

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна
Должность: проректор по учебной работе
Дата подписания: 27.01.2022 22:54:50
Уникальный программный ключ:
0b817ca911e6668abb13a5d426d31e51fc11eabb175e9745d14a48911da36d089

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Юго-Западный государственный университет»
(ЮЗГУ)

Кафедра космического приборостроения и систем связи

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе
_____ О.Г. Локтионова
« 15 » _____ 2017 г.



PSPICE-моделирование электронных узлов

Методические указания по выполнению лабораторной работы
для студентов, обучающихся по направлению подготовки 11.03.03

Курск 2017

УДК 681.5

Составитель А.А. Гримов

Рецензент

Доктор технических наук, профессор А.Ф. Рыбочкин

PSPICE-моделирование электронных узлов: методические указания по выполнению лабораторной работы по дисциплине «Информационные технологии конструирования электронных средств» / Юго-Зап. гос. ун-т.; сост.: А. А. Гримов. Курск, 2017. 42 с.: ил. 31.

Содержатся теоретические сведения, касающиеся методов анализа электронных схем с помощью PSPICE-моделирования в среде ORCAD.

Указывается порядок выполнения лабораторной работы.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать . Формат 60×84 1/16.

Усл. печ. л. ____ . Уч.-изд. л. ____ . Тираж 100 экз. Заказ . Бесплатно.

Юго-Западный государственный университет.

305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью работы является изучение основных характеристик программы PSPICE пакета OrCAD, а также моделирование работы электронных узлов принципиальной схемы с помощью PSPICE.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

В теоретической части рассматриваются основные характеристики PSPICE, а также описываются методы моделирования работы электронных узлов принципиальной схемы с помощью PSPICE.

Язык и система SPICE (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis) были созданы более двадцати лет назад в Department of Electrical Engineering and Computer Sciences, University of California, Berkeley. Язык предназначен для описания электрических цепей разной сложности. Он используется для расчета схем во временной и частотной областях, а также в статическом режиме. Эти типы расчетов используются в инженерной практике наиболее часто. При проведении моделирования все элементы схемы заменяются их математическими моделями. Таким образом, SPICE-модели являются полными.

Процесс моделирования

Основной программой пакетов программ (САПР), предназначенных для проведения PSpice-моделирования (расчетов) поведения электронных схем является моделирующая программа PSpice.

Моделирующая программа осуществляет расчет параметров цепей или электронных схем, формально описанных на входном языке, понятном программе.

Моделирующая программа PSpice позволяет моделировать электронную аппаратуру, состоящую из следующих основных элементов (в скобках даны буквенные обозначения этих элементов во входном языке PSPICE):

- Резисторы (R),
- Конденсаторы (C),
- Индуктивности (L),
- Независимые источники напряжения (V) и тока (I),
- Диоды (D),

- Биполярные транзисторы (Q),
- МОП-транзисторы MOSFET (M),
- Полевые транзисторы с управляющим p-n переходом JFET (J),
- Арсенид-галлиевые полевые транзисторы GaAsFET с каналом n-типа (B),
- Взаимосвязанные индуктивности, линии передачи, сердечники и трансформаторы (K),
- Линии передачи или задержки (T),
- Ключи, управляемые напряжением (S) и током (W),
- IGBT транзисторы (Z).

Помимо независимых источников напряжения и тока в задании на моделирование могут использоваться и зависимые:

- Источник тока, управляемый напряжением ИТУН (G),
- Источник тока, управляемый током ИТУТ (F),
- Источник напряжения, управляемый напряжением ИНУН (E),
- Источник напряжения, управляемый током ИНУТ (H).

При описании моделируемого устройства можно использовать подсхемы (SUBCKT), обеспечивающие описание фрагментов схемы в виде элементов или новых/отдельных компонентов или, например, макромодели. Помимо моделирования аналоговых схем, PSpice-моделирование позволяет также в некоторых пределах осуществлять логическое моделирование цифровых схем и смешанное электро-логическое моделирование аналого-цифровых схем, включая цифровые элементы (U) и их входные (N) и выходные (O) интерфейсы, фактически представляющие собой аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи на входе и выходе цифровых устройств.

Готовые компоненты чаще всего используются в виде макромоделей различных устройств, т.е. моделей, упрощенным образом описывающих поведение целого устройства или его фрагмента. Параметры моделей элементов и подсхемы могут содержаться в библиотечных файлах.

Моделирование производится на электрическом уровне: рассчитываются токи и напряжения. В результатах вычислений могут быть представлены различные таблицы, характеристики и графики, описывающие поведение электронных схем.

PSpice-расчеты, проводимые моделирующей программой, позволяют проводить следующие основные виды анализа

- Расчет рабочей точки с подробной распечаткой режимов элементов (.OP);
- Расчет режима по постоянному току (.DC);
- Частотный анализ (.AC);
- Анализ шумов (.NOISE);
- Анализ малосигнальной чувствительности по постоянному току (.SENS);
- Расчет передаточных малосигнальных функций (.TF);
- Расчет переходных процессов (.TRAN);
- Фурье преобразование результатов расчета переходных процессов (.FOUR);
- Статистический анализ с учетом разброса параметров элементов для расчета схемы на наихудший случай (.WCASE);
- Статистический анализ с учетом разброса параметров элементов методом Монте-Карло (.MC);
- Расчет зависимостей характеристик схемы от вариации параметров моделей элементов (.STEP).и от температуры (.TEMP).

Основные требования к подготовке проекта для PSpice-моделирования с использованием редактора CAPTURE в САПР OrCAD

Исходной информацией моделирования поведения электронной схемы путем PSpice-расчетов является эскиз принципиальной схемы моделируемого устройства. Эту схему обычно необходимо переработать и дополнить, указав на ней нагрузки, источники питания, источники сигналов, их внутренние сопротивления, если необходимо - различные паразитные элементы (емкости, сопротивления, индуктивности). Необходимо ввести позиционные обозначения и номиналы компонентов. Весьма желательным является именование цепей в виде, отвечающем особенностям схемы и удобном для пользователя.

При подготовке схемы проекта необходимо следить за соблюдением некоторых формальных требований к такой схеме, необходимых для того, чтобы:

- Был осуществлен и осуществлен правильно, переход от графического изображения схемы к формированию текстового задания на моделирование,

- Было создано задание на моделирование, соответствующее разработанной принципиальной схеме и максимально соответствующее изначальной идее схемы устройства,
- Расчет схемы мог бы быть осуществлен и при расчете решения дифференциальных уравнений сошлись бы,
- Полученные результаты соответствовали с приемлемой точностью поведению формализованного варианта разрабатываемой схемы, предназначенной для расчетов,
- Разработанная схема и ее расчетные параметры в максимальной степени отвечали бы поведению реального устройства с учетом действия всей (или основной) совокупности факторов.

Формальные требования к разработке принципиальной схемы могут относиться к обязательным, без которых расчеты просто не могут осуществиться или быть достоверными, и рекомендуемым, на которых стоит обратить внимание, чтобы избежать некоторых проблем.

Общая структура принципиальной схемы

С точки зрения общей структуры принципиальной схемы, схема, предназначенная для моделирования, должна иметь или может подразделяться на следующие составные части:

- Источник сигналов,
- Нагрузка,
- Компонент или компоненты.

Условная структура принципиальной схемы представлена на рисунке 1.

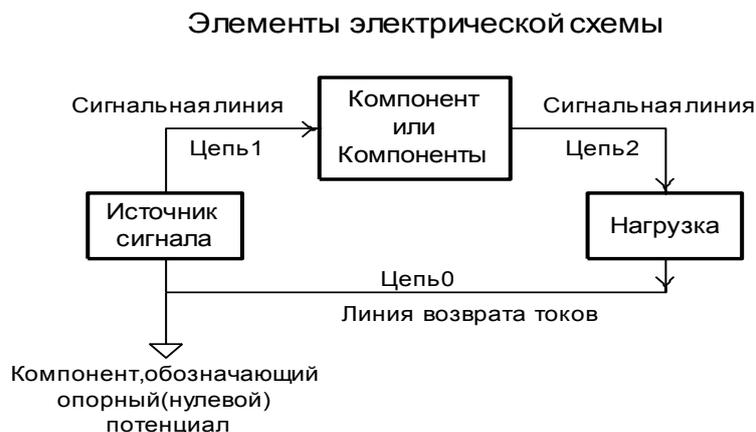


Рисунок 1 - Условная структура принципиальной схемы.

В схеме обязательно должны присутствовать источники сигналов. Желательно явно указывать нагрузку в виде нагрузочных резисторов. В том случае если реальный резистор не может использоваться может применяться фиктивный резистор. Источники сигналов и нагрузка также относятся к понятию компоненты. В общем случае в схеме может не быть иных компонентов, кроме источников сигналов и нагрузки (нагрузочного сопротивления).

Сигналы распространяются и считываются относительно «земли» (основное включение) или вычисляется значение друг относительно друга (дифференциальное представление). Для обозначения опорного нулевого потенциала может использоваться специальный компонент или компоненты `ground part named 0` (`zero`). Заменить этот компонент может прямое именование в тексте задания на моделирование выбранной цепи как нулевой.

Питание активных компонентов может быть организовано с использованием источников сигналов (DC-источники напряжения или тока). Источники сигналов считаются идеальными, могут отдавать любые токи в нагрузку.

Линии связи или сигнальные линии также считаются идеальными, обеспечивают передачу сигналов без искажения и задержки, имеют нулевое сопротивление, для них отсутствуют понятия емкости и индуктивности.

Выбор и подготовка компонентов

Для использования компонентов при создании принципиальной схемы необходимо вызвать компонент из библиотеки или скопировать его из существующей схемы (части схемы). Для правильного использования компонентов необходимо указать (ввести) его позиционное обозначение и, при необходимости, настроить его параметры (атрибуты).

Настройка параметров может носить характер редактирования номиналов для R , L , C и некоторых других компонентов. Для таких компонентов как источники сигналов настройка параметров заключается в настройке формируемых сигналов. Существуют настройки на параметры реальных кабелей или проводников для таких компонентов как линии передач.

