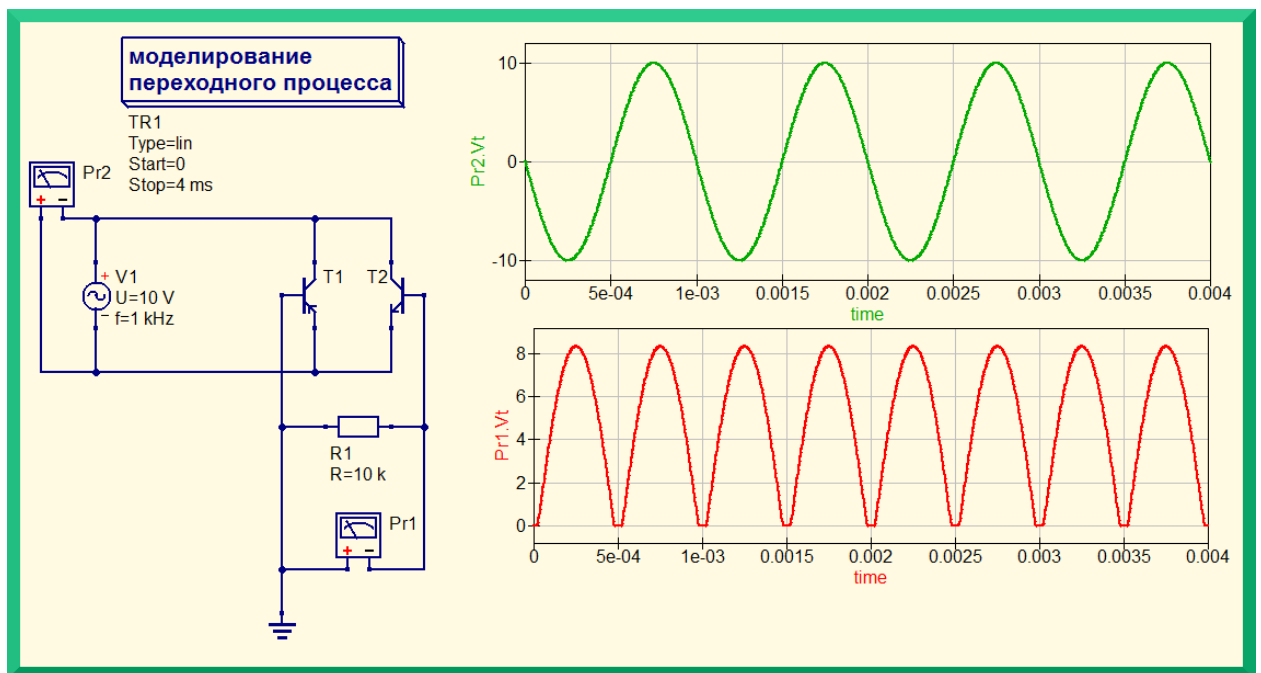




Ваше дело правое! Победа будет за вами!

В.Н. Гололобов

Почти ответы на вопросы



Москва – 2014

Оглавление

Предисловие.....	3
14. схемы как проверить транзистор прямо в схеме.....	3
16. rc цепь в proteus 50. пользоваться генератором в isis 67. интегрирующая цепочка 119. дифференцирующие свойства rc lr цепи.....	5
37. измерение амплитуды и полярности входного сигнала при помощи avg	9
54. программа для написания программы микроконтроллера и проверки работы устройства	13
144. как сделать из постоянного тока переменный с помощью конденсатора 221. генератор прямоугольных импульсов ne555 multisim	16
223. диод зенера, что это.....	17
225. 2n2222a каскад усилителя	19
227. симулятор электрических аналоговых цепей 230. операционные усилители в multisim 247. как получить графики напряжений в мультисим 400. мостовой усилитель на lm358	21
Заключение	26

Предисловие

Я редко по разным поводам заглядываю в статистику моего сайта. Там есть раздел поисковых запросов, по которым среди тысяч адресов других сайтов появляется и мой сайт. Обычно я не обращаю внимания на этот раздел, поскольку вопросы заданы не мне. Но, чтобы я ответил, если бы вопросы были заданы мне?

Отбросив из списка запросы, относящиеся к моим книгам или моим переводам руководств, я оставил те, которые мне под текущее настроение показались интересными.

14. схемы как проверить транзистор прямо в схеме

Видимо, речь идёт о проверке транзистора, впаянного в плату. Проверка транзистора на плате во многом зависит и от схемы, и от типа транзистора. Для биполярного транзистора самый простой способ, доступный любому, заключается в проверке переходов с помощью мультиметра, включённого в режим проверки диода. Но, прежде чем продолжить рассказ, я хочу показать один виртуальный эксперимент в программе Qucs.

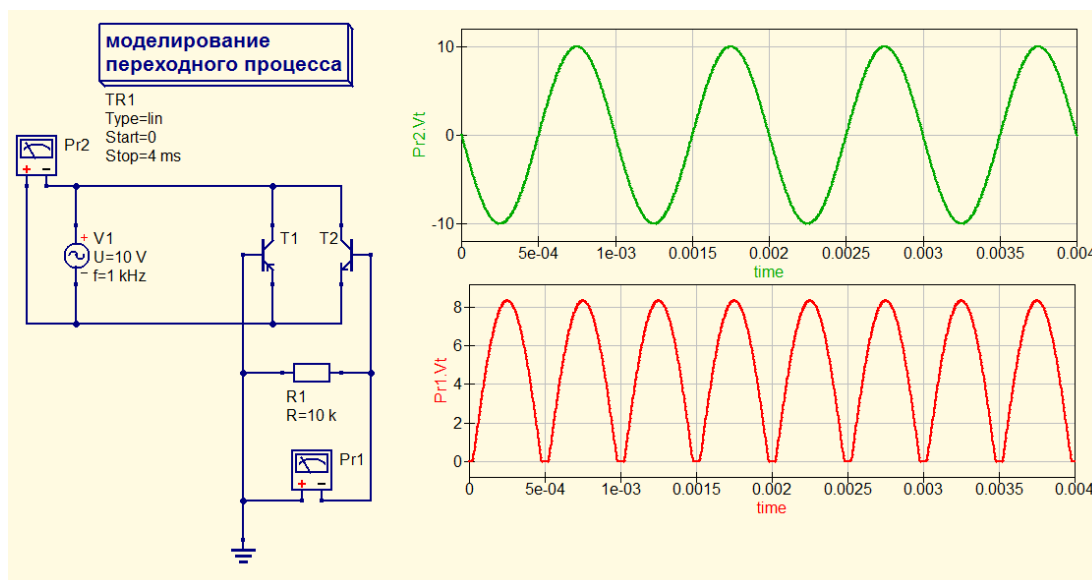


Рис. 1.1. Эксперимент в программе Qucs

Генератор переменного напряжения V1 с амплитудой сигнала 10 В и частотой 1 кГц подключён к двум транзисторам разного типа проводимости. К их базам подключен резистор, напряжение на котором отображает нижняя диаграмма (верхняя показывает сигнал генератора).

В итоге мы получили обычный выпрямитель переменного напряжения. Чтобы не было сомнений, повторим эксперимент с обычным диодным мостом.

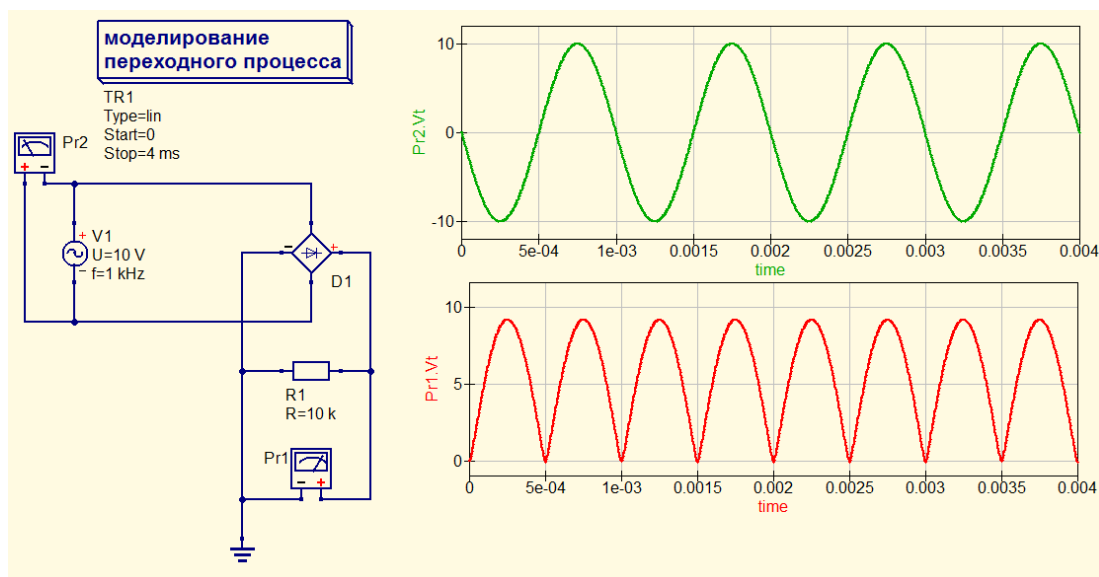


Рис. 1.2. Повторение эксперимента с диодным мостом

Транзистор имеет два перехода, каждый из которых можно в этом случае рассматривать как диод. Возьмите любой транзистор, переключите мультиметр в режим проверки диодов и можете убедиться, что при одной полярности подключения щупов переходы база-коллектор и база-эмиттер покажут сопротивление порядка 500-600 Ом, а при обратной полярности мультиметр покажет перегрузку, сопротивление слишком велико. Очень часто при выходе транзистора из строя у него «пробивается» один из переходов. В этом случае вы увидите сопротивление от единиц до десятков ом.

Конечно, впаянный в плату транзистор может иметь резистор маленького сопротивления, включенный между базой и эмиттером, например. В этом случае трудно будет сказать что-то определенное. Резистор лучше отпаять. И проверку с помощью мультиметра, напомним, следует проводить при выключенном питающем напряжении.

Сопротивление современного транзистора между эмиттером и коллектором при проверке мультиметром в «диодном» режиме должно быть очень велико при обоих вариантах подключения щупов. Но в схеме оно будет, конечно, гораздо меньше, если не отпаять резистор между базой и коллектором (питанием). При неисправности транзистора это сопротивление может быть порядка сотни или нескольких сотен ом.

Если транзистор используется в схеме усиления, то можно проверить его работоспособность с помощью генератора и осциллографа. При включённом питании, если с генератора подать сигнал небольшой амплитуды через конденсатор на базу транзистора, то осциллографом на его коллекторе можно наблюдать, если схема с общим эмиттером, усиленный сигнал.

При любом способе проверки не следует забывать о том, что на работу транзистора может оказывать влияние следующий за ним каскад. Поэтому знать схему нужно хорошо.

**16. гс цепь в proteus 50. пользоваться генератором в isis 67.
интегрирующая цепочка 119. дифференцирующие свойства гс 1г
цепи**

Эти запросы я объединил вместе, поскольку отчасти их не понимаю, а отчасти они повторяются. Итак. Резистор и конденсатор можно соединить в цепь параллельно и последовательно. Но начнём с того, что для постоянного тока конденсатор представляет обрыв цепи, тогда как для переменного тока некое сопротивление. Проверим последнее в простом эксперименте.

