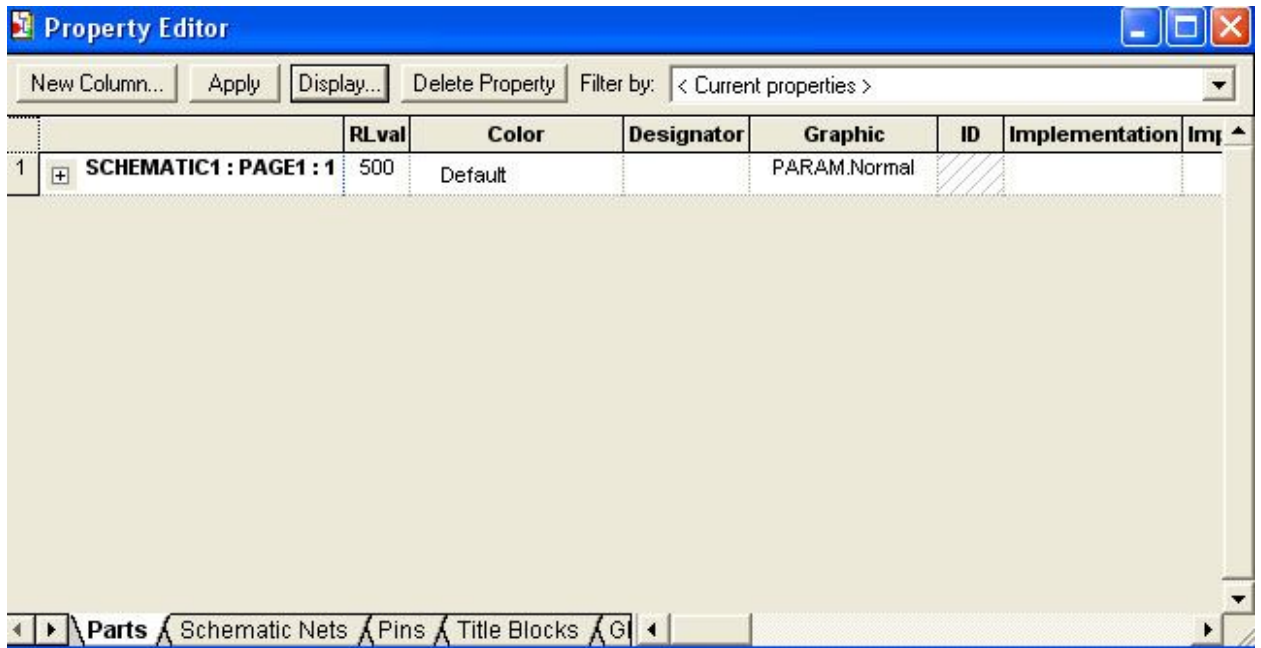
Интересно посмотреть зависимость выходного напряжения от сопротивления резистора нагрузки. Для этого будем использовать элемент PARAM из библиотеки Special.



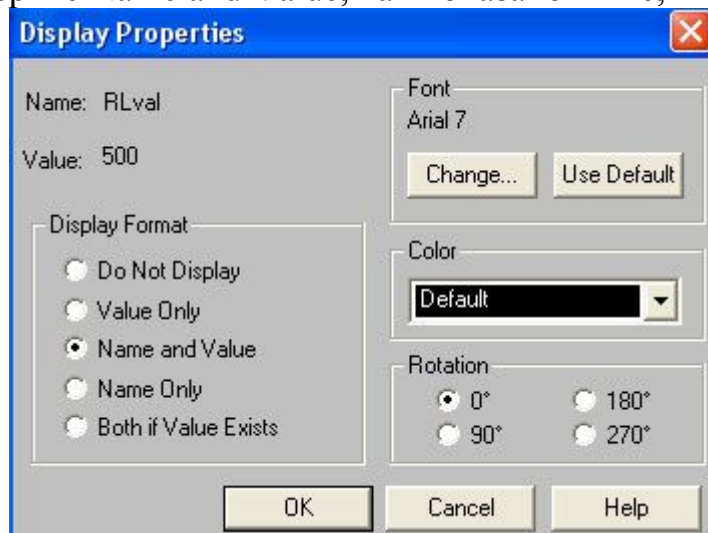
1. Щелкните два раза левой кнопкой мыши на значении резистора R1 и измените его на {RLval} (обязательно в фигурных скобках). PSPICE интерпретирует выражение, стоящее в фигурных скобках, как числовое выражение. Нажмите OK.
2. Добавьте к схеме элемент PARAM из библиотеки Special.
3. Щелкните два раза левой кнопкой мыши на этом элементе. Откроется таблица свойств. Добавьте новую колонку, нажав на кнопку New Column, и в поле Name введите RLval (без фигурных скобок), а в поле Value введите 500, как показано ниже.