Существуют компоненты, для которых обычно нет необходимости настраивать их параметры. К числу таких компонентов можно отнести диоды, транзисторы, операционные усилители, цифровые элементы и некоторые другие компоненты. Для отдельных компонентов существуют разновидности их моделей, учитывающие поведение этих компонентов в различных температурных диапазонах, под воздействием ионизирующих излучений. Некоторые библиотеки цифровых компонентов учитывают разные (минимальные, максимальные и типичные) задержки распространения сигналов.

Общие правила введения и редактирования номиналов компонентов.

Для ряда компонентов, например R, C, L и некоторых других, при создании принципиальной схемы необходимо указывать величины их номиналов (Value). Основные правила введения и редактирования номиналов вытекают из особенностей синтаксиса входного языка PSpice-расчетов. Для практической отработки правил введения и редактирования номиналов компонентов можно воспользоваться схемой RC проекта. Внешний вид схемы представлен на рисунке 2.

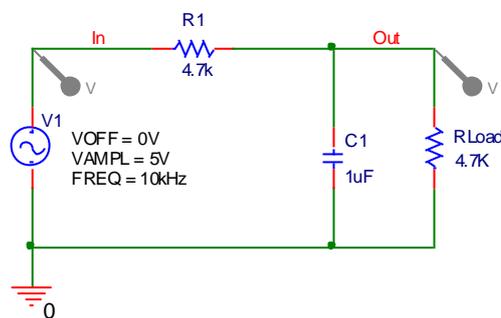


Рисунок 2 - Схема RC проекта DSN_Rules (первоначальный вид).

Схема представляет собой RC цепочку (пассивный фильтр, интегрирующую цепочку) на основе резистора R1 и емкости C1 с подключенным нагрузочным резистором RLoad. На входе схемы установлен источник. Обратите внимание на то, что номиналы резисторов R1 и RLoad отличаются строчной и прописной буквами

суффиксов, обозначающих масштабные коэффициенты размерности номиналов. В данном случае с точки зрения PSpice-расчетов не имеет значение строчные это буквы или прописные, Правильным стандартизованным написанием является строчная буква «k», однако в реальных схемах лучше может смотреться и читаться большая прописная буква «K». Окончательный выбор стиля написания остается за пользователем или разработчиком схемы.

Ограничения при соединении контактов компонентов

При подготовке принципиальной схемы необходимо учитывать некоторые ограничения проведения PSpice-расчетов.

ВНИМАНИЕ!

Основным или первым ограничением PSpice-расчетов, связанным с прокладкой проводников является то, что программа расчетов не допускает использование «висящих» узлов, то есть узлов, к которым подключено менее двух контактов (полюсов) компонентов.

ВНИМАНИЕ!

Вторым ограничением PSpice-расчетов, связанным с прокладкой проводников и использованием контактов (полюсов) компонентов является то, что программа расчетов не допускает использование «плавающих» узлов или фрагментов схемы.

Под «плавающими» (Floating) понимаются узлы или фрагменты схемы, от которых нет пути с конечным сопротивлением по постоянному току к земле. Под землей в данном случае понимается цепь с подключенным специальным компонентом `ground part named 0 (zero)` или сам этот компонент с нулевым потенциалом, заданным глобально. Соответствующие компоненты представлены в библиотеке `SOURCE.OLB`.

ВНИМАНИЕ!

Третьим ограничением PSpice-расчетов, связанным с прокладкой проводников и использованием контактов (полюсов) компонентов является то, что программа расчетов не допускает использование контуров с нулевым сопротивлением по постоянному току.

Подобные контура образуются за счет использования независимых и зависимых источников напряжения и индуктивностей, образующих последовательно включенный контур. Для того, чтобы обойти это ограничение необходимо разорвать контур, включив в цепи контура дополнительный резистор (возможно и фиктивный), настолько малого номинала, чтобы он не влиял на работу цепи. Наиболее правильным является использование резисторов с величиной сопротивления, соответствующей реальным значениям сопротивления катушек индуктивностей и выходным сопротивлениям источников напряжения.

Основные виды анализ при PSpice-моделировании

Основными видами анализов, проводимых при осуществлении PSpice-расчетов являются следующие:

- Time Domain (Transient) - Расчет переходных процессов,
- DC Sweep - Расчет режима по постоянному току,
- AC Sweep - Частотный анализ,
- Bias Point - Расчет режима по постоянному току в рабочей точке.

Все остальные виды расчетов проводятся только с использованием этих основных видов анализа, на их основе и как разновидность или дополнение к этим основным.

Первые три вида анализа могут использовать постпроцессор Probe для отображения графических результатов проведения расчетов. При расчете режима по постоянному току в рабочей точке (Bias Point) графических результатов не выводится, постпроцессор не используется.

Особенностью проведения расчета режима по постоянному току в рабочей точке (Bias Point) является обязательность его проведения в любом случае. Расчет рабочей точки малосигнального анализа SMALL SIGNAL BIAS SOLUTION по умолчанию производится всегда, так как, не рассчитав режим невозможно (по крайней мере, для нелинейных схем) проводить никакой вид анализа. Даже если в задании на расчет схемы вообще не указано никаких видов анализа, расчет рабочей точки все равно осуществляется.

То есть, для проведения расчета режима по постоянному току в рабочей точке (Bias Point), может не требоваться выбора режимов и не проводится никаких дополнительных настроек. Для выполнения частотного анализа, расчетов переходных процессов и режима по постоянному току (DC Sweep) настройка профиля моделирования является необходимой.

Директивы моделирования, их использование и настройки профилей

Профиль моделирования доступен для редактирования настроек по команде:

PSpice>Edit Simulation Profile

После выполнения этой команды появляется окно:

Simulation Settings – Profile 1 (Имя профиля)

Вызовите проект с простой схемой, например RC. Откройте окно редактирования профиля Profile1.

Рассмотрим меню окна редактирования профиля. Кроме общих настроек опции General есть несколько других пунктов меню, имеющих важное значение при подготовке и проведению расчетов, а также представлению результатов расчетов. Остановимся на опции Analysis. Обратите внимание на состав основных видов анализа, доступных для использования. Для этого вызовите и пролистайте содержимое окна Analysis Type. В открывшемся окне представлены основные виды анализа:

- Time Domain (Transient),
- DC Sweep,
- AC Sweep,
- Bias Point.

Как уже известно, расчеты, связанные с анализом Bias Point осуществляются всегда, какой бы ни был выбран вид дополнительного анализа для проведения расчетов. То есть с Bias Point может проводиться еще один вид анализа Transient, DC Sweep или AC Sweep. При проведении расчетов с использованием CAPTURE не получается проводить несколько видов анализа в рамках одного запуска программы расчетов.

В меню окна редактирования профиля далее расположены опции меню:

- Include Files (представлены настройки использования внешних включаемых в текст задания файлов),

- Libraries (представлены настройки имен файлов библиотек компонентов, используемых в расчетах и настройки путей поиска этих файлов),

- Stimulus (представлены настройки файлов обеспечивающих подключение начальных воздействий или формируемых сигналов источников).

Следующие пункты меню Data Collection и Probe Window определяют условия сбора данных и вывода данных расчетов в постпроцессоре Probe. При желании можно отключить вывод ненужных типов данных, да и сам Probe, например.

3. ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ

Изучить методические указания к данной работе.

Установить пакет OrCAD в собственном персональном компьютере или освоить работу с пакетом в лаборатории кафедры.

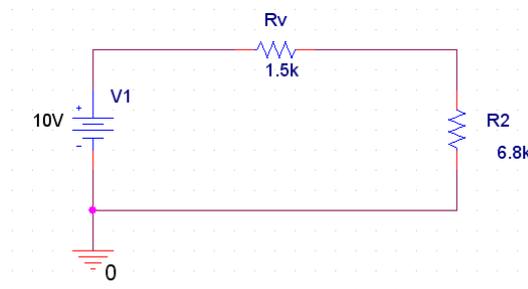
4. РАБОЧЕЕ ЗАДАНИЕ

Токи и напряжения в цепях постоянного тока.

Все напряжения, которые вычисляет PSPICE, являются напряжениями между отдельными точками электросхемы и одной опорной точкой, местоположение которой определяете Вы сами, размещая схемное обозначение «Земля». В электронике такие обозначения называют *потенциалами*. Напряжение на отдельном конструктивном элементе электросхемы равно разности потенциалов на двух выводах этого элемента.

Определение потенциалов последовательной схемы, состоящей из двух резисторов.

1. Создать проект (Analog or Mixed A/D), подключить библиотеки (ANALOG.OLB, SOURCE.OLB) и ввести схему:



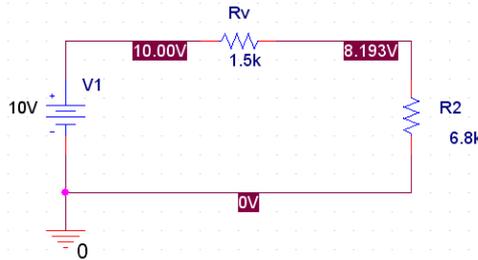
2. Создать профиль моделирования:

PSPICE->New Simulation Profile

3. Запустить моделирование

PSPICE-> Run

4. Вы должны увидеть следующие результаты:



Таким образом, в результате моделирования установлено, что напряжение (потенциал) в месте соединения двух резисторов по отношению к «земле» равно 8.193 В

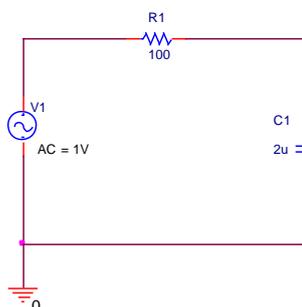
5. Рассчитайте значение силы тока в схеме

6. Создайте новый проект R_MIX1. Начертите в редакторе смешанную резисторную схему, состоящую из параллельного включения резисторов $R1=3$ кОм и $R2=6$ кОм, которое последовательно соединено с резистором $R3=4$ кОм и источником напряжения 6 В. Определите все токи и все напряжения этой схемы.

Анализ цепи переменного тока.

Анализ AC Sweep в одной точке – это анализ схемы переменного тока в заданном частотном диапазоне.