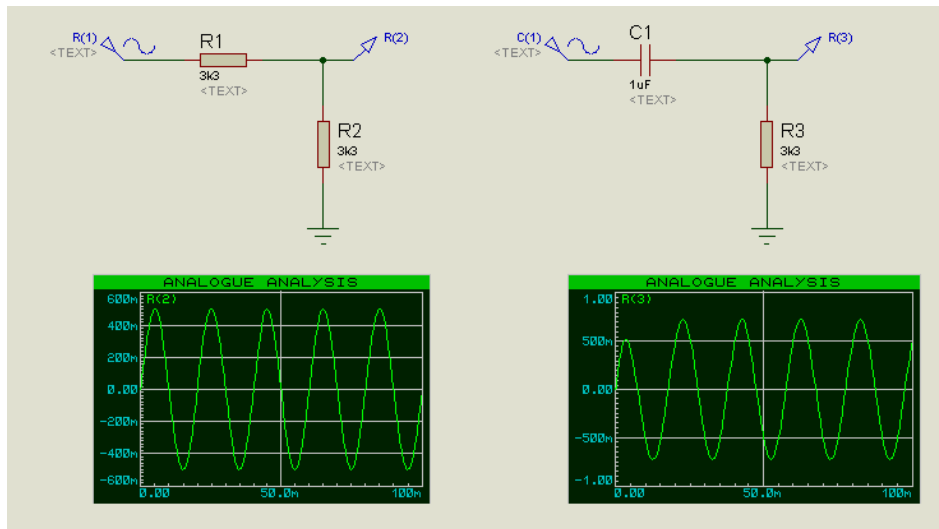


Рис. 2.1. Делитель из двух резисторов и делитель из конденсатора и резистора

Делитель из двух резисторов делит напряжение генератора (1В, 50 Гц) на два, то есть на выходе мы наблюдаем сигнал с амплитудой вдвое меньше, чем на входе. Но и делитель из конденсатора и резистора тоже делит напряжение в том же соотношении. То есть, переменное напряжение конденсатор пропускает и ведёт себя подобно обычному сопротивлению. Но обычному ли?

Увеличим частоту генератора.

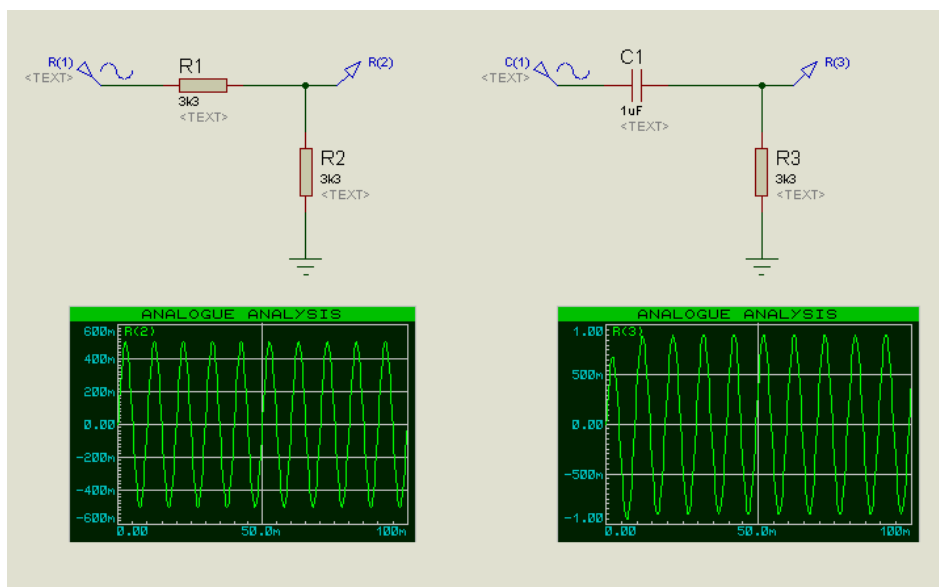


Рис. 2.2. Повторение эксперимента с частотой генератора 100 Гц

Если амплитуда на выходе резистивного делителя осталась неизменной, то на выходе второго делителя она увеличилась. Таким образом, с ростом частоты сопротивление конденсатора уменьшилось. Сопротивление конденсатора и индуктивности переменному току называют реактивным, оно зависит от частоты.

Эти два эксперимента дают ответ на два вопроса из четырёх в заголовке – относительно гс цепи в proteus и генератора. Больше об этом можно узнать в руководстве, перевод которого есть у меня на сайте.

Теперь обратимся к дифференцирующей и интегрирующей гс цепям. Характер поведения выходного напряжения в делителе из резистора и конденсатора будет при изменении частоты зависеть от порядка соединения компонентов. Сравним два варианта их включения.

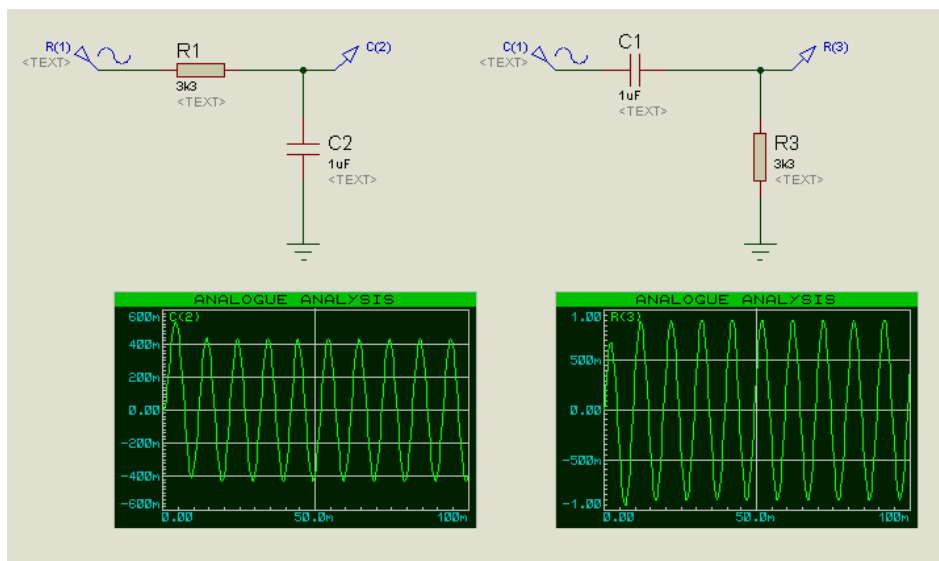


Рис. 2.3. Разница в выходном напряжении при разном включении компонентов

Осциллограммы показывают, что разница есть, следовательно, это разные цепи по характеру их влияния на сигнал.

Вспомним, что операция дифференцирования позволяет получить из исходной функции производную функцию, отражающую скорость изменения первоначальной функции. Возьмите отношение приращения функции к малому изменению аргумента, вы получите искомую скорость изменения функции. Для синусоидальной функции скорость изменения будет, видимо, максимальна, когда синус проходит через ноль, а минимальна, когда функция синуса достигает максимального значения.

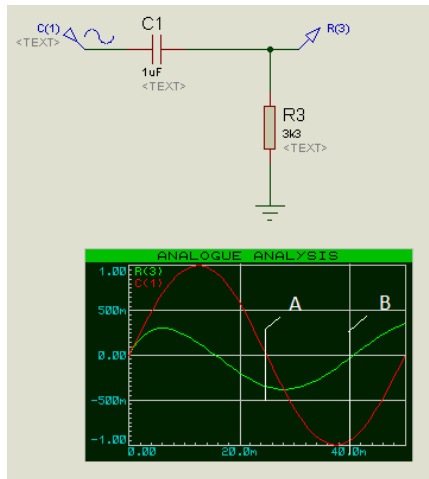


Рис. 2.4. Соотношение сигнала на выходе и входе rc цепи

Сигнал с большей амплитудой – это исходный сигнал, сигнал с меньшей амплитудой – это обработанный rc цепью сигнал. Можно видеть, что в точке А скорость исходного сигнала максимальна, а сигнал на выходе имеет максимальное значение (или близкое к максимуму); в точке В скорость изменения исходного сигнала мала, а обработанный сигнал имеет значение близкое к нулю. Таким образом, эта rc цепь, похоже, дифференцирующая.

Дифференцирующая цепь реагирует на скорость изменения сигнала. Можно проверить это, заменив синусоидальный сигнал импульсным.

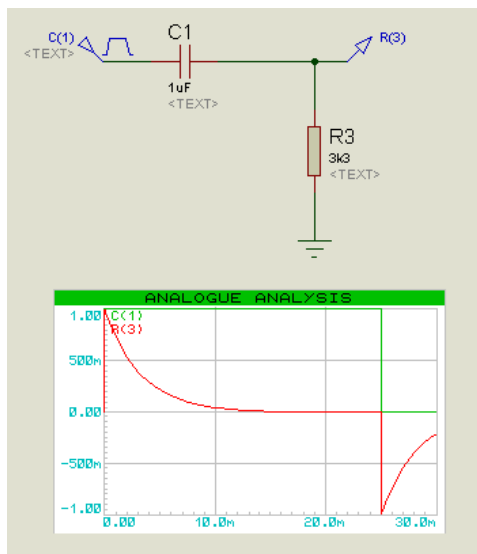


Рис. 2.5. Реакция rc цепи на прямоугольный импульс

Нижний график – это выходное напряжение; видно, что выходное напряжение максимально, когда входное напряжение меняется от нуля к значению 1 В, затем выходное напряжение спадает до нуля, когда импульс не меняется, величина напряжения остаётся равна 1 В. То, что выходное напряжение не равно нулю сразу, как только входной импульс перестал меняться, объясняется разрядом конденсатора C1 через резистор R3 с постоянной времени $R1C3$.

Операция интегрирования обратна операции дифференцирования. Следовательно, поменяв местами конденсатор и резистор, мы вправе ожидать обратной реакции, скажем, на входной импульс прямоугольной формы.

Небольшое замечание. На выходе мы наблюдаем напряжение, которое формируется током через резистор R3.

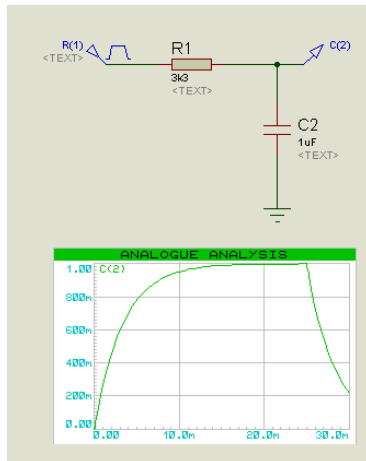


Рис. 2.6. Реакция rc цепи, когда резистор и конденсатор поменялись местами

Быстрое изменение фронта импульса медленно изменяет напряжение на выходе, что и следовало ожидать от интегрирующей цепи.

Сопротивление индуктивности переменному току тоже носит реактивный характер. То есть, можно ожидать, что rl цепь получится и дифференцирующей, и интегрирующей. Проверьте это самостоятельно, учитывая, что сопротивление индуктивности иначе зависит от частоты и что индуктивность пропускает постоянный ток, а сопротивление индуктивности постоянному току, как правило, мало.

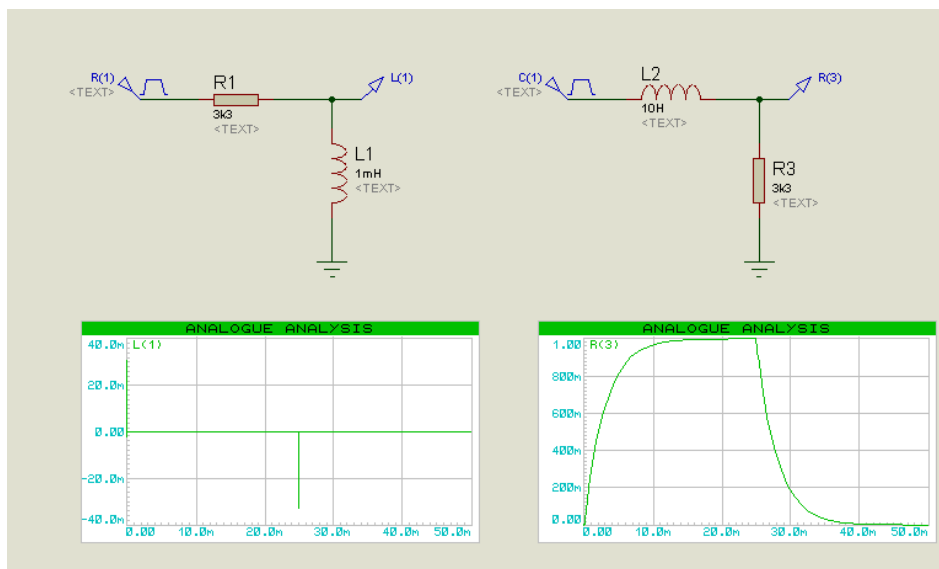


Рис. 2.7. Реакция rl цепей на импульс прямоугольной формы

37. измерение амплитуды и полярности входного сигнала при помощи avr

Поисковый запрос, конечно, очень общего вида, поэтому решений может быть много, всё зависит от конкретных требований к устройству. Микроконтроллер, имеющий встроенный модуль АЦП, позволяет, чаще всего, измерять положительное напряжение в пределах, например, 0-5 В. Обработка данных, полученных от модуля, и отображение результата на индикаторе – это предмет отдельного разговора, касающийся программирования контроллера.