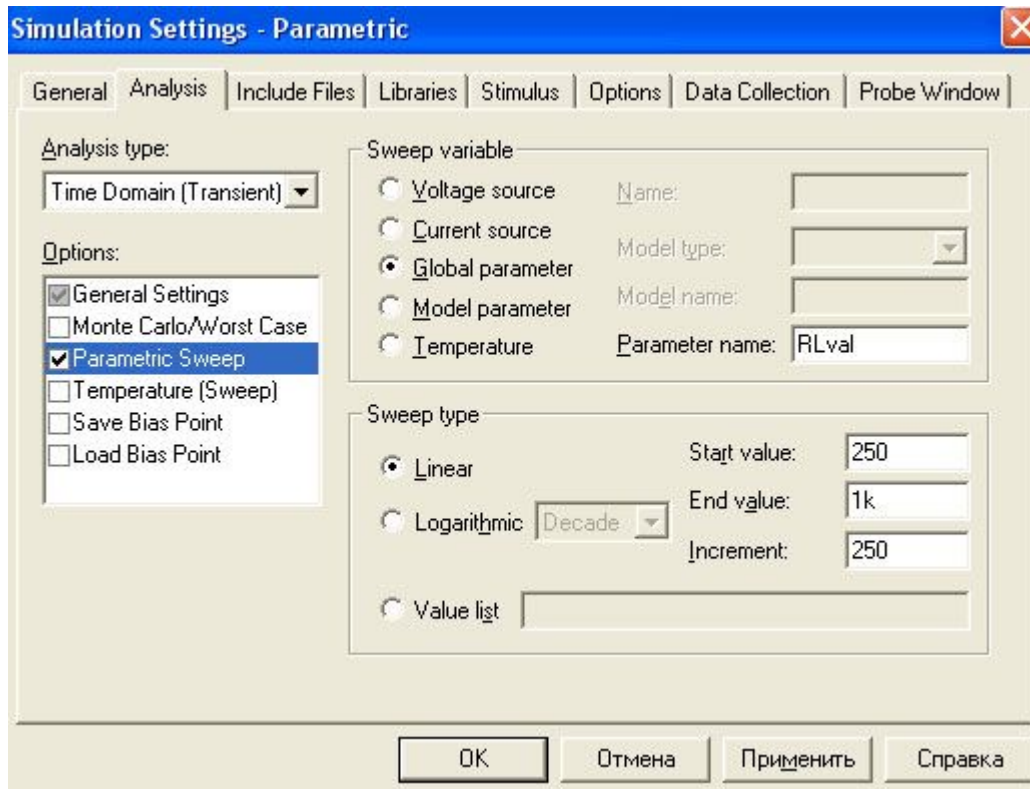
4. Вы увидите, что новая колонка RLval появилась и в ней записано значение 500.



5. Выделите колонку RLval и нажмите кнопку Display. Появится окно, в котором выберите Name and Value, как показано ниже, и нажмите OK.