1. Создайте новый проект 2_U. Начертите в редакторе следующую схему:

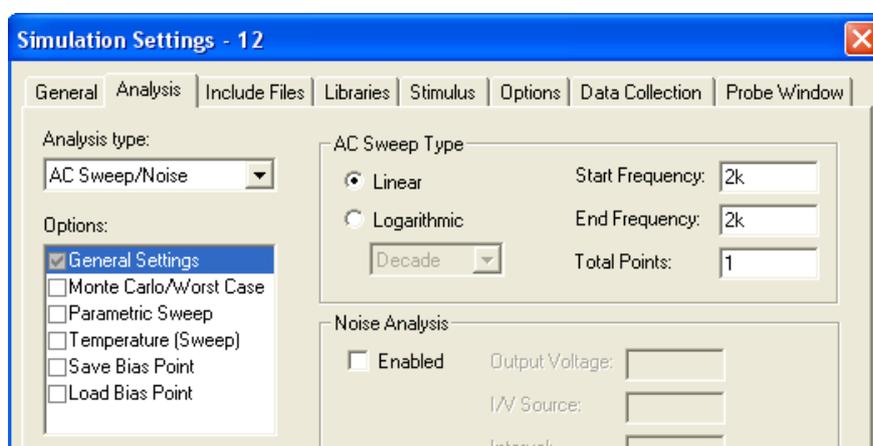


В качестве источника напряжения выберите VSIN из библиотеки SOURCE.OLB. Этот источник подходит как для АС-анализа, так и для анализа переходных процессов. Значение напряжения, которое вы вводите для АС, нужно только при проведении анализа переменного напряжения. Значения напряжений, указываемые для VAMPL и VOFF (амплитуда и среднее значение), напротив, действительны только при анализе переходных процессов и игнорируются во время анализа переменного напряжения. То же самое относится и к частоте FREQ и ко времени задержки распространения сигнала TD, и к коэффициенту затухания DF. Тем не менее, вы в любом случае должны указывать какие-либо значения VAMPL, VOFF, FREQ TD, DF (например, 0), даже если не собираетесь проводить анализ переходных процессов. В противном случае на экране появится сообщение об ошибке.

2. Выполните предварительную установку предстоящего анализа в соответствии с образцом.

Очевидно, что в этом окне можно задать параметры для анализа схемы в диапазоне частот.

Пока же для решения поставленной задачи нужно исследовать схему для одной частоты – 2 кГц. Эта частота задана в качестве начальной и конечной.



3. Запустите моделирование. Так как по результатам такого анализа не может быть построен какой-либо график, результаты его выполнения должны быть занесены в выходной файл.

4. Просмотрите содержание выходного файла

PSPICE->View Output File

Очевидно, что файл содержит задание на моделирование, результаты анализа схемы в режиме малого сигнала, но результатов анализа AC Sweep в выходном файле нет.

5. Для того, чтобы программа включила в выходной файл те результаты анализа, которые вам необходимы, перед моделированием схемы нужно сделать особый запрос. Запрос осуществляется путем установки специального символа на чертеже схемы в том месте, данные о котором вы собираете, и информация о котором должна быть записана в выходной файл. Предусмотрены такие символы для потенциалов (VPRINT1), для разности потенциалов, то есть для напряжения между двумя точками (VPRINT2), и для токов (IPRINT). Все они находятся в библиотеке SPECIAL.OLB. Установите символ VPRINT1 на схеме между резистором и конденсатором. Тем самым вы даете указание записать в выходной файл данные анализа обозначенного вами места.

6. Для того чтобы указать, какие сведения вас интересуют, необходимо отредактировать атрибуты элемента VPRINT1. В данном случае, введите значение «yes» для атрибутов AC, MAG (амплитуда) и PHASE (фаза).

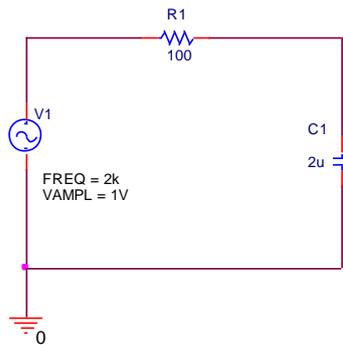
7. Запустите моделирование еще раз. Откройте файл результатов моделирования и найдите в нем значение амплитуды (VM) и угол фазы (VP).

8. Добавьте к своему чертежу символ VPRINT2 для измерения напряжения на резисторе и IPRINT, выполните их настройку (редактирование атрибутов), запустите моделирование и найдите в выходном файле интересующие вас данные.

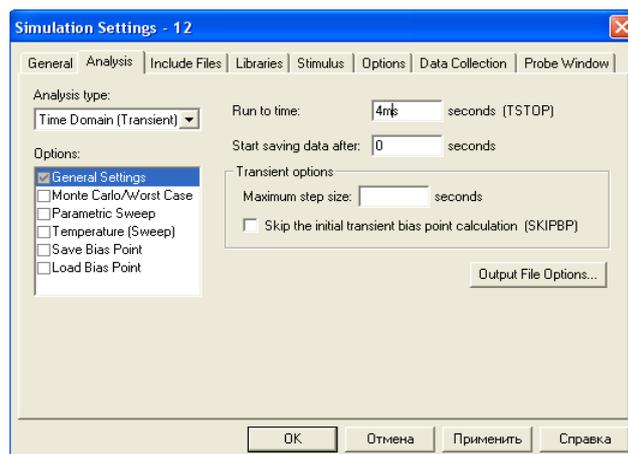
Анализ переходных процессов.

Для исследования временной зависимости электрических процессов программа PSPICE использует Transient – анализ. Графическое отображение результатов анализа переходных процессов осуществляется с помощью программы-осциллографа Probe.

1. Загрузите схему, введенную в предыдущем задании. Отредактируйте атрибуты источника питания с соответствии с рисунком.



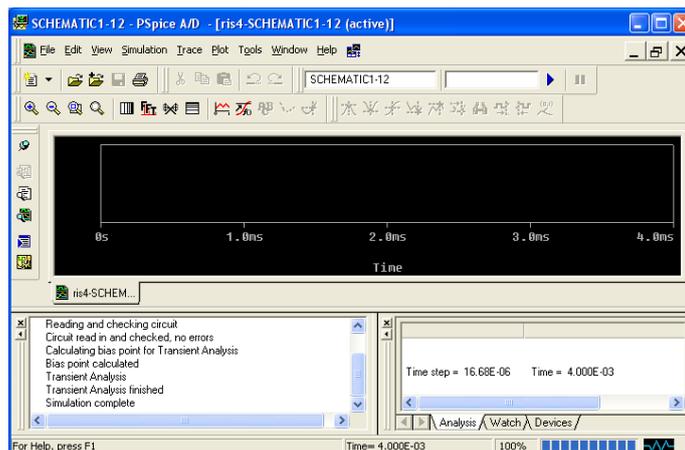
2. Отредактируйте задание на моделирование (профиль) в соответствии с рисунком:



Указанное конечное время (4 мс) означает, что PSpICE будет исследовать схему во временном интервале от 0 до 4 мс.

Maximum step size – максимальная ширина шага моделирования. По умолчанию равна 2% от времени моделирования.

3. Запустите моделирование. При завершении моделирования окно программы должно принять следующий вид:



Для графического отображения результатов моделирования, например, для представления временной диаграммы напряжения, PSPICE использует графическую программу PROBE. Эта программа обладает значительно большими возможностями, чем обычная программа-осциллограф. С помощью программы PROBE можно не только графически отображать результаты моделирования в виде диаграмм, но и математически связывать друг с другом различные результаты моделирования. Например, если нужно создать временную диаграмму мощности в конденсаторе, то PROBE вычислит точку за точкой произведение $u(t)*i(t)$ и представит результат в виде диаграммы.

4. Проведите предварительную установку графической программы PROBE. Это должно быть сделано следующим образом:

PSPICE->EDIT Simulation Profile->Probe Window

Выберите опцию – автоматически запускать PROBE после завершения моделирования.

PSPICE->EDIT Simulation Profile->DATA Collection

На этой вкладке во всех окнах выберите опцию – ALL – сохранять все данные, рассчитанные в ходе процесса моделирования.

5. Запустите моделирование. После его завершения появится окно программы PROBE, как и было задано в ходе предварительной установки программы.

6. определите, какая именно диаграмма должна быть показана в окне программы. Для этого в окне программы PROBE:

TRACES->Add traces (добавить диаграмму)

В левой части окна Add traces перечислены все токи и потенциалы узлов схемы. В правой части – список математических функций, которые программы PROBE по вашему требованию применит к полученным диаграммам. В центральной части окна можно указать, какие данные должны быть перечислены в списке диаграмм. В нашей схеме последовательного включения резистора и емкости имеется всего

два узла, и ток, проходящий через нее, одинаков на всех участках. То есть, программа PSPICE просчитала всего три значения. В списке диаграмм содержится большее количество имен потому что каждая из величин может иметь несколько имен, одни из которых даны Вами, а другие, альтернативные, - программой PSPICE. Опция Subcircuits Nodes (узлы подсхем) обозначает узловые пункты в подсхемах. Например, характеристики операционных усилителей описываются с помощью подсхем, состоящих из различных транзисторов, резисторов, диодов и т.д.

7. Выберите в левой части окна $V(U1+)$ – общее напряжение и $V(C1:2)$ - напряжение на выводе 2, т.е. на выводе 2 конденсатора C1. Добавьте к ним потенциал точки «земля» $V(0)$ для указания нулевой линии. Таким образом, Вы отправили эти в нижнюю строку Trace Expression. В окне появились изображения соответствующих диаграмм.

8. Обратите внимание на то, что в диаграмме присутствуют вершины и углы. Это произошло, потому что шаг моделирования слишком велик. Задайте величину шага моделирования равным 4 мкс и запустите процесс моделирования заново. Проверьте внешний вид полученных диаграмм.