Поскольку модуль АЦП измеряет положительное напряжение, для работы с разнополярным сигналом требуется предварительная обработка переменного напряжения. После обработки можно последовательно измерять значение сигнала, отыскивая, например, максимальное значение.

Если предстоит измерять амплитуду заведомо симметричного сигнала, то можно применить следующее решение.

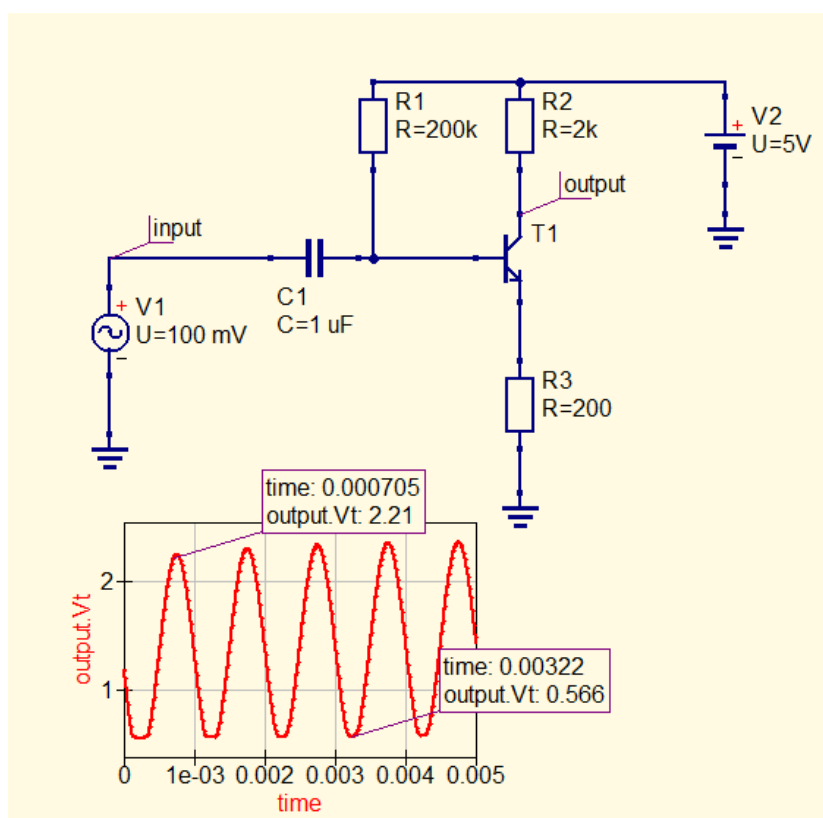


Рис. 3.1. Измерение амплитуды симметричного сигнала

После измерения максимального и минимального значений сигнала, можно расчётным путём определить амплитуду. В данном примере: $(2,21 - 0,566)/2 = 0,822$ (В). С учётом коэффициента усиления транзистора (около 8) можно достаточно хорошо судить об амплитуде сигнала.

В том случае, когда заранее нет информации о сигнале, можно предварительно выпрямить сигнал, а затем измерить амплитуду положительной полуволны и отрицательной.

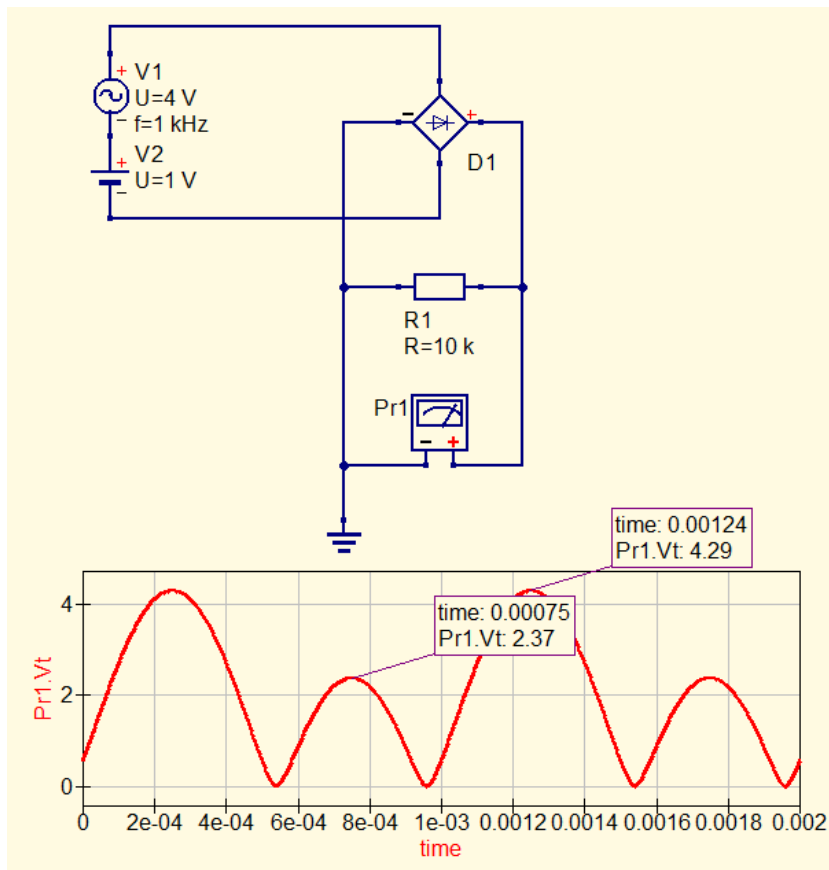


Рис. 3.2. Измерение амплитуд несимметричного сигнала

Чтобы различать положительную и отрицательную полуволну, потребуется индикатор, что усложняет схему, но без него не обойтись.

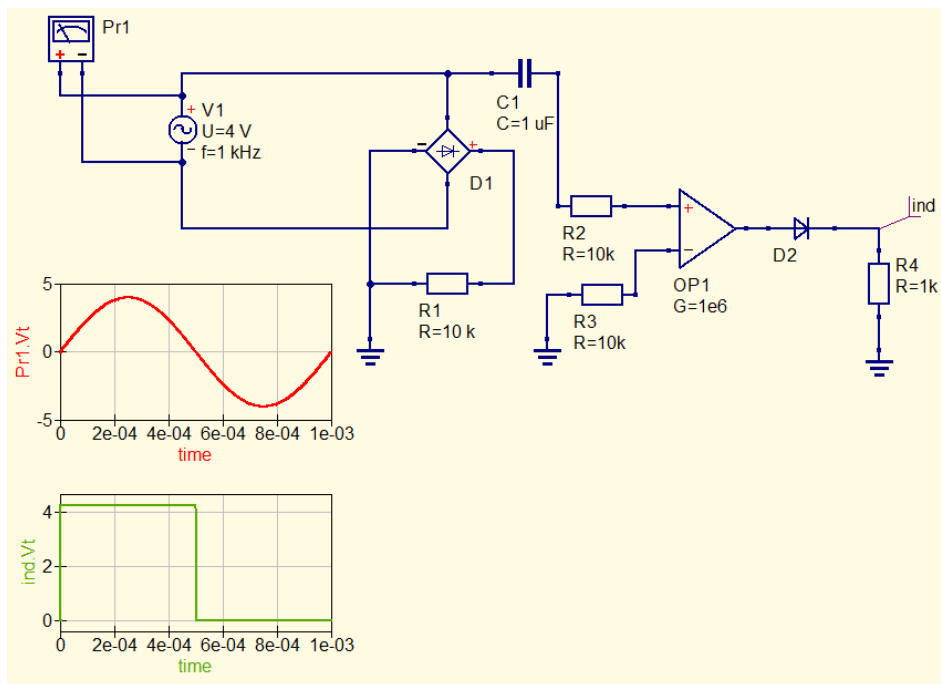


Рис. 3.3. Добавление индикатора полярности напряжения

С помощью индикатора можно определить полярность после измерения амплитуды (или перед измерением амплитуды).

Ещё один вариант измерения амплитуды сигнала – это заряд конденсатора до амплитудного значения.

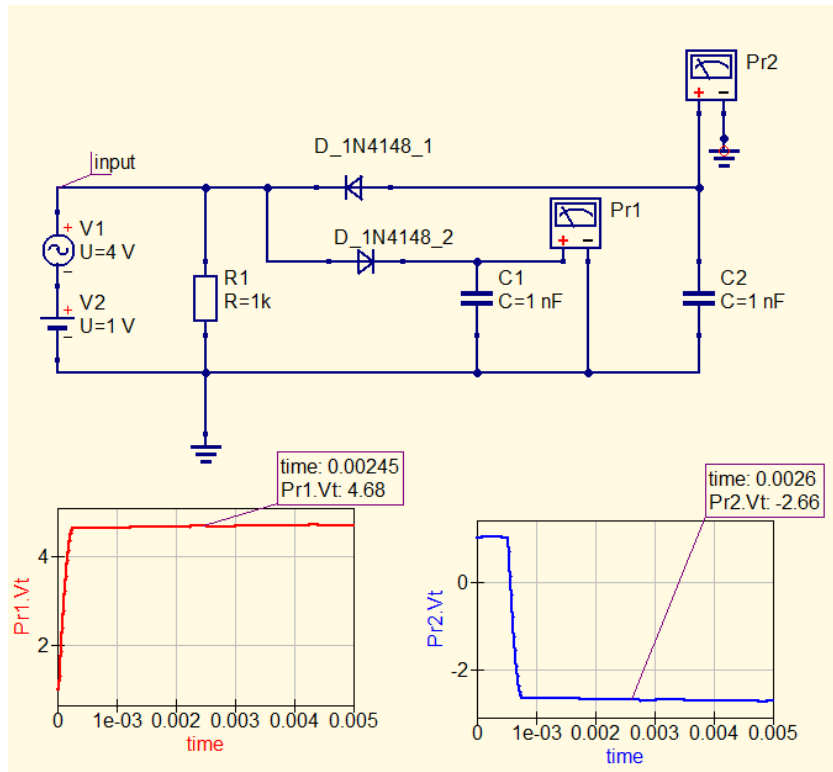


Рис. 3.4. Ещё один вариант измерения

В этом решении есть два негативных момента. Во-первых, напряжение на конденсаторе меньше амплитудного на величину падения напряжения на диоде (напряжение открывания, что имеет место и в предыдущих случаях). Это значение можно добавить программно. Во-вторых, для измерения амплитуды отрицательной полу волны потребуется инвертировать значение, например, с помощью операционного усилителя.

Если требуется более точное измерение амплитуды, то можно использовать электронный ключ вместо диода, что, несомненно, усложнит схему. Управлять ключом можно, например, с помощью схемы аналогичной индикатору полярности, показанному ранее. А можно рассмотреть схемы выпрямителей, дополненных операционным усилителем.