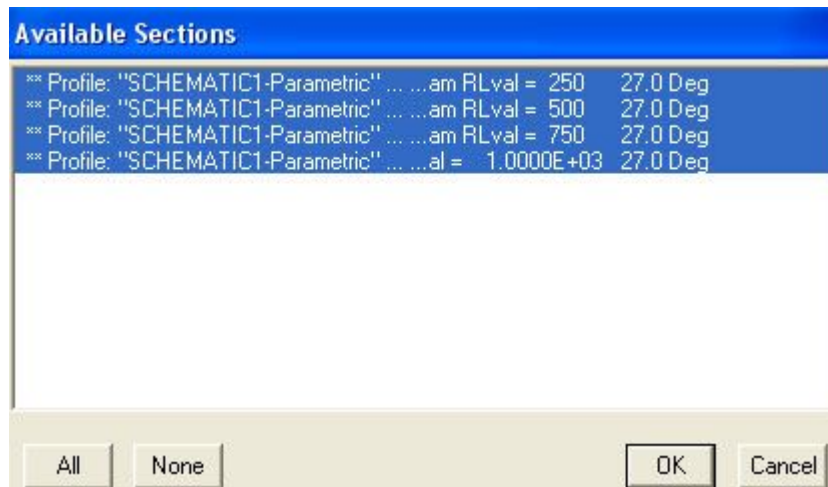


6. Нажмите Apply перед закрытием Property Editor.
 7. Сохраните изменения.
 8. Далее PSPICE\New Simulation Profile. Назовите файл, например Parametic.
 9. В качестве типа анализа выберите Transient.
 10. Отметьте галочкой опцию Parametric Sweep.
 11. В поле Sweep Variable выберите Global Parameter и введите имя параметра RLval. Установите начальное и конечное значения и инкремент, как показано ниже.

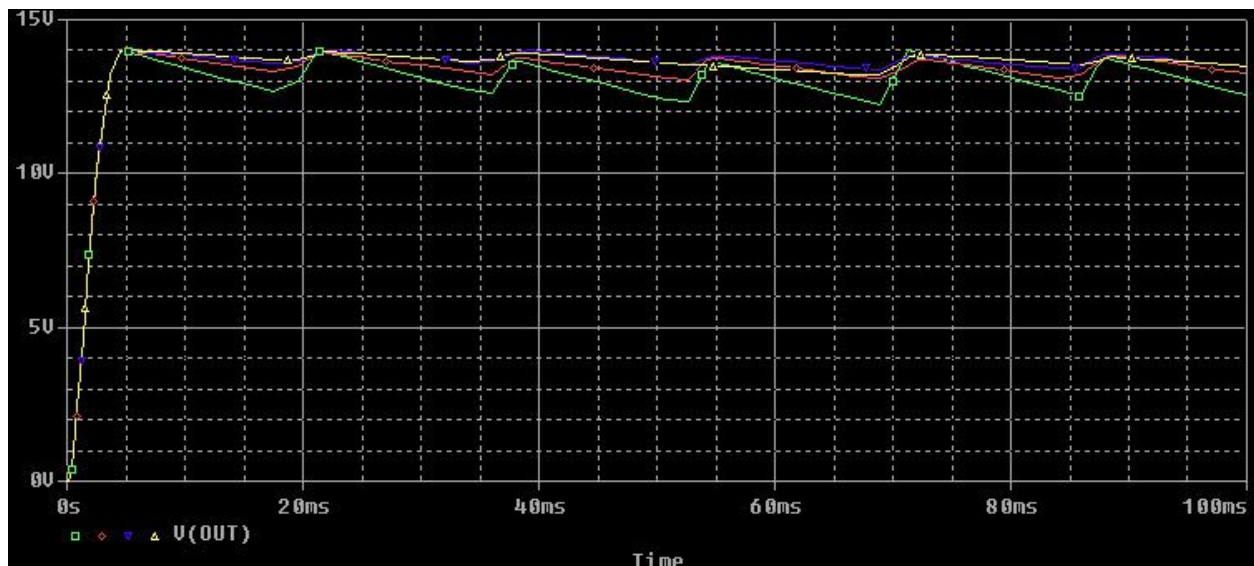


12. Запустите моделирование PSPICE\Run.

13. Когда моделирование закончится, появится окно Available Sections. Выберите All и нажмите OK.