9. Для того, чтобы отразить на временной диаграмме не только напряжение на конденсаторе, но и ток через конденсатор, необходимо добавить вторую ось координат Y . Это необходимо сделать, так как если эти две величины изобразить на диаграмме с одним общим масштабированием оси Y , диаграмма тока будет столь мелкомасштабной, что ее практически не будет видно. Для добавления второй оси Y :

PLOT->Add Y axes

10. Для того, чтобы промоделировать процесс зарядки и разрядки конденсатора, загрузите предыдущую схему, поменяйте источник на VPULSE и установите значение сопротивления равным 50 Ом. При заданных значениях величины резистора и конденсатора значение временной константы $t=0,2$ мс. Процессы зарядки и разрядки конденсатора после $5t$ практически завершаются. То есть, если установить длину импульса 1,5 мс и

время моделирования 4 мс, этого будет вполне достаточно, чтобы отобразить процесс зарядки и разрядки конденсатора в виде одной общей диаграммы. Для того, чтобы установить атрибуты нового источника напряжения, отредактируйте атрибуты генератора импульсов VPULSE следующим образом:

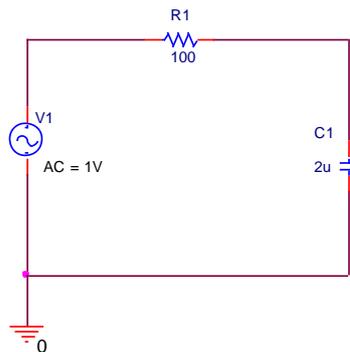
- DC = 0 (приложенное постоянное напряжение)
- AC = 0 (приложенное переменное напряжение)
- V1 = 0 (напряжение при начале импульса)
- V2 = 1V (высота импульса)
- TD = 0 (время задержки начала импульса)
- TR = 1ns (время нарастания импульса)
- TF = 1ns (время затухания импульса)
- PW = 1, 5ms (ширина импульса)
- PER=5ms (период повторения импульса)

11. Запустите моделирование и постройте диаграммы $V(0)$, $V(C1:2)$ и $I(C1)$

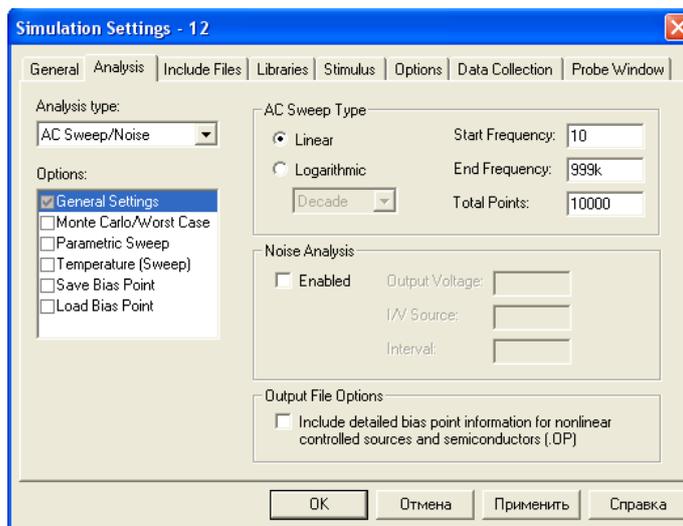
Анализ частотных характеристик AC SWEEP.

AC SWEEP производит один за другим целую серию одноточечных AC-анализов для различных частот, а затем представляет полученные результаты в виде одной общей диаграммы - частотной характеристики.

1. Загрузите схему:



2. Настройте профиль моделирования для проведения анализа в соответствии с образцом:



Анализ цепи переменного тока будет проводиться в частотном диапазоне от 10 Гц до 999 КГц для 10000 точек. Распределение контрольных точек – линейное. Поля в разделе Noise Analysis не заполнены, так как сейчас анализ шумовых характеристик проводиться не будет.

3. Проведите предварительную установку графической программы PROBE. Это должно быть сделано следующим образом:

PSPICE->EDIT Simulation Profile->Probe Window

Выберите опцию – автоматически запускать PROBE после завершения моделирования.

PSPICE->EDIT Simulation Profile->DATA Collection

На этой вкладке во всех окнах выберите опцию – ALL – сохранять все данные, рассчитанные в ходе процесса моделирования.

4. Запустите моделирование. После расчетов на экране появится окно программы PROBE. Добавьте диаграмму V (C1:2). Полученное графическое изображение (частотная характеристика RC- фильтра нижних частот) с линейным форматированием оси частоты не используется в электронике: интересующая нас полоса пропускания фильтра практически не видна.

5. Для того, чтобы получить логарифмическое форматирование оси координат X:

Plot->Axis Settings->X axis

В появившемся окне выбираем опцию Scale->log.

Отметим, что логарифм от 0 есть минус бесконечность. Если бы в качестве начальной частоты было бы задано 0 Гц, то на экран было бы выведено сообщение об ошибке. Каким образом можно удалить частоту 0 из изображенного частотного диапазона, не проводя заново моделирование? Проведите логарифмическое масштабирование оси Y.

6. Для исследования влияния сопротивления R на частотную характеристику RC-фильтра нижних частот проведем моделирование при значении сопротивления $R = 80 \text{ Ом}$, затем при $R = 1000 \text{ Ом}$, а затем графически представим полученные данные в программе PROBE. Для этого создадим проекты RC_80 и RC_1000, запустите процесс моделирования с установками, описанными ранее и постройте диаграммы частотной характеристики напряжения на конденсаторе $V(C1:2)$ с линейным масштабированием координатной оси X и логарифмическим – координатной оси Y.

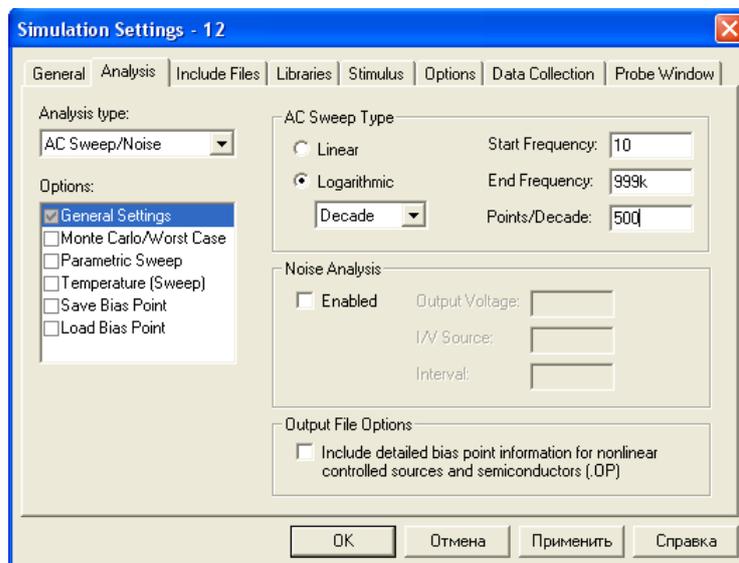
7. Полученная диаграмма частотной характеристики неверна, т. к. излом не может начинаться на частоте около 100 Гц. Источником ошибки является то, что PSPICE просчитал слишком мало точек. В ходе предварительной установки 10000 точек были равномерно распределены в заданном частотном диапазоне. Расчет был произведен для первой точки, затем - для следующей. Расчетные точки были соединены линейной связью, что и привело к индикации некорректных результатов. Для того, чтобы было легче разобраться в подобных ситуациях, в PROBE предусмотрена опция, с помощью которой можно вызвать индикацию контрольных точек:

TOOLS->OPTIONS->PROBE OPTIONS

В появившемся окне выбираем опцию Mark Data Point

Теперь стало очевидным, что рассчитанные контрольные точки были нерационально распределены для создания диаграммы с логарифмическим масштабированием оси X.

9. Для того чтобы логарифмически распределить контрольные точки, например, рассчитать равное количество точек для каждой декады, нужно сделать следующее:



При этом будет рассчитываться 500 точек на 5 декад (вместо 10000).

Проведите моделирование и выведите на экран частотную характеристику.

Конечно, при линейном распределении контрольных точек можно было бы получить удовлетворительное графическое изображение. Такой результат можно получить путем увеличения количества контрольных точек. В данном случае их количество должно было бы быть увеличено до 1 000 000. Проведите моделирование с таким количеством контрольных точек и их линейным распределением. Обратите внимание на изменение полного времени работы программы (Total Job Size)

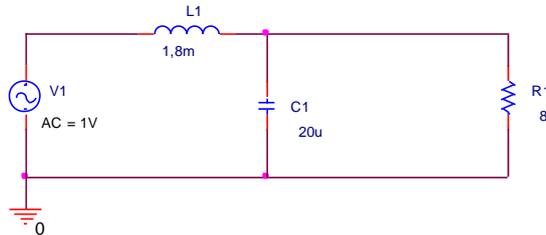
10. Для того, чтобы лучше сравнить друг с другом частотные характеристики фильтров нижних частот с сопротивлениями $R = 80 \text{ Ом}$ и $R = 1000 \text{ Ом}$, необходимо увидеть обе диаграммы в одной системе координат. Для того чтобы построить такие временные диаграммы, необходимо знать, что результаты моделирования каждой схемы хранятся в файле, имеющем тоже имя, что и схема и расширение DAT. Используя команды PROBE:

FILE->OPEN ->RC_80.DAT

FILE->APPEND->RC_1000.DAT

Постройте обе ранее рассчитанные диаграммы в одной системе координат.

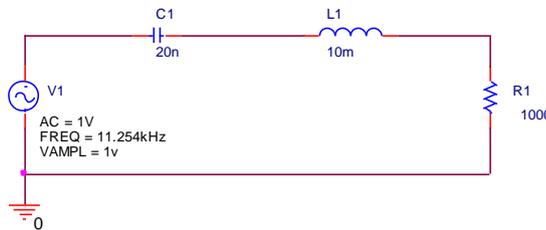
11. Введите схему RLC_MIX1:



Проведите для нее анализ AC SWEEP в диапазоне от 1 Гц до 10 кГц и выведите на экран программы PROBE диаграмму частотной характеристики тока через конденсатор.

Работа с программой - осциллографом PROBE.

1. Введите схему RLC:



При заданной частоте эта схема находится в резонансе. Это означает, что напряжения на конденсаторе и на катушке индуктивности должны быть равны по значению и в сумме давать ноль, поскольку фазы их колебаний противоположны. Соответственно, напряжение на активном сопротивлении R должно быть равным входному напряжению. Для того чтобы это проверить, проведите анализ переходного процесса для этой схемы, а затем представьте графически полученные данные о полном напряжении и активном напряжении на активном сопротивлении ($V(V1+)$, $V(R1:2)$). При этом установите конечное время моделирования равным 600 мкс, шаг моделирования – 20 нс. На полученной диаграмме видно, что после короткого переходного процесса полное входное напряжение находится на активном сопротивлении R .