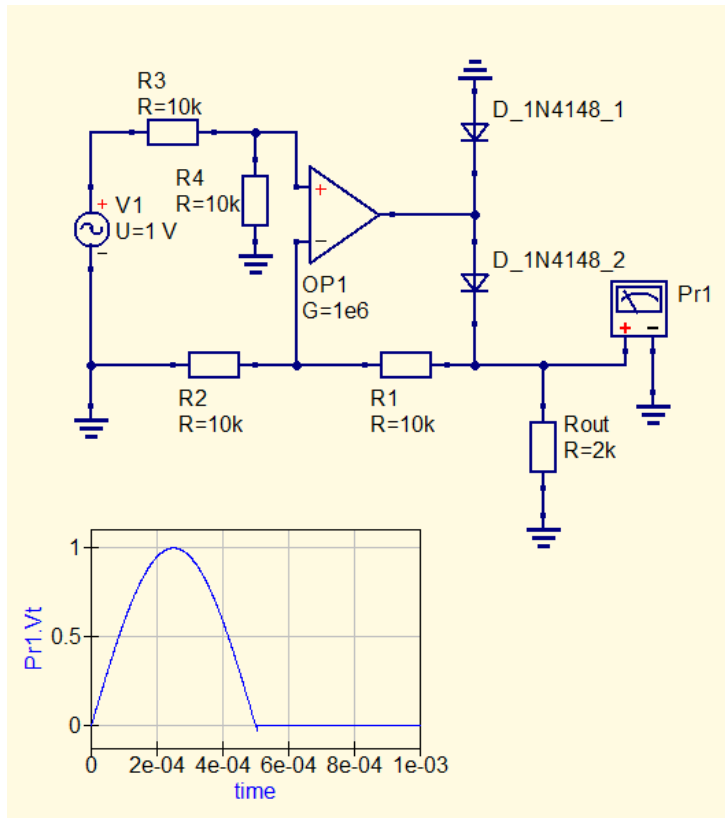


Рис. 3.5. Выпрямление с помощью ОУ

Наличие делителя R3R4 обусловлено тем, что коэффициент усиления равен 2 ($1+R1/R2$). Инвертирующий усилитель не потребует делителя.

Для измерения амплитуды второй полуволны достаточно перевернуть диоды D1D2 и инвертировать выходной сигнал.

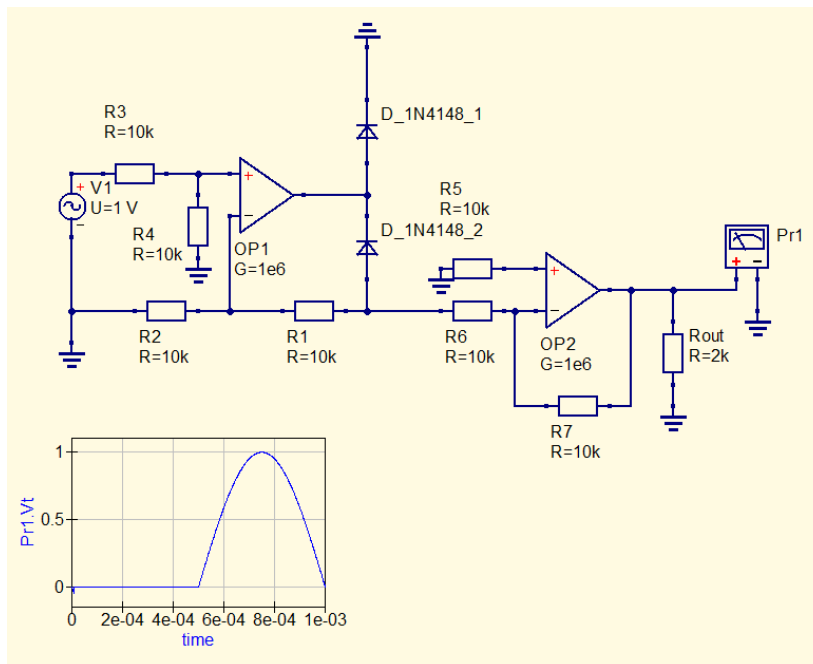


Рис. 3.6. Выпрямление отрицательной полуволны

При таком выпрямлении мы попутно определяем полярность сигнала. Если у вас хороший опыт сравнения результатов программного моделирования и макетирования, вы можете ограничиться выполнением всей схемы в программе моделирования, в противном случае вам лучше после работы с программой проверить всё на макетной плате.

Я считаю, что полезно и интересно самостоятельно находить решения, но это не отменяет и поиска готового решения. Иногда бывают очень простые и остроумные решения. Знать их тоже полезно.

54. программа для написания программы микроконтроллера и проверки работы устройства

Все производители микроконтроллеров стараются выпустить бесплатные версии сред разработки программ и проверки результата. Как правило, хотя сегодня могут быть исключения, эти среды разработки ориентированы на работу с ассемблером. Так производитель PIC-контроллеров давно выпускает программу MPLAB. Последняя версия MPLABX позволяет работать не только с ассемблером и компилятором для языка высокого уровня Си производства третьей стороны, но и предоставляет программу с собственным компилятором.

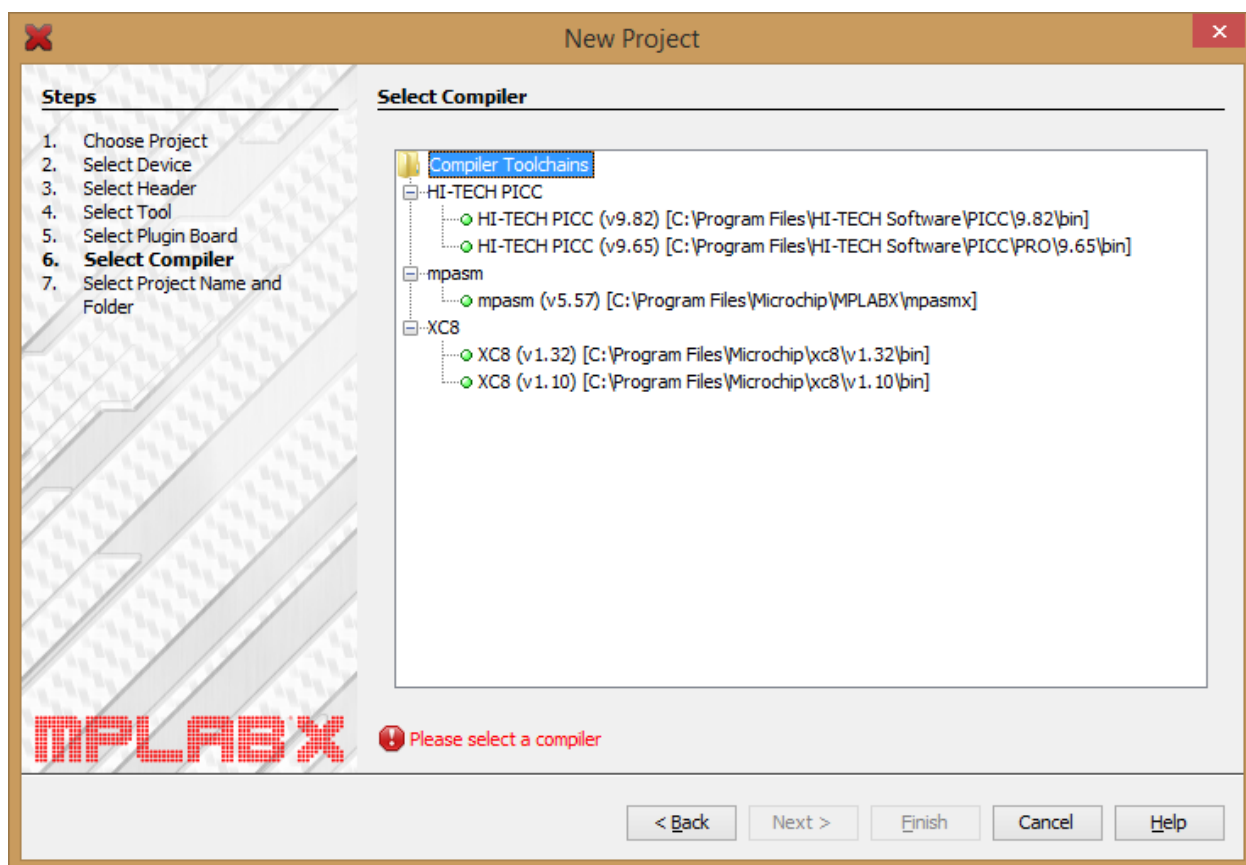


Рис. 4.1. Выбор языка программирования в MPLABX

Как и любая другая среда разработки программы, MPLABX имеет отладчик.

Для начинающих работать с языком Си для программирования микроконтроллеров можно посоветовать пользоваться средой разработки *miroC PRO*. Бесплатная версия программы имеет

ограничения, но имеет и ряд преимуществ – хорошую библиотеку и хорошую подсказку с примерами кода и схемой подключения.

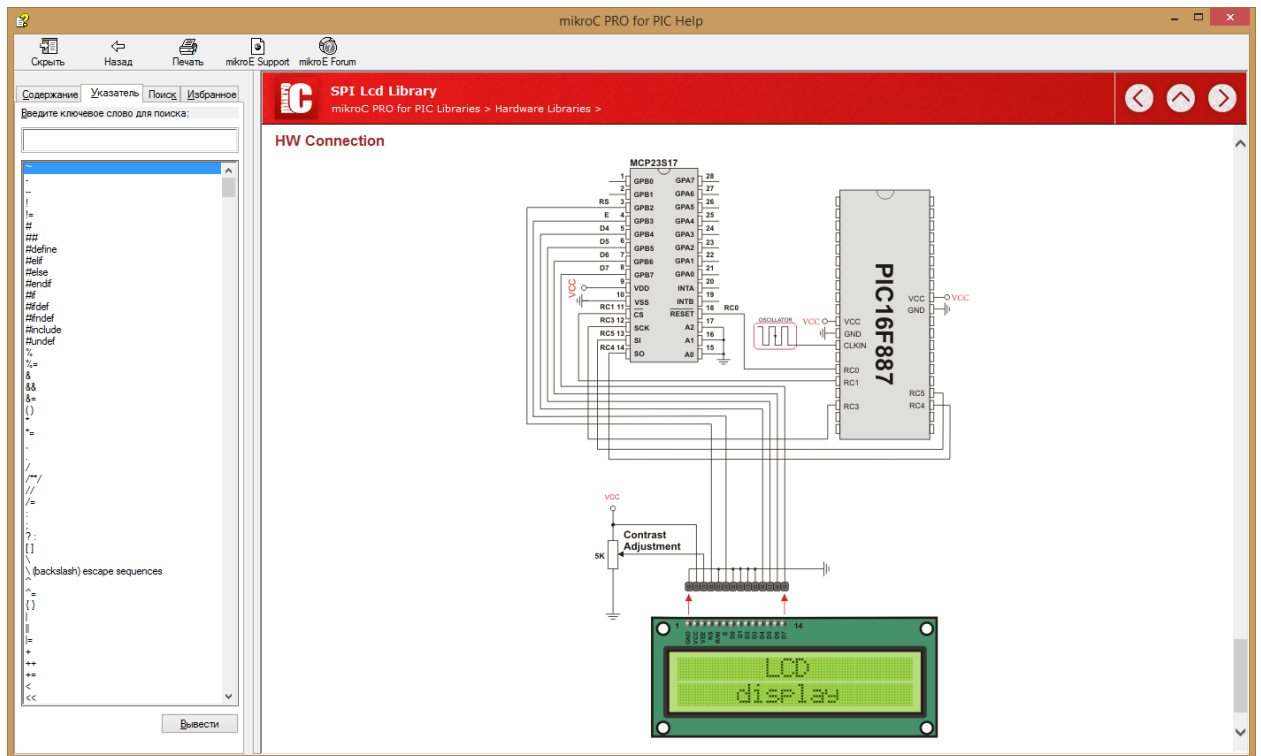


Рис. 4.2. Пример из подсказки mikroC

И, наконец, вы можете использовать графический язык программирования в программе Flowcode.