Результат моделирования:



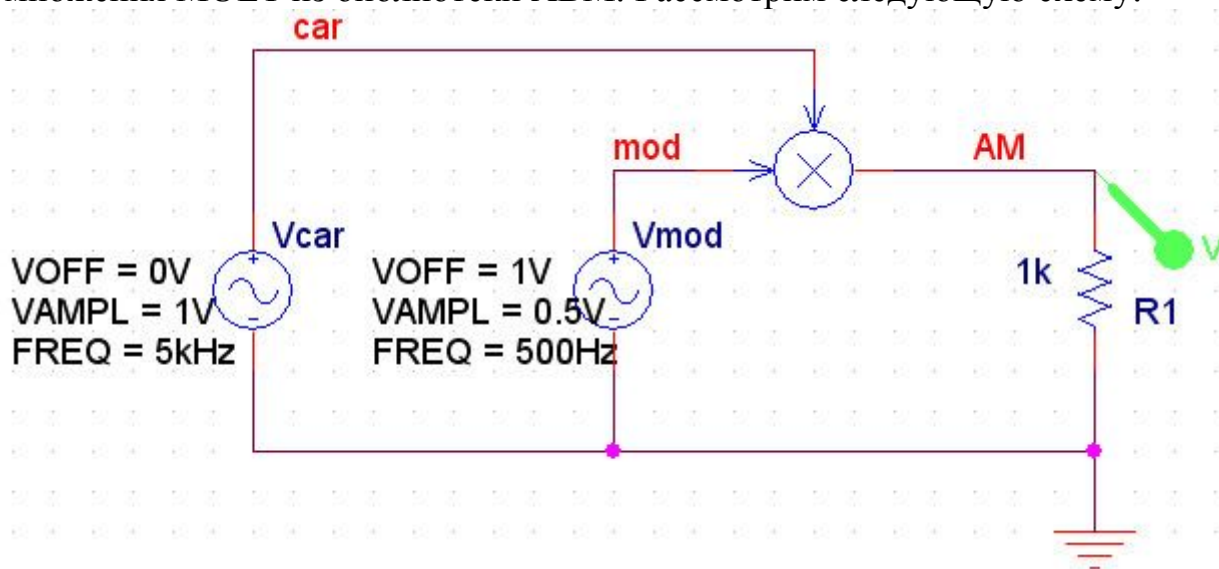
Модулированный сигнал (AM modulation)

Амплитуда модулированного сигнала определяется следующим выражением

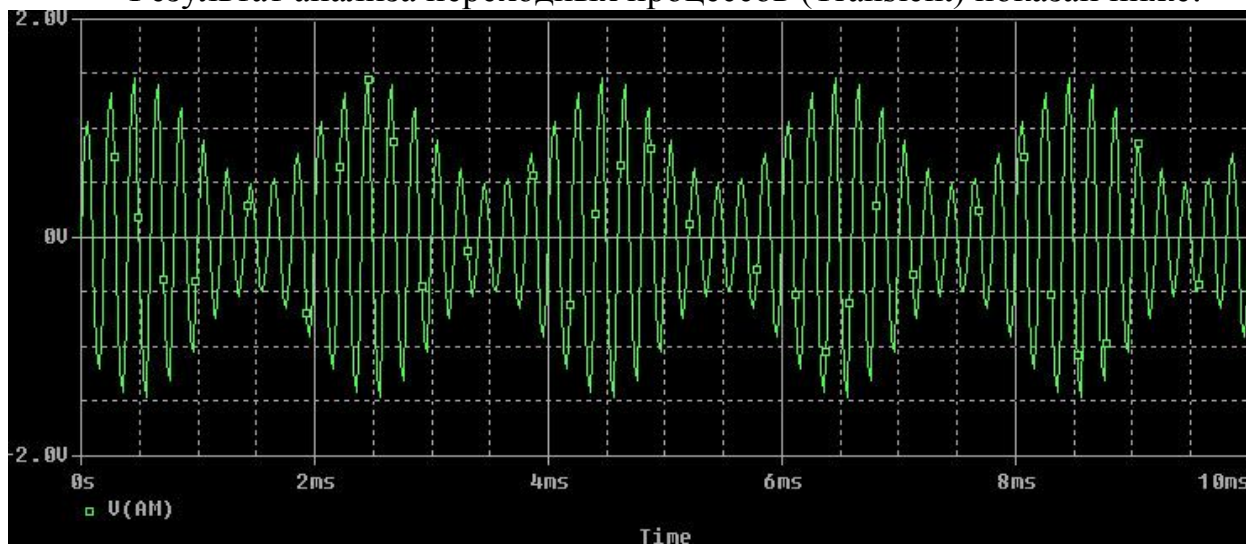
$$v_{am}(t) = [A + V_m \cos(2\pi f_m t)] \cos(2\pi f_c t) = A[1 + m \cos(2\pi f_m t)] \cos(2\pi f_c t),$$