2. Для того чтобы для изображения кривых была использована вся рабочая поверхность экрана, PROBE

предоставляет возможность пользователю самому определять масштаб координатных осей. Для этого нужно сделать следующее:

Plot->Axis Settings->Y axis

и задать диапазон от $-1V$ до $1V$.

Теперь диаграмма отображается на экране более оптимально.

3. Как говорилось ранее, PSPICE рассчитывает узловые потенциалы, то есть напряжения по отношению к «земле».

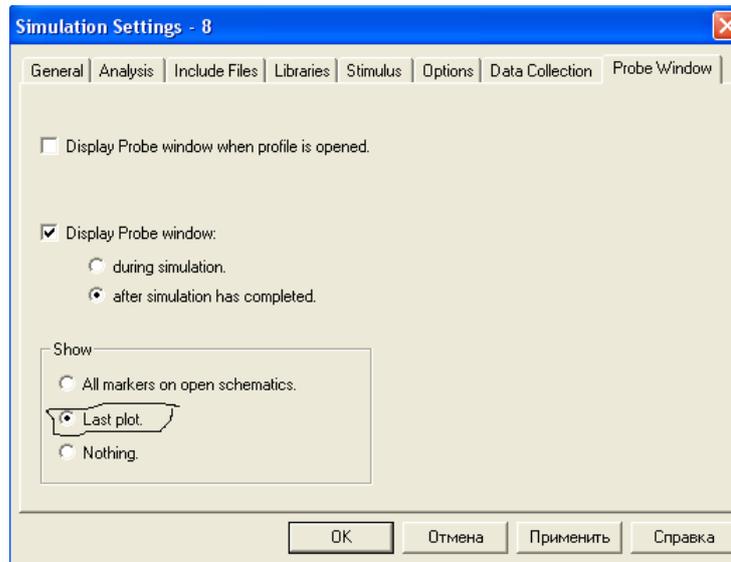
Поэтому для того, чтобы графически представить в PROBE напряжение на катушке U_L и на конденсаторе U_C , следует воспользоваться возможностью применения математических операций к результирующим операциям. В данном случае необходимо вычислить напряжение как разность потенциалов между двумя узлами схемы. Это можно сделать в окне ADD Traces. Постройте диаграммы напряжений $V(L1:1)-V(L1:2)$, $V(C1:1)-V(C1:2)$, $V(V1+)$, $V(R1:2)$, $V(0)$. Напряжение на катушке опережает ток на 90 градусов и имеет амплитуду, соответствующую $2/3$ входного напряжения.

4. Обратите внимание на то, что каждой временной диаграмме, кроме цвета, соответствует свой символ. Включение/отключение индикации этих символов производится следующим образом:

TOOLS->OPTIONS-...->Use Symbols->Always

5. В одной системе координат изображены пять диаграмм. Если требуется их большее количество, ориентироваться в них становится достаточно сложно. В таких случаях принято располагать отдельные диаграммы друг над другом, сохраняя их временную соотнесенность. Для того, чтобы расположить временные диаграммы таким образом, нужно сначала удалить с открытого в настоящий момент окна программы все напряжения за исключением нулевой линии и полного напряжения. Затем в меню PLOT необходимо выбрать опцию ADD PLOT (добавить систему координат), затем командой ADD TRACES добавить в новую систему координат отображение временной диаграммы. Расположите ранее перечисленные диаграммы друг под другом. Если общая картина получается слишком мелкой, то следует воспользоваться опцией PAGE SETUP в меню FILE.

6. Для того чтобы после каждого моделирования не проводить одни и те же настройки окна PROBE, следует сделать следующее:



7. Пользуясь описанной возможностью, постройте диаграммы для схемы с измененным значением сопротивления $R = 100 \text{ Ом}$.

8. При помощи команды меню X Axis Settings проведите масштабирование оси X во временном интервале между 0,4 мкс и 0,6 мкс.

9. Потренируйтесь увеличивать фрагменты диаграмм при помощи команды VIEW->Zoom.

10. Для схемы из п.1 представьте на трех расположенных одна над другой диаграммы временные ха

11. Для того, чтобы определить точные координаты какой-либо точки на диаграмме, нужно воспользоваться курсором программы PROBE. Для активизации курсора щелкните по изображению диаграммы . На экране открылось новое окно – окно курсоров, названных A1 и A2. Установка курсоров осуществляется щелчками клавиш мыши, для подчинения курсора диаграмме, нужно щелкнуть клавишей мыши по одному из символов диаграмм в левом нижнем углу окна программы PROBE. При помощи курсора определите максимальное значение входного напряжения.

12. Проверьте, как с помощью трех кнопок, расположенных справа от кнопки активизации курсора, можно перемещать курсор

к следующему относительному максимуму, относительному минимуму и к следующей точке перегиба. Направление перехода при этом задается путем кратковременного нажатия на клавиши стрелка-влево или стрелка- вправо. Если при этом удерживать нажатой клавишу SHIFT, то при последующем щелчке по соответствующей кнопке поиска вы сможете переместить второй курсор в точки относительных максимумов, минимумов, а также в точки перегиба.

Анализ цепи постоянного тока DC SWEEP.

Ранее мы познакомились с обычным анализом цепи постоянного тока. При этом конденсаторы рассматриваются как прерывания электрической цепи, катушки индуктивности как короткие замыкания. Нелинейные компоненты, (например, диоды или транзисторы) заменяются на их сопротивление постоянному току в рабочей точке. Созданная по такому принципу схема замещения содержит только одни активные сопротивления. Анализ цепи постоянного тока выявляет узловые потенциалы полученной схемы замещения.

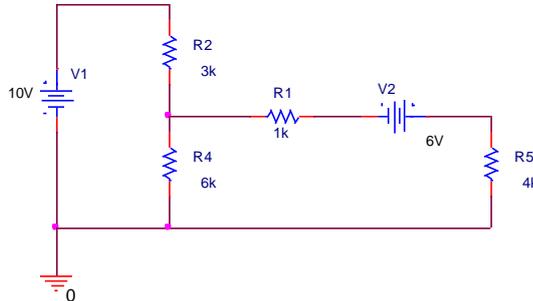
В ходе анализа DC SWEEP проводят целую серию простых анализов цепи постоянного тока, варьируя при этом с небольшими интервалами какую-либо величину схемы, например температуру или значение сопротивления какого либо резистора. Программа PSpICE позволяет проводить анализ DC SWEEP со следующими изменяемыми переменными:

- температура;
- параметры электрической цепи (например, сопротивления);
- источники напряжения;
- источники тока;
- модельные параметры.

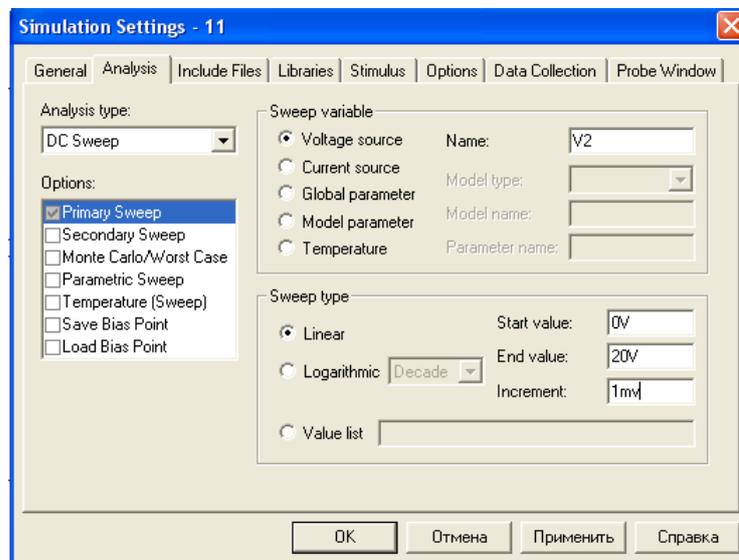
Одновременно с основным анализом (Main Sweep) можно также проводить так называемый «вложенный» (дополнительный) анализ (Nested Sweep) для еще одной изменяемой переменной. Это

позволяет выводить на экран PROBE целые семейства кривых, например семейства выходных характеристик транзистора.

1. Введите схему:



2. Проведите настройку профиля моделирования в соответствии с образцом:



Sweep variable (тип изменяемой переменной) - список возможных типов переменных;

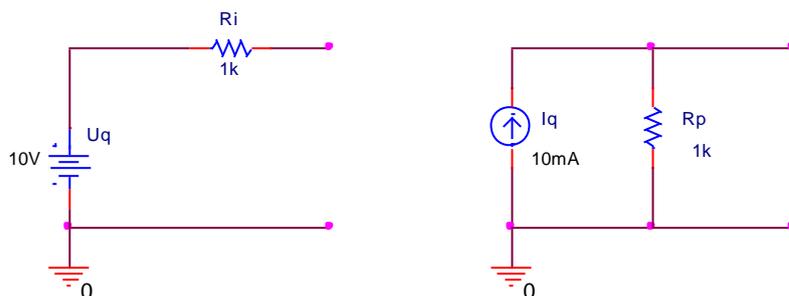
Name – имя изменяемой переменной;

В нижней части окна указывается интервал, в котором в ходе анализа будет изменяться выбранная переменная, приращение этой величины на каждом шаге и масштаб. Масштаб может быть линейным и логарифмическим

Value list – список значений. Активизировав опцию Value List, можно ввести отдельные значения для интересующих контрольных точек.

3. После выполнения моделирования выведите на экран диаграмму тока $-I(R4)$ и $V(0)$. Обратите внимание на следующее правило: все токи считаются в прямом направлении, то есть от вывода 1 к выводу 2. Это значит, что в данном случае расчет производится снизу вверх. Если нужно вывести диаграмму тока, рассчитанного в обратном направлении, то в окне Trace Expression перед именем $I(R4)$ следует поставить «-». На полученной диаграмме видно, как изменяется ток $I(R4)$ в зависимости от напряжения источника $V2$.