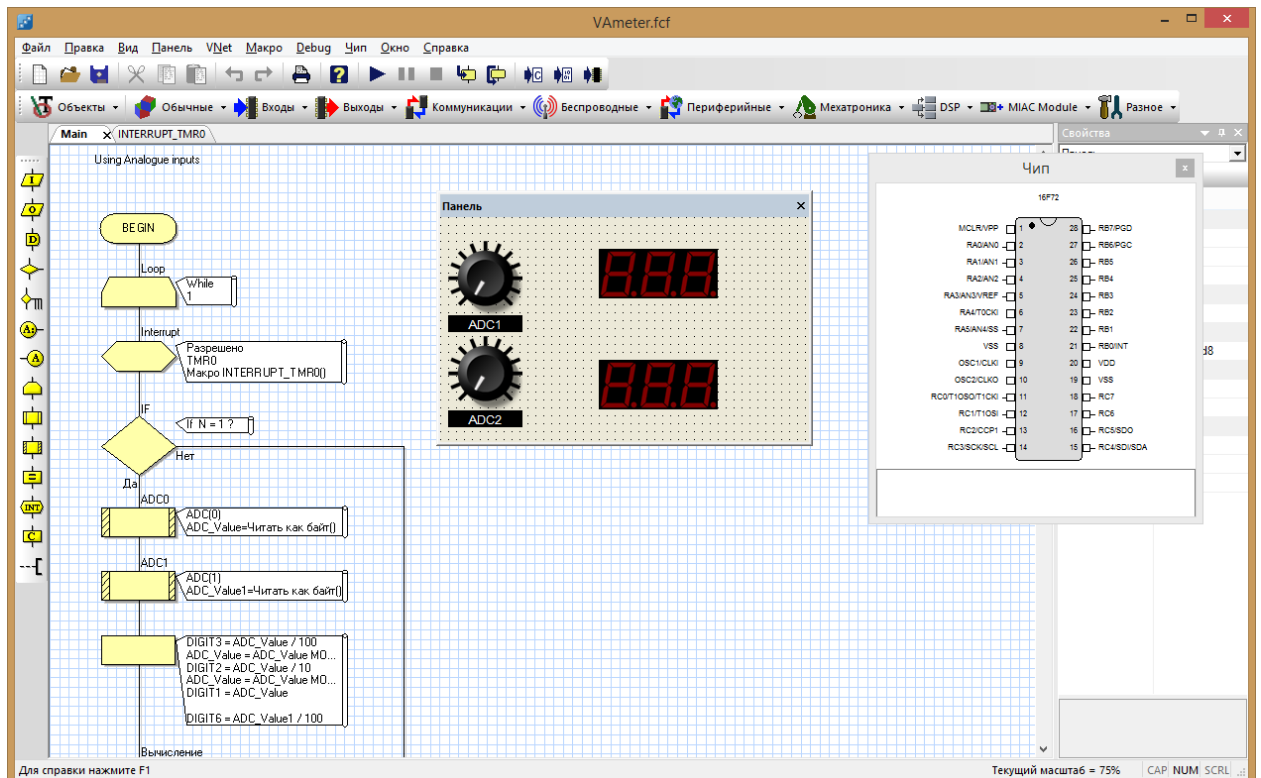


Рис. 4.3. Вид кода программы в среде разработки Flowcode

Хотя все среды разработки имеют встроенные отладчики, при наличии дополнительных элементов устройств удобно для отладки использовать программу Proteus (ISIS). Седьмая версия программы работает и в Windows, и в Linux в среде Wine.

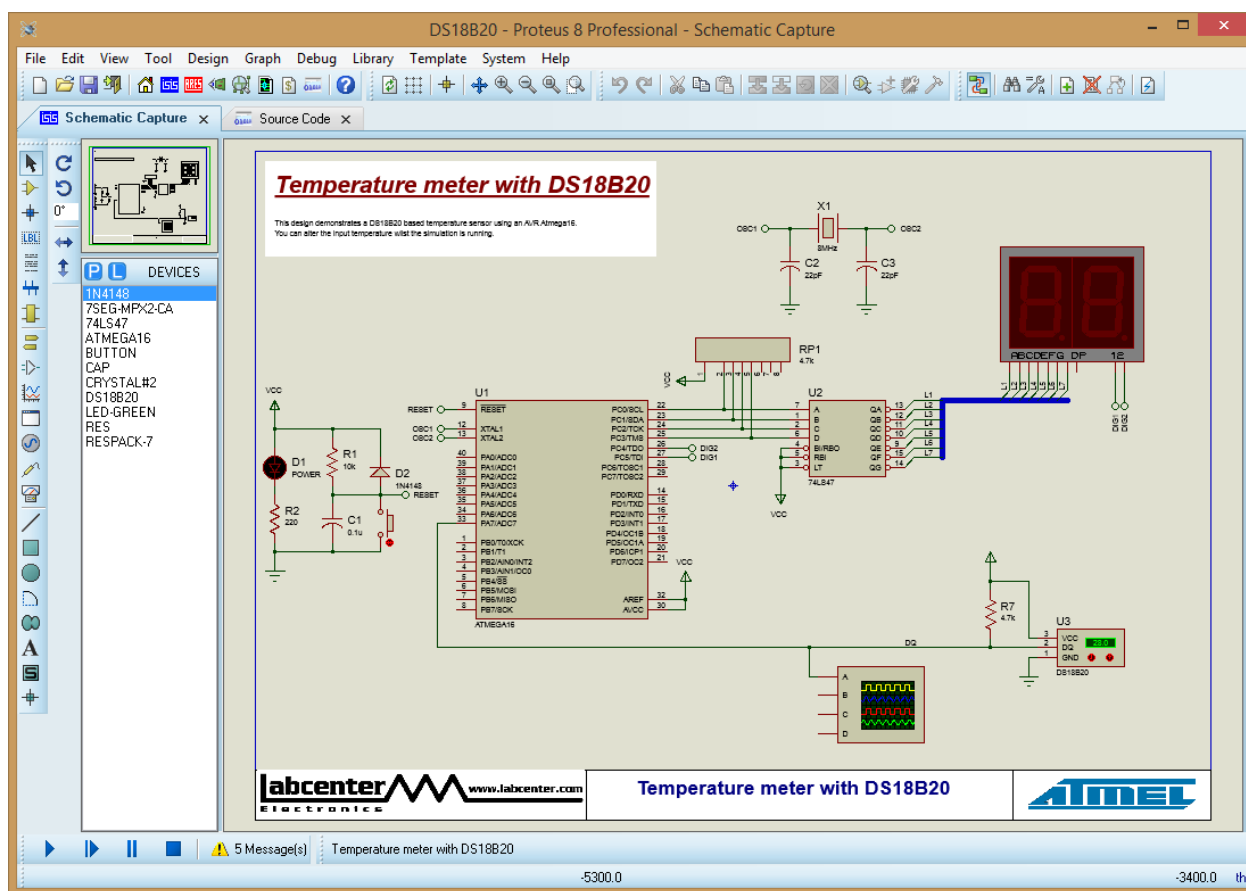


Рис. 4.4. Вид схемы на базе микроконтроллера в ISIS

Все дистрибутивы (или почти все) Linux имеют собственные среды разработки для наиболее популярных микроконтроллеров PIC и AVR. К слову, программа Flowcode имеет версии для этих микроконтроллеров, а при одинаковых возможностях моделей есть механизм импорта программ, написанных для одной модели, скажем PIC-контроллера, в среду разработки другой модели, то есть, AVR-контроллера. Последние имеют собственные среды разработки, такие как AVRStudio, WinAVR и т.д.

И нельзя не упомянуть ещё об одном проекте, который удобен для изучения микроконтроллеров. Это проект Arduino. Модуль, который можно купить, который стоит недорого, подключается к компьютеру через порт USB, что удобно при работе с ноутбуком. Модуль не только предназначен к обучению, но может стать сердцем весьма сложных устройств на базе микроконтроллера. Программирование, то есть, написание кода программы, происходит в среде Arduino, а модуль программируется из этой программы, имеющей богатую библиотеку примеров.

Проект Arduino активно поддерживается многими любителями, поэтому можно найти готовые решения, обсуждение проектов, примеры, которые не вошли в пакет установки программы. Более того, есть ряд программ, связанных с проектом и помогающих работать с модулем Arduino. Если вас заинтересовал проект Arduino, почитайте книги, посвящённые ему, или зайдите на сайты, связанные с проектом.

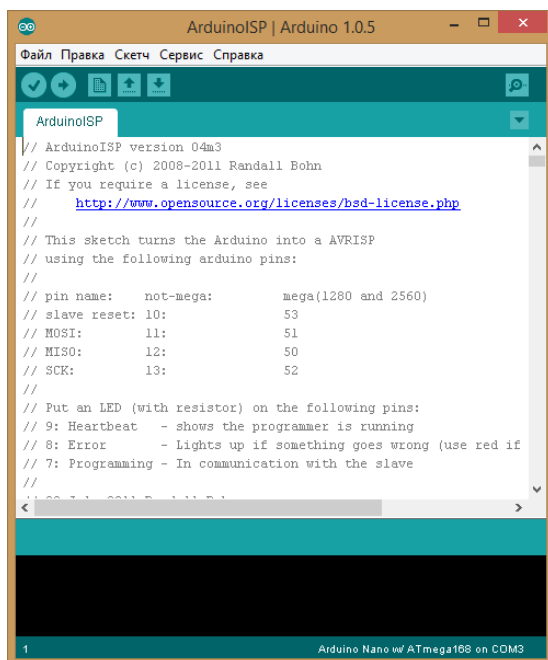


Рис. 4.5. Среда разработки Arduino

144. как сделать из постоянного тока переменный с помощью конденсатора 221. генератор прямоугольных импульсов ne555 multisim

Бывалые радиолюбители обычно против программ моделирования. С их опытной точки зрения начинающий должен выбрать готовую схему и постараться её собрать. Я не согласен с таким подходом. Прежде, чем браться за паяльник, следует внимательно разобраться со схемой, постараться понять работу всех функциональных узлов схемы, даже если схема очень проста. Иначе радиолюбитель плохо понимает основы работы электрической схемы, да и приборы для работы с любой схемой не всегда есть в распоряжении радиолюбителя.

Ответ на первый вопрос, заданный поисковику, выглядит так (хотя трудно сказать, что имелось в виду):

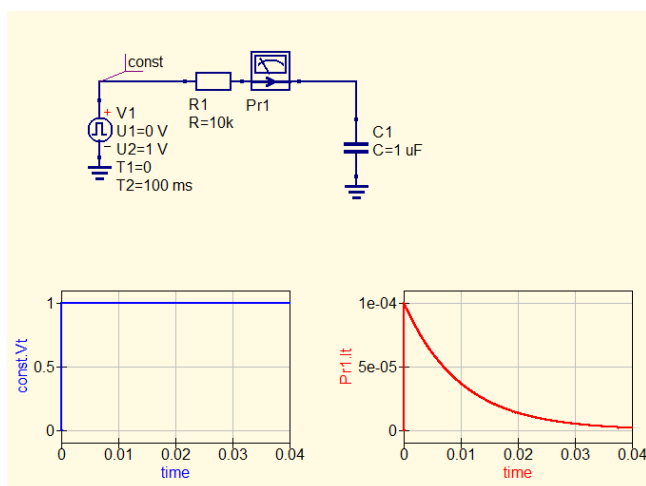


Рис. 5.1. Ток через конденсатор

В качестве источника постоянного тока V1 использован источник положительного импульса, но сделано это для удобства моделирования. При физической реализации его может заменить батарейка и выключатель. После включения питания через конденсатор протекает ток. По мере заряда конденсатора ток уменьшается. А переменный ток – это ток, который меняется по величине или направлению, или и по величине, и по направлению. В нашем случае ток меняется по величине.

Как правило, под источником переменного напряжения (или тока) подразумевается генератор, формирующий сигнал чаще синусоидальной или импульсной формы. Самый простой генератор импульсов прямоугольной формы можно собрать на микросхеме таймера 555. Об этом и второй вопрос.

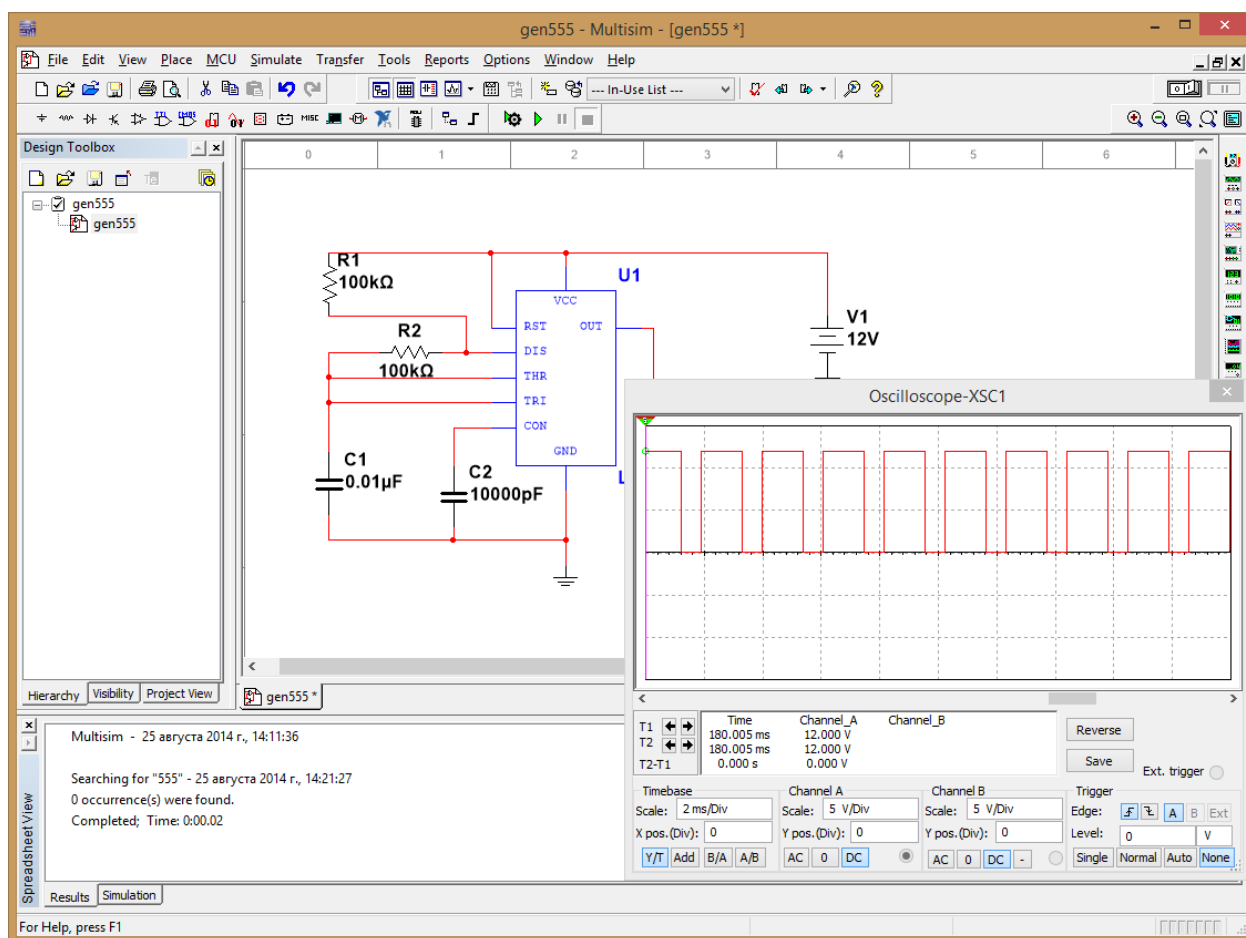


Рис. 5.2. Моделирование генератора импульсов на микросхеме таймера 555

Возможно, вопрошающего смутило то, что в программе Multisim нет микросхемы NE555. Однако есть микросхема LM555, что в данном случае не играет роли. Разные производители микросхемы дают ей разные названия. Не исключаю, что есть разница в каких-то параметрах, но в данном случае это неважно.

223. диод зенера, что это

В моём блоге этот запрос появляется особенно часто. Где-то, видимо, я приводил пример использования диода Зенера.

Дело в том, что все программы моделирования диодом Зенера называют стабилитрон.

При обратной полярности напряжения диоды имеют такой параметр, как предельно допустимое напряжение. Если напряжение превышает это значение, то ток через диод начинает лавинообразно возрастать, что приводит к выходу диода из строя. Вероятно, исследуя этот эффект, учёные пришли к мысли использовать его для стабилизации напряжения. Включая последовательно с диодом резистор, мы получаем на диоде почти постоянное напряжение, которое сохраняется при изменении входного напряжения и величины нагрузки в некоторых пределах.

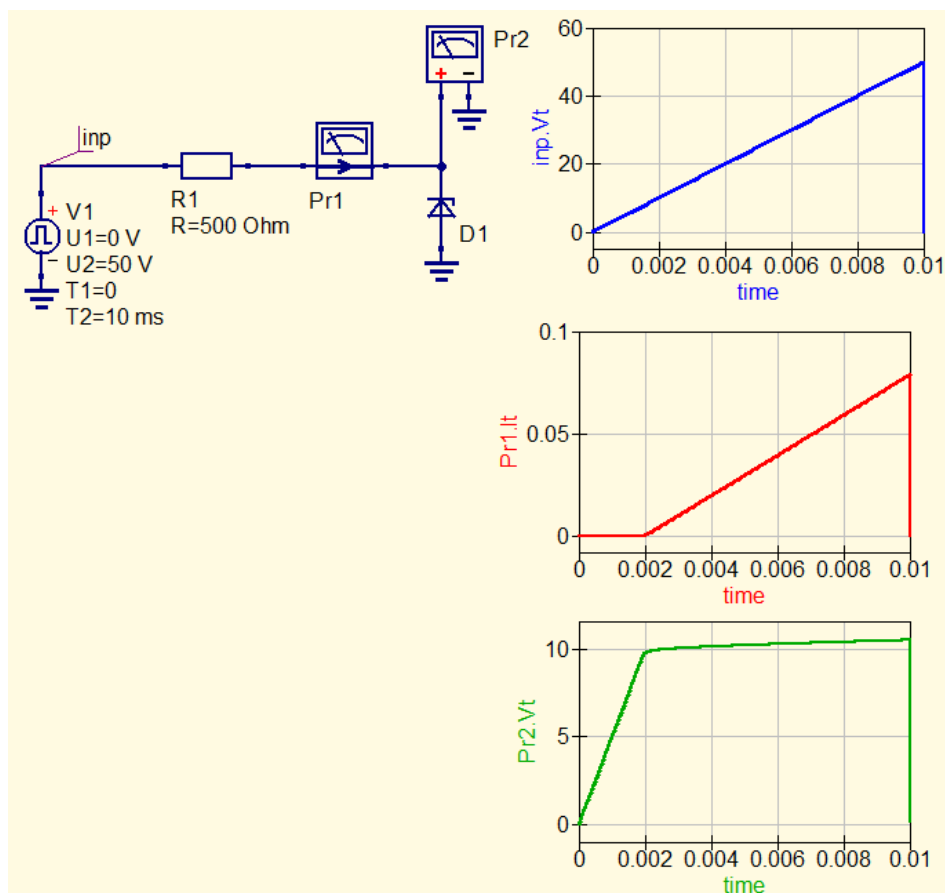


Рис. 6.1. Исследование диода Зенера в программе Qucs

На верхней диаграмме показано линейно нарастающее напряжение, генерируемое источником V1. Ниже показано, что при достижении напряжения источника 10 В ток через диод начинает расти. Поскольку напряжение пары R1D1 в сумме составляет величину напряжения источника, с ростом тока через диод начинает расти падение напряжения на резисторе. В итоге напряжение (нижняя диаграмма) на стабилитроне остаётся равным напряжению стабилизации.

Стабилитроны применяются и самостоятельно в качестве стабилизаторов напряжения, и служат вспомогательными элементами других схем стабилизаторов, а также служат источниками опорного напряжения в ряде схем. Вот, что такое диод Зенера.

225. 2n2222a каскад усилителя

Я не очень понимаю, чем отличается каскад усиления на транзисторе 2N2222a от аналогичного с другой моделью транзистора. Конечно, какие-то параметры каскада усиления будут различаться, это так, но и каскады могут быть разные: каскад усиления с общим эмиттером, каскад усиления с общим коллектором, каскодный усилитель и т.д.

Вместе с тем, я нахожу полезным в любой программе симуляции собрать простейший каскад усиления на транзисторе с общим эмиттером (часто встречающееся включение транзистора) и разобраться с тем, как рассчитать сопротивления резисторов, как влияет на частотные характеристики каскада замена одной модели транзистора на другую.

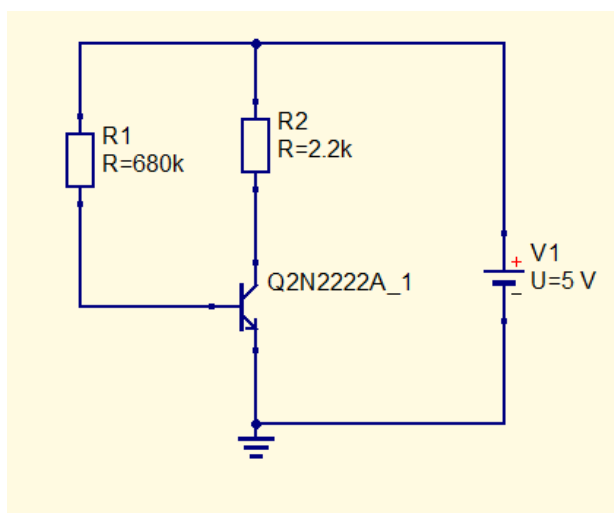


Рис. 7.1. Простейший каскад усиления на транзисторе

Для симметричного входного сигнала расчёт подобного усилителя несложен. Задаёмся током коллектора, например, 1 мА. Падение напряжения на транзисторе (напряжение на коллекторе) должно быть равно половине напряжения питания, то есть, 2,5 В. Таким образом, сопротивление в цепи коллектора выбираем 2,2 кОм (из ряда значений сопротивлений). Зная статический коэффициент усиления транзистора, определим базовый ток. Падение напряжения на резисторе в цепи базы будет на 0,5 В меньше напряжения питания. Напряжение на R1 и ток через него однозначно дадут значение сопротивления резистора. Осталось выбрать значение из ряда значений, собрать схему в программе симуляции и проверить, будет ли напряжение на коллекторе близко к требуемому значению.

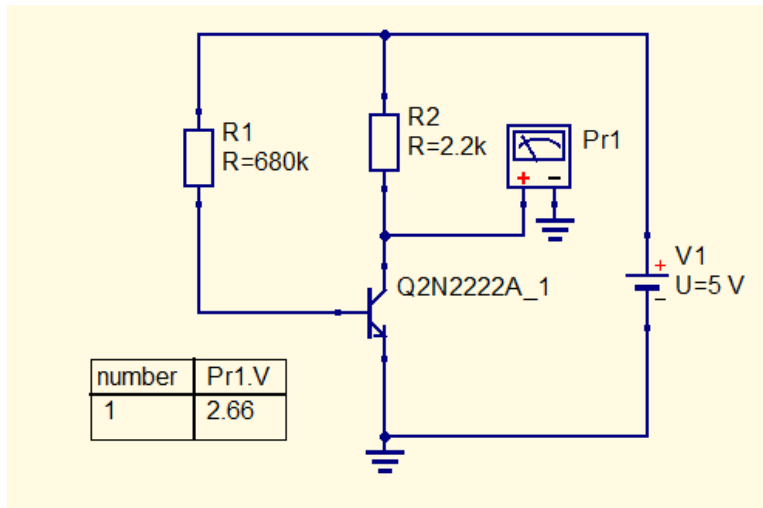


Рис. 7.2. Проверка полученных расчётов в программе Qucs

При необходимости можно уточнить падение напряжения база-эмиттер при заданном токе коллектора 1 мА. Для этого используем генератор линейно нарастающего напряжения.

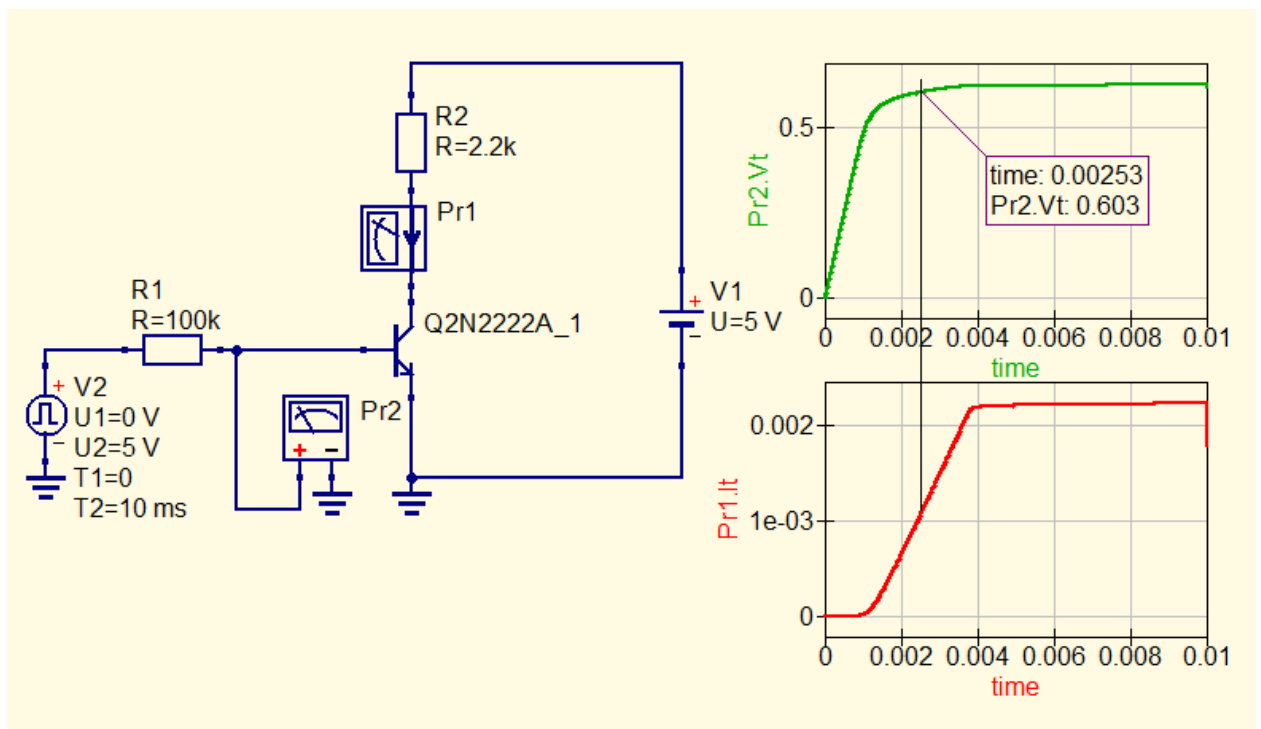


Рис. 7.3. Проверка напряжения на базе транзистора

Можно легко сравнить амплитудно-частотные характеристики этого каскада усиления при использовании разных моделей транзисторов.

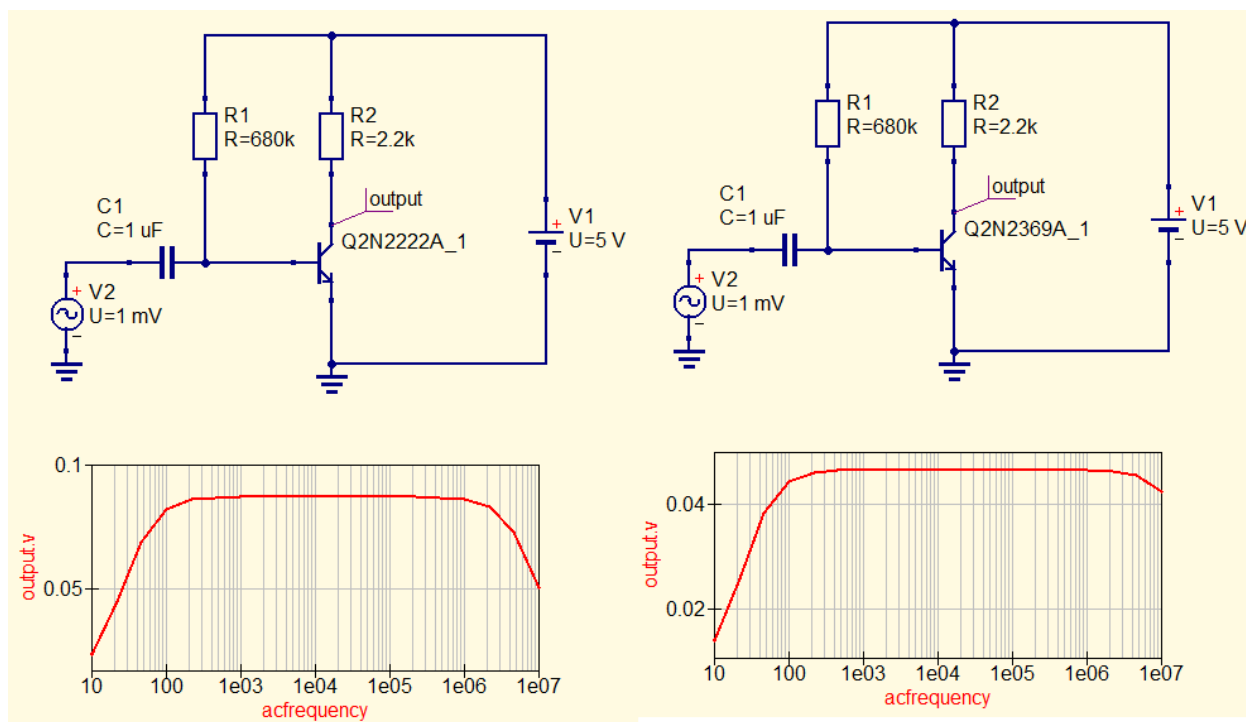


Рис. 7.4. Амплитудно-частотные характеристики разных моделей транзисторов

227. симулятор электрических аналоговых цепей 230. операционные усилители в multisim 247. как получить графики напряжений в мультисим 400. мостовой усилитель на lm358

Свои рассказы я иллюстрирую с помощью разных программ моделирования. Собственно, и рассказы-то больше об этих программах, о симуляторах электрических цепей.

Одной из первых программ, с которой я познакомился, была программа EWB512. Я не собирался поначалу заниматься проверкой работы схем, мне нужно было нарисовать синусоиду, а рисую я плохо, и программа позволила мне быстро нарисовать график. Попутно я обнаружил, что можно быстро и легко нарисовать схему несложного устройства. И не только, как оказалось, нарисовать.

Сегодня эта программа существует под именем Multisim. И, обращаясь ко второму вопросу, программа имеет много моделей операционных усилителей. Достаточно в основном меню обратиться к разделу Place->Component, чтобы открыть выпадающий список Group, где в разделе аналоговых устройств должны быть и операционные усилители.

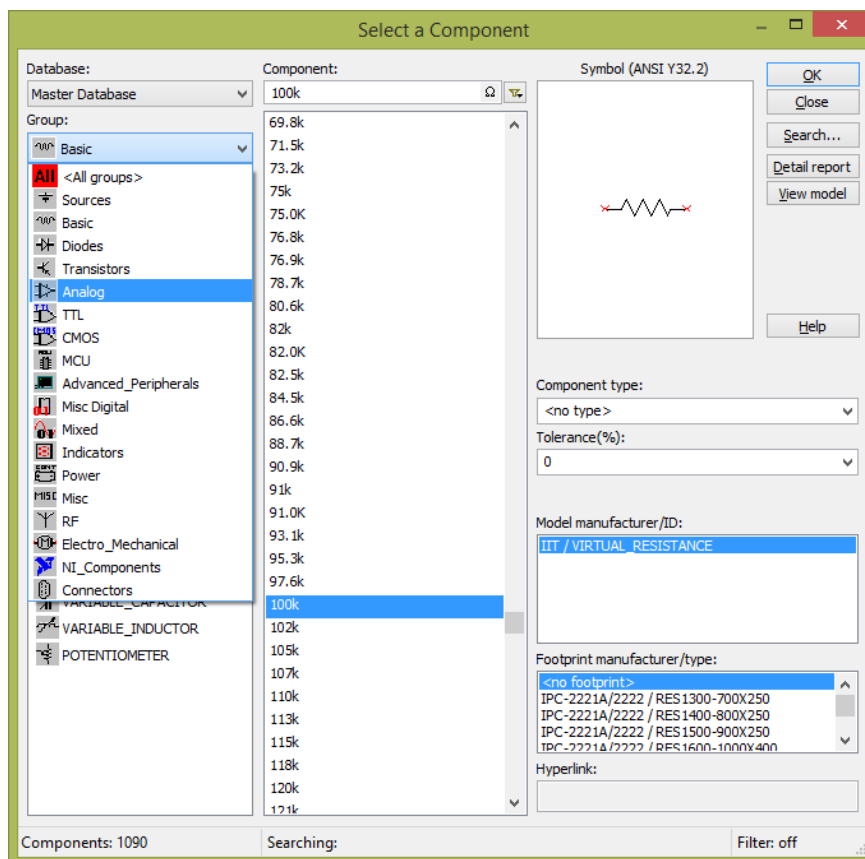


Рис. 8.1. Менеджер элементов программы Multisim

Список моделей операционных усилителей, в чём можно убедиться выбрав OPAMP, очень велик.

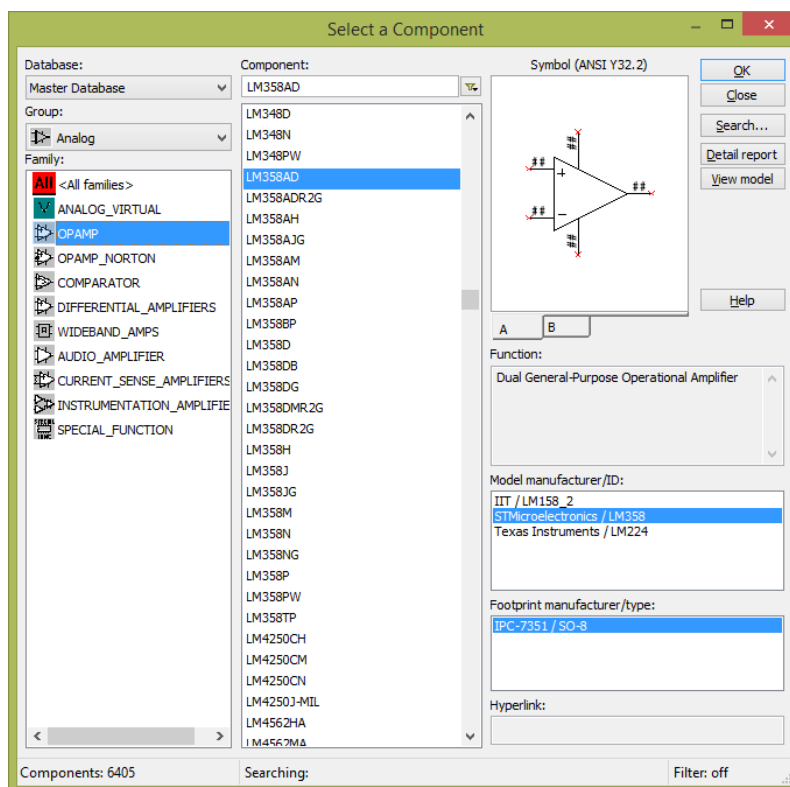


Рис. 8.2. Часть списка моделей операционных усилителей в Multisim

Я выбрал модель LM358, поскольку к этой модели относится один из вопросов. После выбора нужной модели достаточно использовать кнопку **ОК**, чтобы попасть в рабочее поле симулятора, где и вставить графическое изображение операционного усилителя. Если добавить ещё несколько компонентов, то можно приблизиться к ответу на последний вопрос о мостовом усилителе.

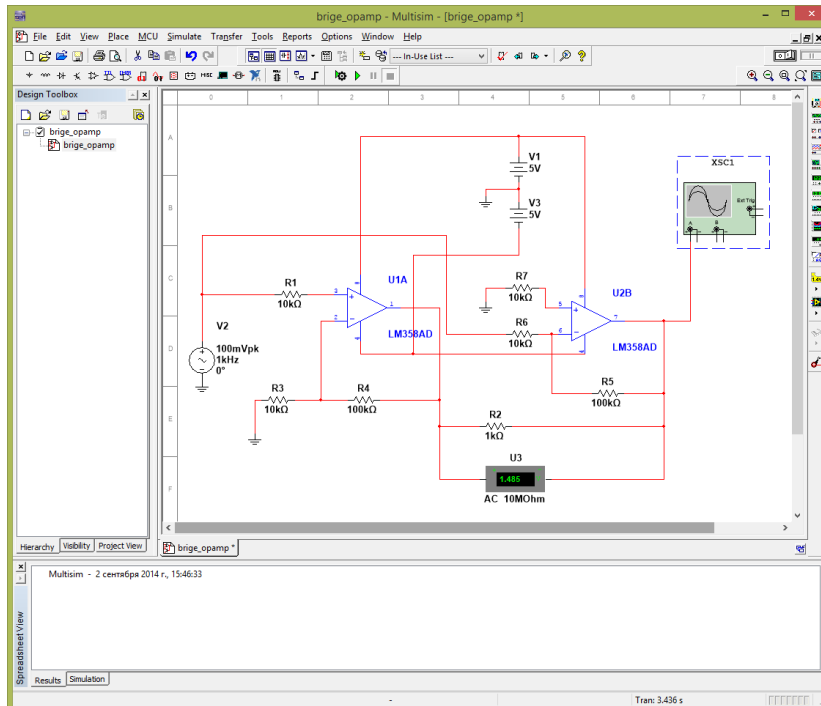


Рис. 8.3. Мостовой усилитель на микросхеме LM358

Рисунок схемы не самый удачный. Но его можно перерисовать, используя графические возможности программы. Но нас сейчас интересует другой вопрос – как получить графики напряжений. Добавим к схеме осциллограф, запустим симуляцию. Двойным щелчком по изображению осциллографа откроем его вид, и получим график напряжения на выходе ОУ.

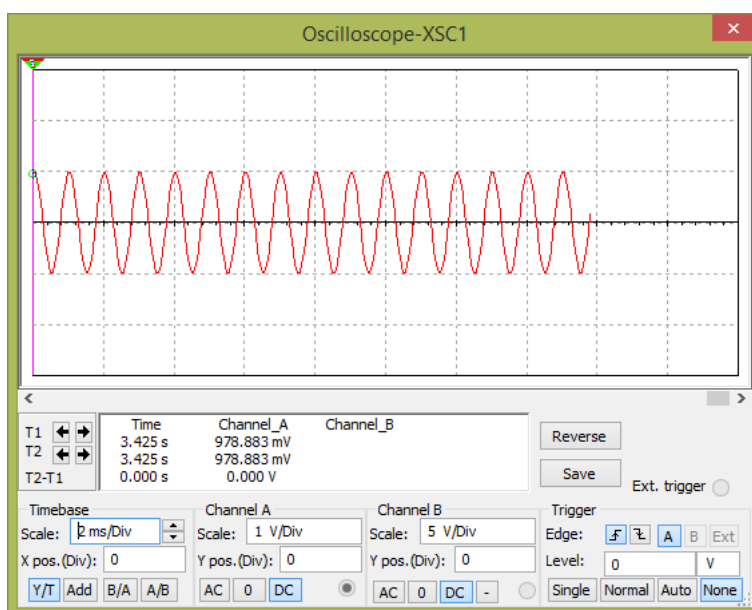


Рис. 8.4. Выходное напряжение на экране осциллографа

Если нам удобнее работать с графиком, то можно воспользоваться разделом View->Grapher основного меню. Мы получим изображение в виде графика, с которым (если его настроить) гораздо удобнее работать.

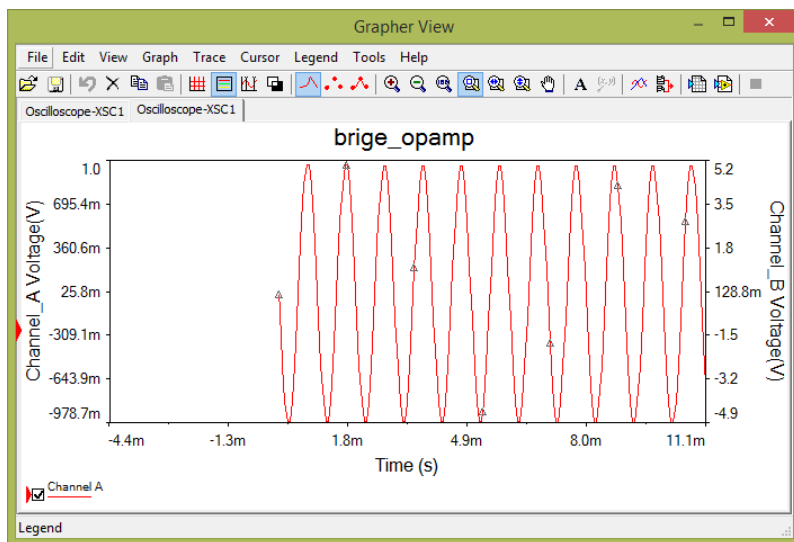


Рис. 8.5. График напряжения, зафиксированный с помощью осциллографа

Есть небольшая проблема, которую я не знаю, как можно обойти. Напряжение на экране осциллографа – это напряжение на выходе U2B относительно общего провода. А нагрузка R2 включена между выходами двух операционных усилителей.

Признаться, мне не всегда удаётся разобраться с подобными проблемами, читая руководство к программе. В этом случае я часто прибегаю к помощи другой программы. Например, я часто использую программу Qucs. Она хорошо работает и с аналоговыми, и цифровыми электрическими цепями. Тем более, что первый вопрос подразумевал нечто похожее на обзор нескольких программ симуляции.

Для рассказа обо всех программах моделирования работы электрических цепей, с которыми я немного знаком, потребуется места больше, чем я планирую для этой истории. Но все книги, написанные мной, это рассказы о подобных программах. Если вас интересует, обратитесь к книгам, например, у В. Володина хороший рассказ о программе SwCAD, у Амелиных рассказ о программе Micro-Cap.

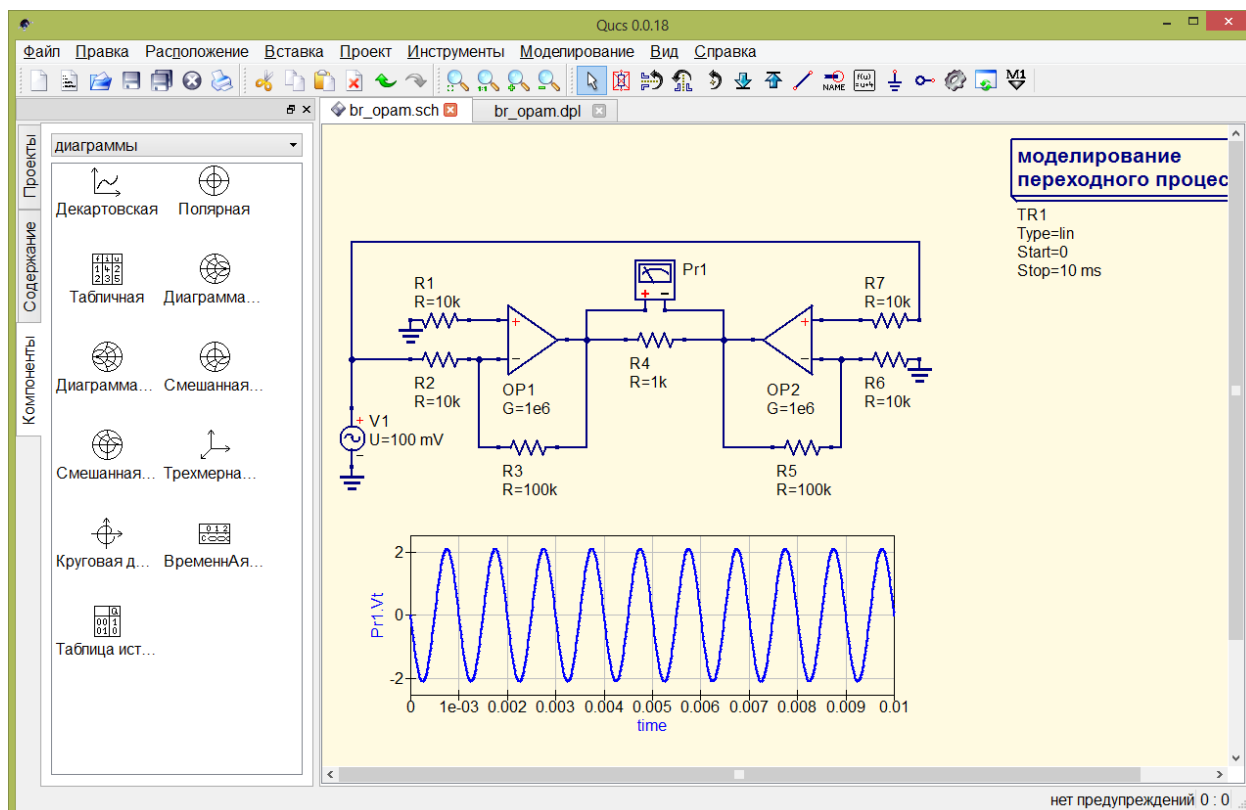


Рис. 8.6. Симуляция мостового усилителя в программе Qucs

В этой программе для отображения напряжения на нагрузке R4 используется измеритель напряжения, а при создании графика напряжения можно заказать напряжение, измеряемое этим прибором. Рисуя схему, я постарался придать ей вид, который она должна иметь и в предыдущем случае. А результат измерения показывает то преимущество мостового усилителя, ради которого есть смысл собирать подобную схему. Амплитуда напряжения в нагрузке вдвое выше, чем мы получили с помощью осциллографа ранее.

Я не призываю вас к бесконечной смене программ с поводом или без него. Более того, я советую пользоваться одной программой, сравнивая полученные результаты с теми, что даёт работа на макетной плате. Со временем вы поймёте, в какой мере вы можете доверять результатам моделирования. Прыгая от программы к программе этого не получишь.

Есть много других программ, часть из них я упоминал, отвечая на другие вопросы. О части программ я рассказывал в других историях. Любая программа моделирования станет хорошим инструментом и верным помощником, если вы потратите некоторое время на освоение программы и на соотнесение полученных результатов с макетированием. Особенно, когда результаты разнятся. Выяснение причин очень часто даёт новые знания о предмете или указывает на ошибки, которые остались незамеченными.

Заключение

Проводя свои исследования, далеко не все любители имеют в лаборатории все необходимые приборы. Между тем у многих есть компьютеры. А программы моделирования, пусть и не последних версий, неплохой инструмент для проверки своих идей и разрешения возникающих трудностей. Не всегда удаётся получить исчерпывающий ответ, но чем меньше остаётся вопросов, тем плодотворнее творчество.