в котором синусоидальный высокочастотный сигнал несущей модулируется синусоидальным сигналом частоты f_m . Частотой модуляции может быть любой сигнал. m – индекс модуляции.

Для модуляции сигнала в PSPICE может использоваться функция умножения MULT из библиотеки ABM. Рассмотрим следующую схему:

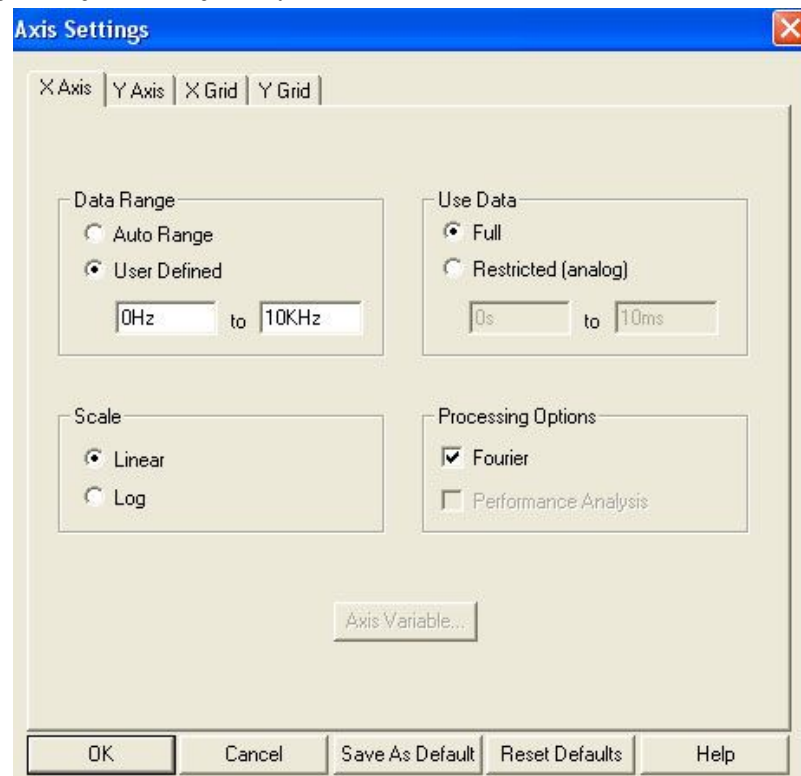


Результат анализа переходных процессов (Transient) показан ниже:

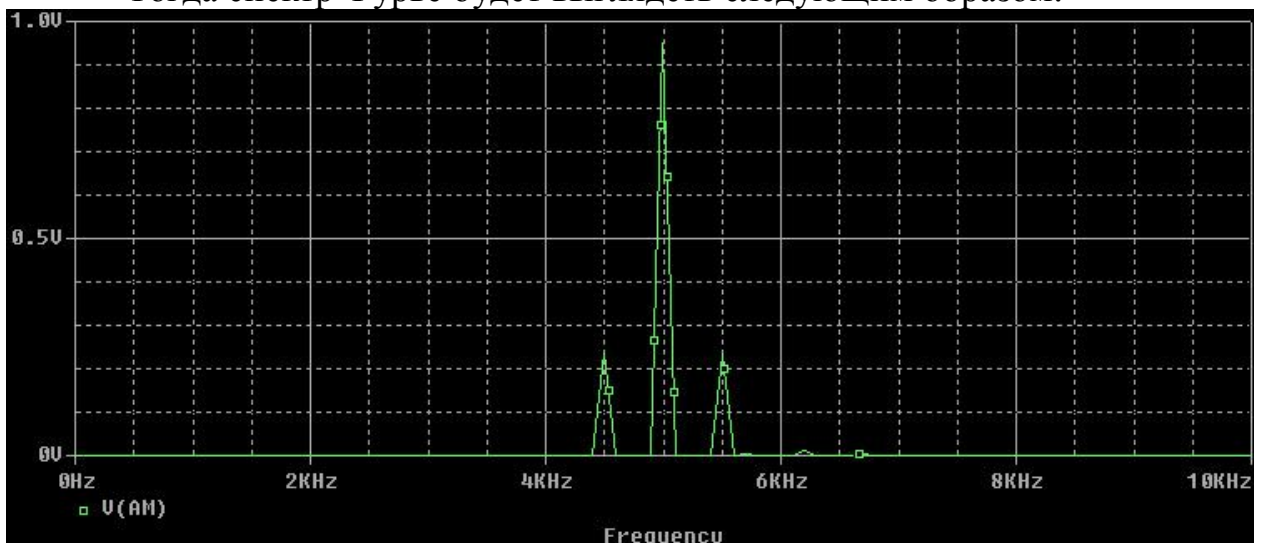


Можно также посмотреть анализ Фурье смоделированного выходного сигнала. Для этого нажмите иконку  на главной панели инструментов. Спектр Фурье будет отображен. Вы можете изменить значения на оси X: для этого щелкните на прямо на ней левой кнопкой мыши два раза. Появится

окно Axis Settings, в котором вместо Auto Range установите User Defined и введите значения 0Hz и 10kHz.



Тогда спектр Фурье будет выглядеть следующим образом:



Как видно из рисунка, частотный спектр имеет главный максимум, которому соответствует частота 5kHz и два побочных максимума (4,5 и 5,5 kHz).

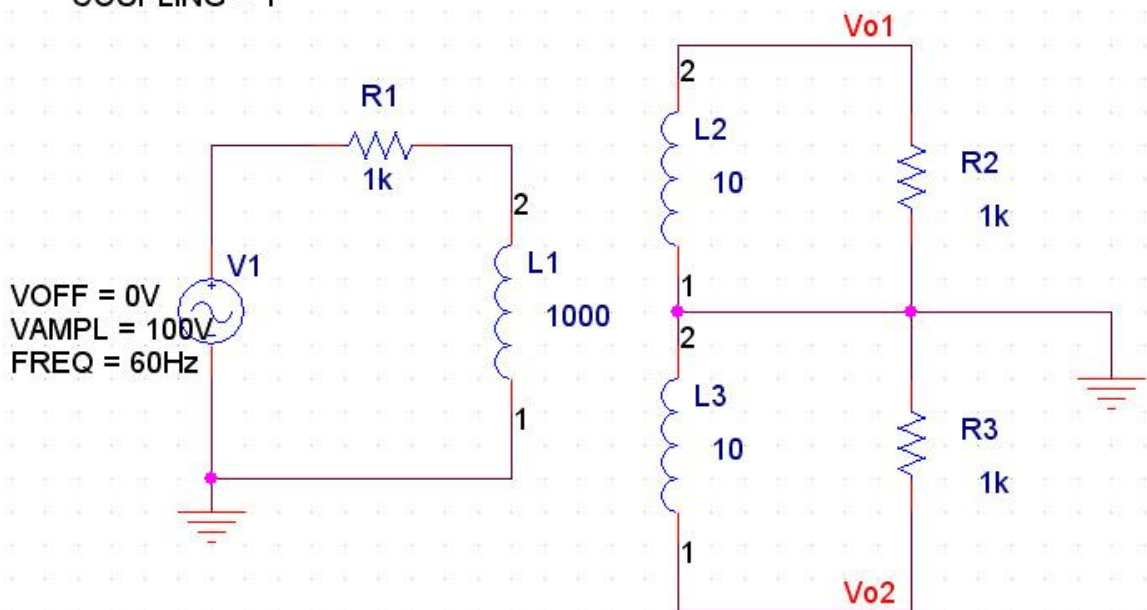
Трансформатор с выводом от средней точки

В PSPICE нет непосредственной модели трансформатора с выводом от средней точки. Однако можно использовать две взаимно соединенные катушки индуктивности, чтобы смоделировать его (см. схему ниже). В

качестве первичной обмотки мы используем катушку L1, в качестве вторичной – катушки L2 и L3.