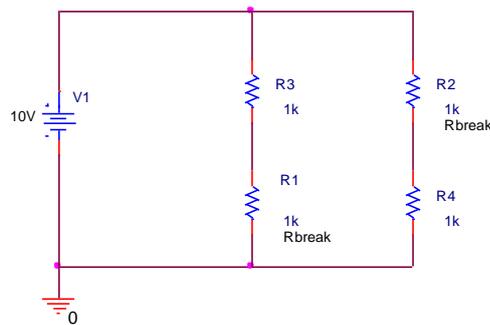
4. Согласно теории о построении электрических цепей, любой источник напряжения с заданным напряжением U_q и заданным внутренним сопротивлением R_i можно заменить на соответствующий источник тока I_q с параллельным сопротивлением R_p , оказывая при этом то же действие на остальную часть электрической цепи. Для R_p нужно задать значение, равное значению R_i , а значение I_q должно быть таким, чтобы оба источника имели одинаковый ток короткого замыкания. Изображенные на рисунке схем за пределами зажимов не должны отличаться друг от друга по воздействию на остальную схему.



Для того, чтобы доказать это, проведите моделирование схем. В качестве нагрузки используйте резистор $R=4,7$ кОм. Выполните для этих схем два анализа DC SWEEP. Для источника напряжения – U_q от 0 В до 100 В, I_q от 0 мА до 100 мА. По завершении анализа вызовите на экран PROBE диаграммы напряжения на нагрузочном резисторе для обеих схем. Диаграммы напряжений должны совпадать.

5. У обычных резисторов при повышении температуры увеличивается сопротивление. Температурная зависимость

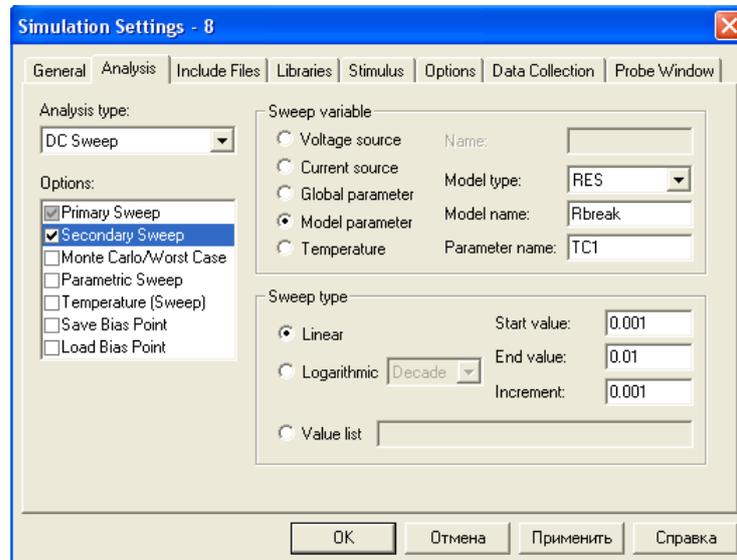
описывается уравнением $R_{\text{тепл}} = R_{\text{хол}} * (1 + \alpha * \Delta t)$. Температурный коэффициент α – величина постоянная для каждого материала. Для никеля, например, $\alpha = 6,7 * 10^{-3} 1/\text{K}$. Помимо обычных резисторов программа PSPICE содержит также специальные резисторы, температурные коэффициенты которых просто устанавливать и изменять, то есть использовать в качестве переменных в ходе проведения анализа схем. Они называются Rbreak и находятся в библиотеке BREAKOUT.SLB. Начертите схему термоизмерительного моста TERMOBRODG.



Для того чтобы задать желаемый температурный коэффициент, (в PSPICE он называется TC), необходимо изменить имитационную модель Rbreak. Изменение имитационной модели производится командой EDIT PSPICE MODEL контекстного меню. В открытом окне редактора моделей к имеющейся первоначально строке «.model Rbreak RES R=1» добавьте значение температурного сопротивления никеля «TC1 =0.0067». Выполните анализ DC SWEEP, при котором в качестве изменяемой переменной будет варьироваться температура в диапазоне от -50 до 150°C с шагом 0, 1 °C. По завершении моделирования выведите на экран диаграмму напряжения в ветви моста V(R3:1)-V(R4:2). Полученная зависимость достаточно близка к линейной, т.е. спроектированный мост вполне работоспособен.

6. Для того чтобы исследовать зависимость напряжения в схеме термоизмерительного моста от рабочей температуры при различных значениях температурного коэффициента TC1, а затем представить результат этого двойного анализа в виде семейства кривых на одной общей диаграмме, необходимо воспользоваться наряду с основным анализом так называемым «вложенным» анализом (Nested Sweep) для еще одной изменяемой переменной.

Параметры основного анализа необходимо настроить так же, как и в предыдущем пункте. Параметры дополнительного анализа задайте в соответствии с образцом:



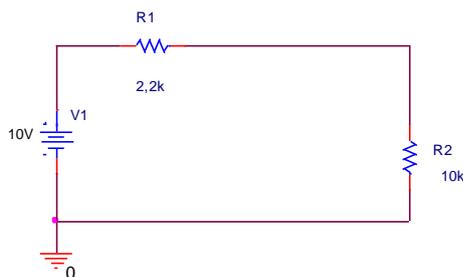
Изменяемой переменной является параметр модели (Model Parameter), тип модели (Model type) – модель резистора (Res), модель называется Rbreak (Model Name), изменяемый параметр (Parameter Name) – температурный коэффициент сопротивления (TC1).

После завершения настроек запустите моделирование и выведите на экран диаграмму напряжения в ветви моста $V(R3:1)-V(R4:2)$.

7. Для того, чтобы провести анализ цепи постоянного тока DC Sweep, при котором в качестве изменяемой переменной будет использоваться значение сопротивления необходимо использовать так называемые «глобальные параметры» (Global Parameter). При проведении анализа цепей переменного тока AC Sweep и анализа переходных процессов Transient Analysis этот термин используется, наряду со значением сопротивления, применительно еще к целому ряду других значений.

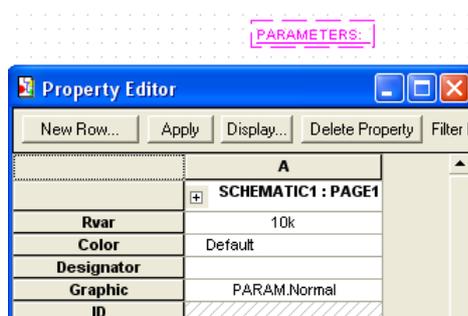
Для анализа DC Sweep с изменением глобального параметра необходимо определить изменяемые переменные в двух местах. Рассмотрим эту процедуру на примере анализа последовательной цепи при изменении значения сопротивления одного из резисторов в диапазоне от 0 до 20 кОм.

Введите схему PARAM1:

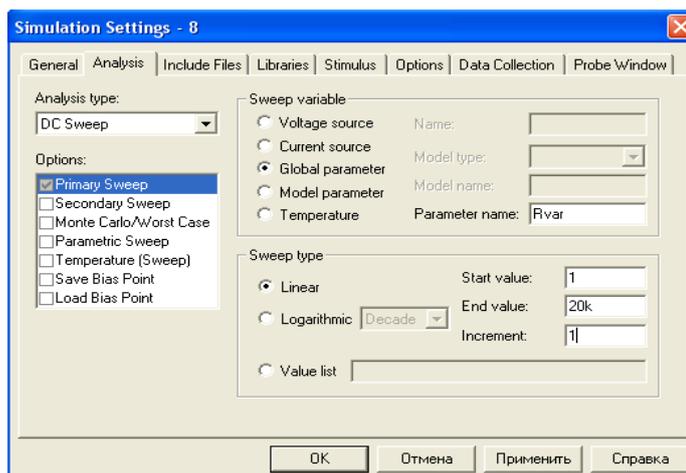


Двойным щелчком мыши откройте окно редактирования атрибута Value резистора R2, и вместо значения 10 кОм введите имя переменной, например {Rvar}. Обратите внимание на то, что значение атрибута заключено в фигурные скобки.

Затем из библиотеки SPECIAL.SLB извлеките элемент PARAM и разместите его на схеме. Дважды щелкните по этому элементу, после чего откроется окно редактирования атрибутов, в котором нужно еще раз зарегистрировать Rvar как параметр. Для него необходимо ввести какое-либо значение по умолчанию:



Для проведения анализа проведите необходимые настройки профиля моделирования в соответствии с образцом:



После завершения моделирования выведите на экран диаграмму напряжения на R_{var} и диаграмму тока, проходящего через этот резистор. Полученный результат доказывает общеизвестную истину, что когда сопротивление R_{var} имеет нулевое значение, то значение тока, проходящего через R_{var} , очень высоко, а напряжение на R_{var} равно нулю. При очень высоких значениях R_{var} ток, проходящий через R_{var} , приближается к нулевому значению, а напряжение – к значению 10В.

8. При изменении R_{var} меняется и рассеиваемая на нем мощность. Выведите на экран диаграмму мощности, рассеиваемой на R_{var} . Активизируйте курсор для того, чтобы выявить точное положение максимума. При каком значении сопротивления R_{var} мощность достигает максимума (когда наступает согласование по мощности)?

9. Подтвердите анализом (DC Sweep основной+вложенный), теоретическое положение, в соответствии с которым в данной схеме происходит согласование по мощности ($R_{var}=R_1$).

10. Для схем из п.4 проведите анализ DC Sweep, при котором в качестве дополнительной переменной будет служить сопротивление нагрузки (от 1 кОм до 10 Ком) и тем самым окончательно докажите, что обе эти схемы действительно равнозначны, то есть что оба анализа дают одинаковые напряжения на R_n .

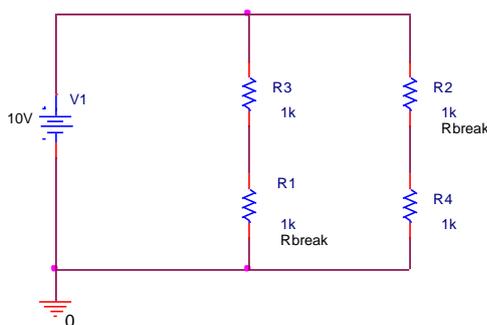
Параметрический анализ.

Параметрический анализ (Parametric Sweep) расширяет возможности по изображению семейств кривых. При анализе цепи постоянного тока, используя наряду с основной переменной еще одну (дополнительную) создавались семейства кривых. С помощью параметрического анализа можно выводить на экран PROBE диаграммы семейств кривых не только для анализа цепи постоянного тока (DC Sweep), но и для цепи переменного тока (AC Sweep), и для анализа переходных процессов (Transient). Принципы проведения сдвоенного анализа (DC Sweep) и параметрического анализа практически одинаковы.

Параметрический анализ, как и вложенный, всегда используется в качестве дополнительного к основному анализу (Main Sweep)

1. Результаты параметрического анализа, выполняемого как дополнительный к DC Sweep практически ничем не отличается от результатов сдвоенного анализа DC Sweep.

Загрузите схему термоизмерительного мостика:

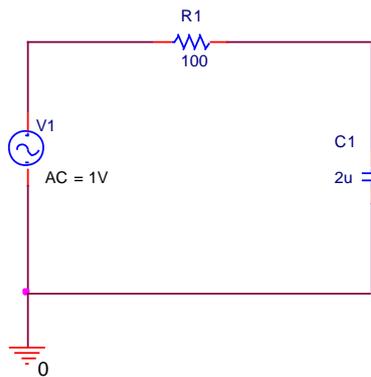


Проведите настройку глобальной переменной, как и в примере для сдвоенного анализа DC Sweep. (основная изменяемая переменная – температура). Настройка анализа Parametric Sweep – аналогично настройке анализа Secondary Sweep. Запустите моделирование. После того, как программа завершит расчеты, на экране откроется окно Available Sections (доступные секции). Здесь находится список кривых для всех значений параметра (в данном случае, температурного коэффициента). Из всех доступных кривых мышью можно выбрать те, которые будут изображены в окне PROBE. Возможность выбирать кривые для отображения как раз и составляет разницу между анализами DC Sweep+Parametric Sweep и DC Sweep+Secondary Sweep.

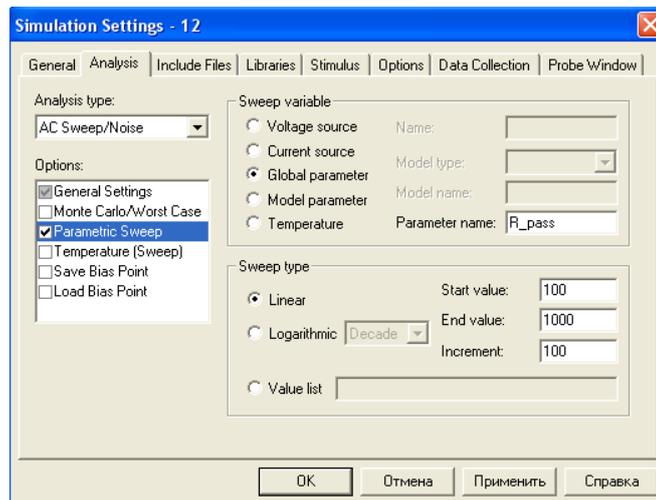
Выберите в окне все Available Sections все кривые для отображения. Откроется пока еще пустое окно PROBE. Выведите на экран диаграмму напряжений в ветви моста V(R3:1)-V(R4:2).

2. Полученная с помощью анализа AC Sweep+Parametric Sweep диаграмма хорошо описывает зависимость частотной характеристики от значения сопротивления R в RC-фильтре нижних частот.

Загрузите схему:



Зарегистрируйте сопротивление R1 как параметр с именем R_pass. Проведите предварительную установку для основного анализа AC Sweep, в ходе которого будет исследована частотная характеристика фильтра нижних частот с переменным напряжением AC=1В в диапазоне от $f=10\text{Гц}$ до $f=1\text{Мег}$ с логарифмическим распределением контрольных точек по 100 точек на декаду. Настройку параметрического анализа проведите в соответствии с образцом.



Запустите моделирование. После окончания расчета выведите на экран PRPBE семейство кривых напряжения на конденсаторе V(C1:1)-V(C1:2) при логарифмическом масштабировании оси координат Y.

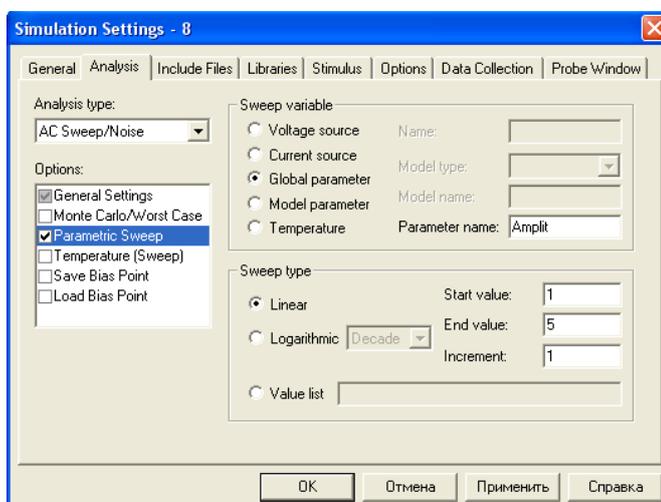
3. В окне настройки параметрического анализа приведен список возможных изменяемых переменных для дополнительного анализа. Следует учитывать, что опции Voltage Source и Current Source могут быть выбраны только при проведении анализа DC

Sweep+Parametric Sweep, они недоступны ни для анализа AC Sweep+Parametric Sweep, ни для анализа переходных процессов. Источники переменного напряжения не поддаются описанию с помощью одной единственной переменной, ведь тогда PSpICE не «знала» бы, что следует подразумевать под переменной Voltage Source: частоту, амплитуду, положение по фазе? Конечно, можно выбрать в качестве дополнительной переменной амплитуду источника переменного напряжения, но тогда ее нужно определить как глобальный параметр.

Для исследования частотной характеристики RC-фильтра нижних частот для различных значений входного напряжения можно использовать анализ AC Sweep+Parametric Sweep.

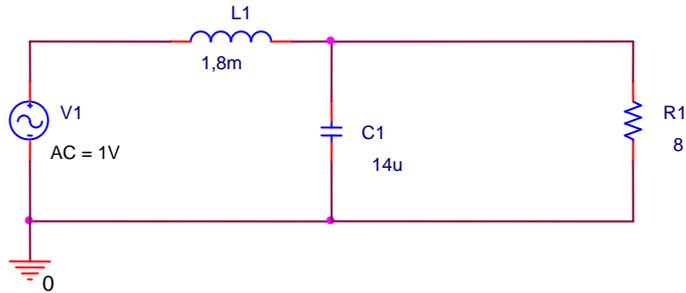
В схеме из п.2 зарегистрируйте в качестве параметра амплитуду источника питания {Amplit}.

Проведите предварительную установку для основного анализа AC Sweep, в ходе которого будет исследована частотная характеристика фильтра нижних частот в диапазоне от $f=10\text{Гц}$ до $f=999\text{кГц}$ с логарифмическим распределением контрольных точек по 100 точек на декаду. Настройку параметрического анализа проведите в соответствии с образцом.



Запустите процесс моделирования и выведите на экран PROBE диаграмму напряжения на конденсаторе V(C1:1)-V(C1:2) при логарифмическом масштабировании оси координат Y.

4. Введите схему:

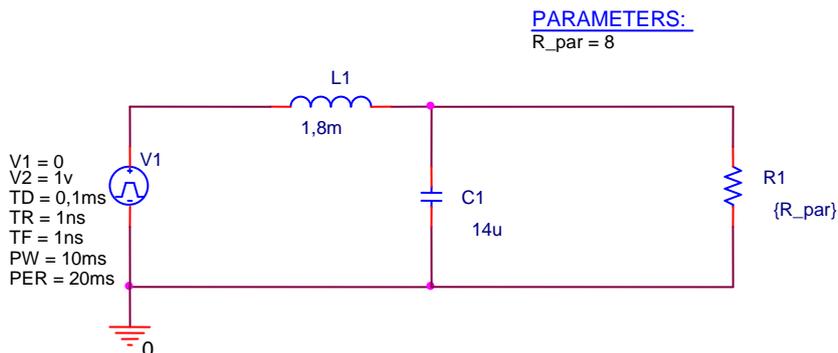


С помощью анализа AC Sweep+Parametric Sweep создайте диаграмму частотной характеристики ($V(R1:1)-V(R1:2)$) фильтра с сопротивлением резистора R1 в качестве изменяемой переменной. Значение сопротивления варьируется в пределе от 4 Ом до 12 Ом с интервалом 1 Ом. При каком значении сопротивления R1 частотная характеристика фильтра является оптимальной?

5. Анализ переходных процессов в сочетании с параметрическим анализом принадлежит к числу наиболее мощных инструментов, которые имеются в программе PSPICE.

В ходе проведения этого анализа нельзя использовать опции Voltage Source и Current, находящиеся в списке возможных переменных анализа Parametric. Эти опции могут быть использованы только при проведении анализа DC Sweep+Parametric Sweep. Если необходимо использовать в качестве параметров какую-либо характеристику источника тока или напряжения схемы, эту величину нужно определить как Global Parameter.

Загрузите схему из предыдущего примера и замените в ней источник питания VSIN на генератор импульсного напряжения VPULSE. Установите его атрибуты и зарегистрируйте параметр в соответствии с образцом.

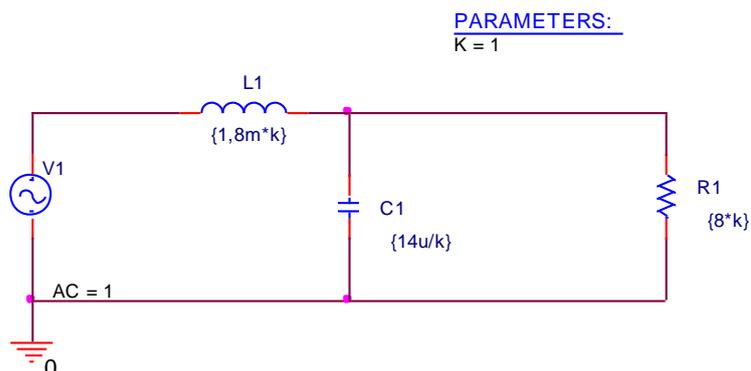


С помощью анализа Transient+Parametric создайте диаграмму переходной характеристики $(V(R1:1)-V(R1:2))$ фильтра с сопротивлением резистора R1 в качестве изменяемой переменной. Значение сопротивления варьируется в пределе от 4 Ом до 12 Ом с интервалом 1 Ом, время – от 0 до 5ms с шагом 3us. При каком значении сопротивления R1 переходная характеристика является оптимальной?

6. До сих пор в качестве глобальных параметров использовались только числовые значения характеристик компонентов. Существует возможность установить глобальный параметр в нескольких местах одной схемы и затем изменять его в ходе анализа.

- Загрузите схему из предыдущего примера и откорректируйте ее в соответствии с образцом.

Исследуем влияние уровня импеданса на характеристику частотного фильтра, то есть выясним, как изменяется частотная характеристика, если R, C и L изменяются так, чтобы активное сопротивление R изменялось с тем же коэффициентом, что и реактивные сопротивления.



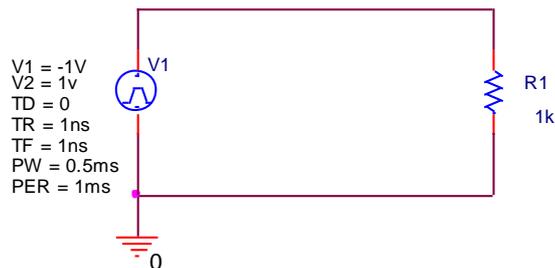
- Проведите предварительную установку для основного анализа AC Sweep, в ходе которого будет исследована частотная характеристика фильтра нижних частот в диапазоне от $f=10$ Гц до $f=999$ кГц с логарифмическим распределением контрольных точек по 100 точек на декаду. В окне Parametric задайте изменение коэффициента K как глобального параметра. При этом K варьируется в диапазоне от 0.4 до 2 с интервалами 0.2. По завершении моделирования выведите на экран диаграмму $V(R1:2)$.

Выяснилось, что при изменении уровня импеданса частотного фильтра, то есть если активные и реактивные сопротивления частотного фильтра изменяются на один и тот же коэффициент, частотная характеристика фильтра остается неизменной.

Специальные виды анализа.

1. Программа PSpICE может также проводить анализ Фурье (спектральный анализ) и определять с их помощью частотные спектры заданных сигналов.

- Введите схему:



Проведите моделирование переходного процесса, время – от 0 до 15ms с шагом 20us и выведите на экран диаграммы V(R1:2), V(0).

При выполнении анализа Фурье программа PSpICE исходит из того, что рассчитываемая при моделировании функция периодически повторяется независимо от того, какая часть в данный момент отображена на экране. То есть надо обязательно следить за тем, чтобы был смоделирован один период или целое кратное количество периодов. В данном случае с помощью анализа переходных процессов было проведено моделирование ровно 15 периодов колебания, следовательно, полученные данные без всяких ограничений могут быть использованы для анализа Фурье.

- Запустите анализ Фурье кнопкой  из программы PROBE. Эта кнопка позволяет не только запускать анализа Фурье, но и переключаться по его завершении от изображения временного диапазона к частотной области и наоборот.

- Ограничьте видимую область до 20 кГц.

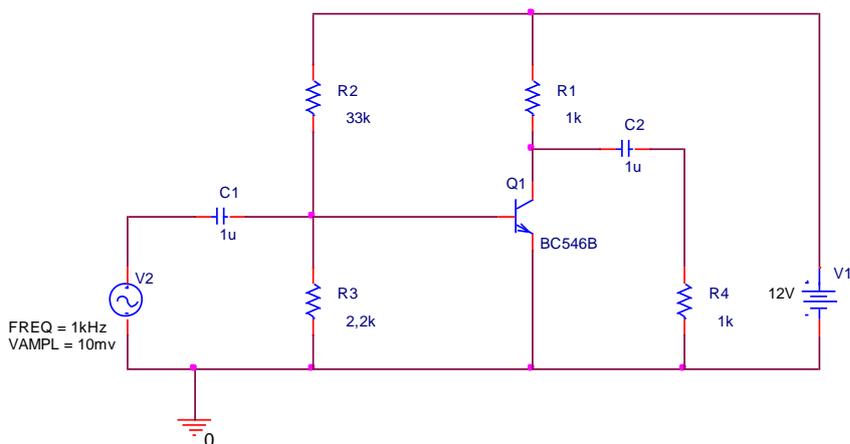
Проведите анализ Фурье на основе одного периода колебаний и выведите на экран аналогичную диаграмму.

Программа PSPICE может вывести результаты моделирования в файл. Соответствующие установки должны быть сделаны при настройке моделирования в окне Transient. В том случае, если запуск моделирования осуществляется из этого окна, то за основу для анализа Фурье берется последний рассчитанный период.

2. Анализ Фурье используется для того чтобы установить частотный спектр напряжения, характеристика которого не описывается одним законченным математическим выражением, например спектр (искаженного) выходного напряжения усилительного каскада.

Мерой искажения напряжения является коэффициент гармоник. Он определяется как соотношение действующего значения высших гармоник напряжения к действующему значению собственно напряжения. Анализ Фурье позволяет рассчитать коэффициент гармоник усилителя.

- Начертите в редакторе усилительный каскад и проведите моделирование этой схемы во временном интервале при $f = 1$ кГц, чтобы рассмотреть 15 периодов повторения синусоиды и выведите на экран PROBE диаграммы $V(R4:2)$, $V(0)$.



После 5 периодов процесс установления импульса завершается. Однако видно, что верхняя полуволна шире, чем нижняя. Выходное напряжение искажено.

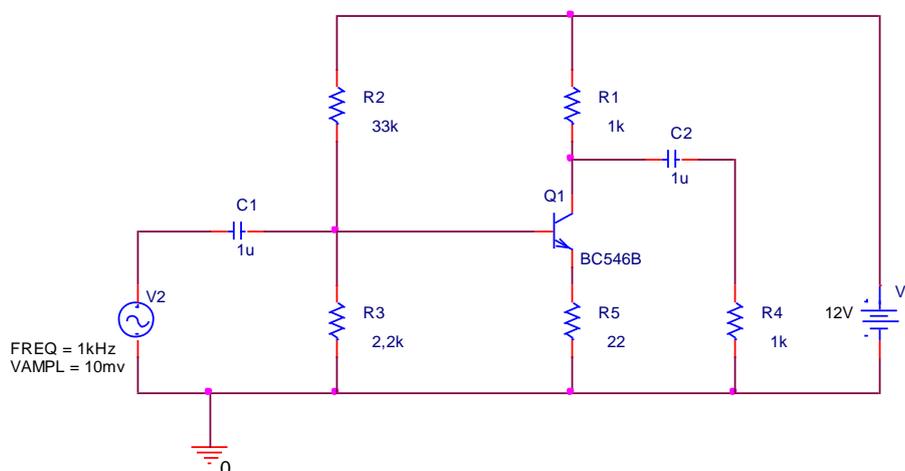
- Ограничьте область используемых данных до стационарного состояния, то есть до временного интервала от 5 до 15 мс (Plot->X Axis Settings->Restricted->5ms-15ms) и создайте диаграмму частотного спектра.

На диаграмме видно, что только первая верхняя гармоника приводит к искажению выходного напряжения. С помощью курсора PROBE можно измерить амплитуду основной гармоники и первой верхней гармоники и вычислить таким образом их действующие значения. Все это можно сделать проще, если перед моделированием в ходе предварительной установки анализа переходных процессов задать, чтобы программа PSPICE дополнительно провела анализ Фурье. Необходимые значения амплитуды можно получить из выходного файла.

В выходном файле указывается рассчитанное значение общего гармонического искажения (Total Harmonic Distortion). Эта величина определяется как отношение действующего значения всех высших гармоник к действующему значению основной гармоники.

Чему равно общее гармоническое искажение для данной схемы?

Средство борьбы против искажений, применяемое в данном случае, называется отрицательная обратная связь. Если в схеме с общим эмиттером для отрицательной обратной связи (по переменному току) установить эмиттерный резистор, то искажения значительно уменьшатся, хотя при этом уменьшится и коэффициент усиления.



Чему равно общее гармоническое искажение для откорректированной схемы?

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие электронные узлы можно моделировать с использованием PSPICE?
2. Какие источники токов и напряжений могут быть использованы при моделировании?
3. На каком уровне производится моделирование, какова природа рассчитываемых физических величин?
4. Перечислите основные виды анализа, выполняемые PSPICE.
5. Приведите общую структуру схемы, предназначенной для моделирования.
6. Что такое профиль моделирования и как производится его настройка?
7. Каким образом с использованием PSPICE можно проанализировать токи и напряжения в цепях постоянного тока?
8. Как производится анализ схемы переменного тока в заданном частотном диапазоне?
9. Для чего предназначены элементы VPRINT1, VPRINT2, IPRINT (библиотека SPECIAL.OLB)?
10. Как настроить профиль моделирования для выполнения анализа переходного процесса?
11. Что представляет собой анализ AC SWEEP?
12. Как настроить профиль моделирования для выполнения анализа AC SWEEP?
13. Каково функциональное назначение программы PROBE? Какие возможности этой программы Вы считаете наиболее полезными?
14. Как определить точные координаты точки на временной диаграмме?
15. Что анализируется при выполнении DC SWEEP?
16. Как можно учесть температурный коэффициент сопротивления при выполнении анализа DC SWEEP?

17. Что такое глобальные переменные в PSPICE и для чего они используются?
18. Какие специальные виды анализа выполняются в PSPICE?
19. Что такое анализ Фурье и для чего он используется?
20. Что такое анализ шумов, как он выполняется? Приведите пример использования.
21. Что такое анализ производительности, как он выполняется?
22. Какие виды статистического анализа могут быть выполнены в PSPICE?
23. В чем различие анализа по методу наихудшего случая и Монте-Карло?
24. Что такое анализ по методу Монте-Карло? Как он выполняется?
25. Что такое анализ наихудшего случая? Как он выполняется?