K K1
K_Linear

COUPLING = 1



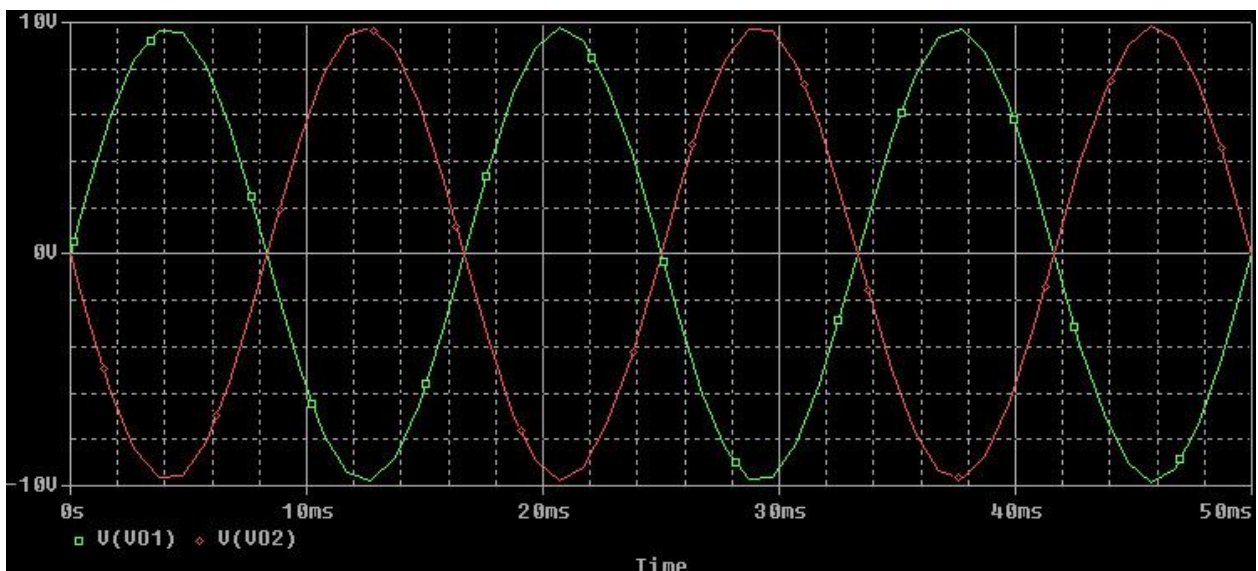
Соберите схему и установите соответствующие значения элементов. Входное напряжение – синусоида с амплитудой 100V и частотой 60Hz. Обратите внимание, что мы включили в цепь резистор последовательно с источником напряжения и индуктивным элементом. Это необходимо сделать, иначе PSPICE выдаст ошибку: «Voltage source and inductor loop involving. You may break the loop by adding a series resistance».

Допустим, мы хотим смоделировать понижающий трансформатор с отношением 10:1 к каждому выводу вторичной обмотки. Тогда

$$\frac{L2}{L1} = \frac{L3}{L1} = \frac{1}{10^2}.$$

Таким образом, установим значения $L1=1000H$, $L2=L3=10H$. Добавьте к схеме элемент K_Linear из библиотеки Analog. Щелкнув на нем два раза левой кнопкой мыши, откроется окно Property Editor, в котором в колонках L1, L2, L3 установите значения L1, L2, L3. Нажмите Apply.

Результаты анализа переходных процессов (Transient):



Заметьте, что максимальное выходное напряжение 10V, что вполне ожидаемо: на трансформатор с коэффициентом 10:1 подавалось напряжение 100V. Также следует обратить внимание, что напряжения V(V01) и V(V02) находятся в противофазе. Вместе с графиком входного напряжения рисунок выглядит следующим образом:

