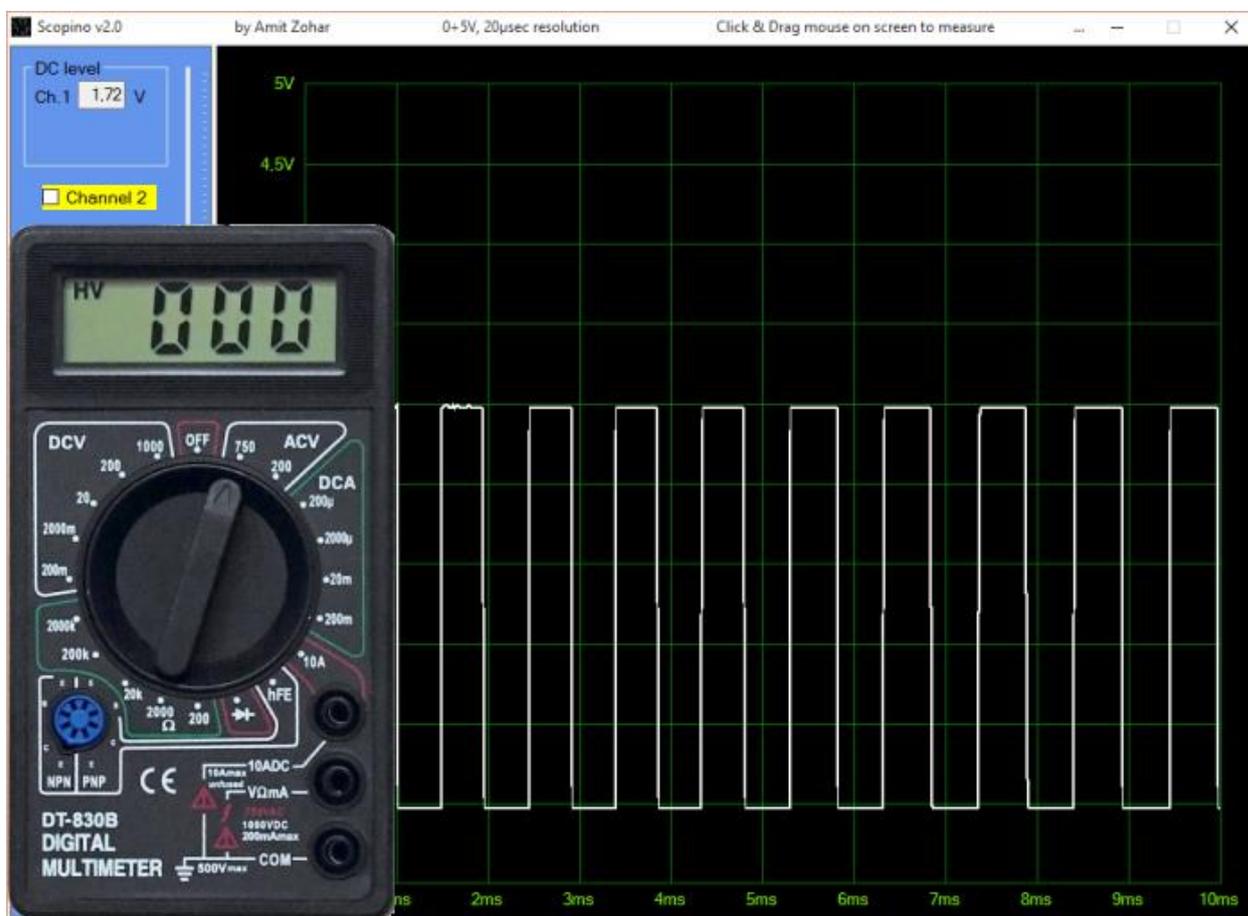


В.Н. Гололобов

## Для самых начинающих

### История 1. Самый дешёвый мультиметр



Москва - 2016

## Оглавление

Глава 1. С чего бы я начал своё увлечение электроникой? .....	4
Опыт первый: закон Ома .....	5
Опыт второй: законы Кирхгофа .....	7
Полезные советы .....	9
Глава 2. Переменный ток .....	9
Опыт первый. Заряд конденсатора .....	10
Опыт второй: реакция конденсатора на переменное напряжение .....	11
Глава 3. Транзистор .....	13
Опыт первый: определение коэффициента В .....	14
Опыт второй: рабочая точка транзистора .....	15
Полезные советы .....	16
Глава 4. Диод .....	17
Полезные советы .....	18
Глава 5. Усиление .....	19
Замечания к проведённым опытам .....	22
Продолжим рассмотрение усиления .....	22
Глава 6. Некоторые важные параметры усилителя .....	23
Замечания к рассказу о параметрах усилителя .....	25
Глава 7. Ещё немного об усилителях .....	25
Пояснения к опытам .....	26
Глава 8. Микросхемы .....	28
Операционный усилитель .....	29
Опыт первый: отрицательная обратная связь для ОУ .....	29
Опыт второй: усиление .....	30
Цифровые микросхемы .....	33
Микросхемы смешанного типа .....	34
Глава 9. Индуктивность и немного о фильтрах .....	36
Глава 10. Микроконтроллеры .....	39
Глава 11. Генератор сигналов с модулем Arduino .....	40
Опыт первый: генератор импульсов с программой в среде Arduino .....	41
Опыт второй: генератор в среде программирования FLProg .....	44
Опыт третий: генератор с изменяющейся частотой .....	44
Опыт четвёртый: аналоговый вход .....	47

Глава 12. Arduino и осциллограф .....	48
Послесловие.....	51

**Для заметок:**

Каждый, кто делает первые шаги в электронике, предпочитает собрать робота или что-то не менее «значимое». Сегодня для начинающих есть много конструкторов, которые позволят осуществить эту мечту. Но, как правило, собрав из готовых деталей сложное устройство, если сделать это без ошибок, через некоторое время начинаешь понимать, что радость от обладания этим чудом прошла, а осталось... а осталось «ничего». Тогда-то и стоит задуматься над вопросом: с чего и как начать своё движение в мир электроники.

Авторы хороших книг часто в предисловии указывают, для кого и для чего написана книга. Не хочу этого делать, но советую пролистать книгу до конца, чтобы определиться, интересна ли она вам, хотите ли вы проделать описанные здесь эксперименты, а, если хотите, то составьте список всех нужных компонентов и приборов, купите или закажите их, а, получив, приступайте к чтению. А если рассказ вам не понравился или бесполезен вам, выбросьте его.

## Глава 1. С чего бы я начал своё увлечение электроникой?

С самых простых вещей. Есть закон Ома, есть законы Кирхгоффа. Они достаточно понятны, но их следует постоянно помнить. И в этом помогут самые простые опыты.

Сегодня есть программа моделирования электрических цепей, которая доступна для радиолюбителей. Называется программа QucsStudio. Её можно загрузить с сайта создателя программы: <http://dd6um.darc.de/QucsStudio/qucsstudio.html>

Все простые опыты мы сделаем в этой программе (если вам больше нравится другая, то используйте её), а затем повторим их на беспаячной макетной плате. Для проверки на макетной плате нам потребуется мультиметр. Когда-то его место занимал стрелочный тестер. Он и сегодня прекрасно подойдёт для любительской работы, но проще купить хотя бы самый дешёвый мультиметр. Самый дешёвый мультиметр на Алиэкспресс стоит около 260 руб., за те же деньги, если поискать, вы можете найти прибор и ваших краях. Не следует думать, что такой дешёвый прибор будет плохим подспорьем в вашей работе. Это не так. Современные мультиметры имеют прекрасные характеристики и позволяют вам проводить почти все необходимые измерения.



Рис. 1.1. Самый простой мультиметр

Посмотрите на переключатель мультиметра. Для измерений вам следует повернуть его к нужному режиму и пределу измерений. Но что предлагается измерять?

Основные электрические параметры. Это напряжение, ток и сопротивление. Для наших опытов потребуется измерение постоянного тока и напряжения постоянного тока.

Как вы видите, всё это прибор обеспечивает в полной мере.

**Опыт первый: закон Ома.**

Для участка цепи есть простая алгебраическая форма этого закона, который можно записать в разном виде. Например, вы можете запомнить его в таком:

$$I = U/R, \text{ то есть, ток равен напряжению, делённому на сопротивление.}$$

В каждой замкнутой электрической цепи протекает ток под действием электродвижущей силы. В качестве электродвижущей силы выступает её источник: батарейка, аккумулятор или блок питания. Каждая электрическая цепь состоит из радиоэлементов и медных проводников, соединяющих их. И радиоэлементы, и проводники оказывают сопротивление протеканию электрического тока. Поэтому на них образуется падение напряжения (для простоты его называют напряжением). Все эти процессы и связывает закон Ома.

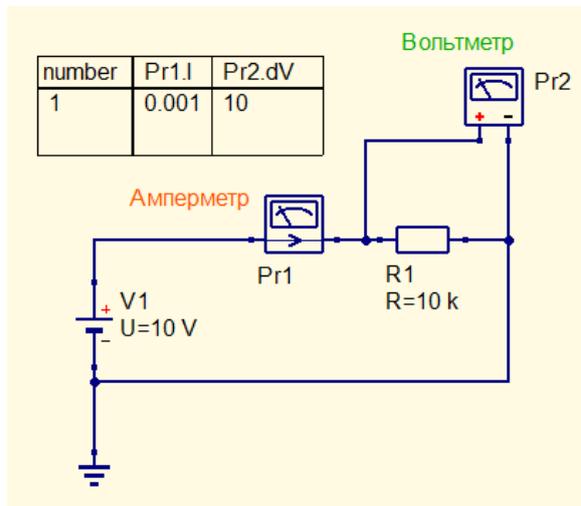


Схема состоит из источника напряжения, точнее, ЭДС (электродвижущей силы), измерителя тока – амперметра, измерителя падения напряжения – вольтметра, и резистора, по которому протекает постоянный ток, измеряемый амперметром, и на котором возникает падение напряжения, измеряемое вольтметром. Показания амперметра и вольтметра в таблице. В нижней части схемы есть обозначение для общего провода, который называют «земля».

Рис. 1.2. Схема первого опыта

Электрический ток в электрических цепях, как правило, это поток электронов. Не следует думать, что постоянный ток – это дружное движение электронов от одного электрода источника ЭДС к другому; движение довольно хаотичное, но в целом его можно в проводниках назвать дружным. В технике принято считать направление тока от плюса к минусу. Основные единицы для тока – Ампер, для напряжения – Вольт, для сопротивления – Ом. Все они названы именами выдающихся учёных, много сделавших для электротехники, собственно, для нас, чтобы мы сегодня могли слушать музыку, смотреть телевизор или работать за компьютером.

Кроме основных единиц есть их производные, в тысячу раз большие имеют приставку «кило». Так сопротивление R1 это десять килоом, то есть, десять тысяч Ом. А ток, измеряемый Pr1, 0.001 А, можно иначе назвать одним миллиампером (милли – это в тысячу раз меньше).

$$\text{И закон Ома для нашей цепи: } I = 10\text{В}/10000\text{Ом} = 0.001\text{А.}$$

Теперь повторим этот опыт «живьём», используя то, что есть. У меня есть батарейка «Крона» и резистор сопротивлением 10 кОм. Включим мультиметр на измерение тока, выбрав с помощью переключателя предел 2000 мкА (две тысячи микроампер, или два миллиампера). Проведём это измерение, как показано выше, где ток измеряется прибором Pr1.



Рис. 1.3. Измерение тока и напряжения мультиметром

Заметьте, что при измерении тока красный кабель мультиметра подключается к положительному выводу батарейки, а чёрный, включенный в гнездо «COM», к резистору. Подключать мультиметр лучше тогда, когда вы выставили нужное положение переключателя и подготовили остальную часть схемы. Если есть сомнения в правильности выбора диапазона измерения, лучше начать с максимального значения (для данного мультиметра это 10А, но кабель следует переключить в другое гнездо, помеченное как 10А).

Проведя эти измерения, мы можем по закону Ома определить величину сопротивления:  $R = U/I$ . В нашем случае:  $9.19\text{В}/0.000886\text{А} = 10372.5 \text{ Ом}$ .

Что не так? Маркировка на резисторе указывает, что сопротивление 10 кОм = 10000 Ом. Разница составляет 372.5 Ом.

Во-первых, маркировка указывает номинальное значение, за которым следует допуск – допустимое отклонение от номинала. То есть, в пределах указанного отклонения от 10 кОм резистор остаётся «правильным резистором». На прежних резисторах надпись делали обычным шрифтом, в последнее время чаще используют цветовую маркировку резисторов, где последняя цветовая полоска указывает допуск. В данном случае (разглядеть это на рисунке сложно) последняя полоска коричневая, а такой цвет полоски означает, что допустимое отклонение 1%. То есть, наше сопротивление можно записать так:  $10000 \pm 100 \text{ Ом}$ . Я могу проверить величину сопротивления мультиметром с очень хорошими показателями точности.

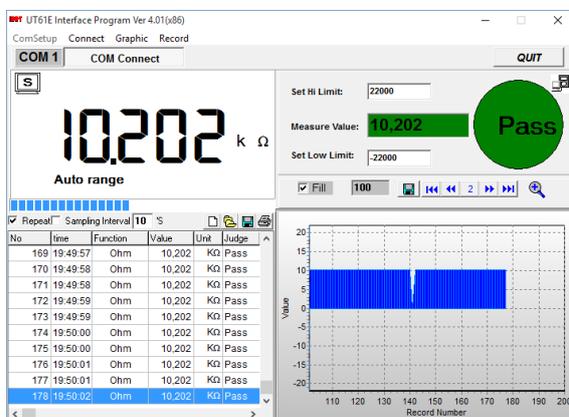


Рис. 1.4. Измерение сопротивления мультиметром с повышенной точностью

Резистор имеет отклонение больше указанного, бывает и такое, но остаётся ещё 170 Ом ( $372 - 202 = 170$ ).

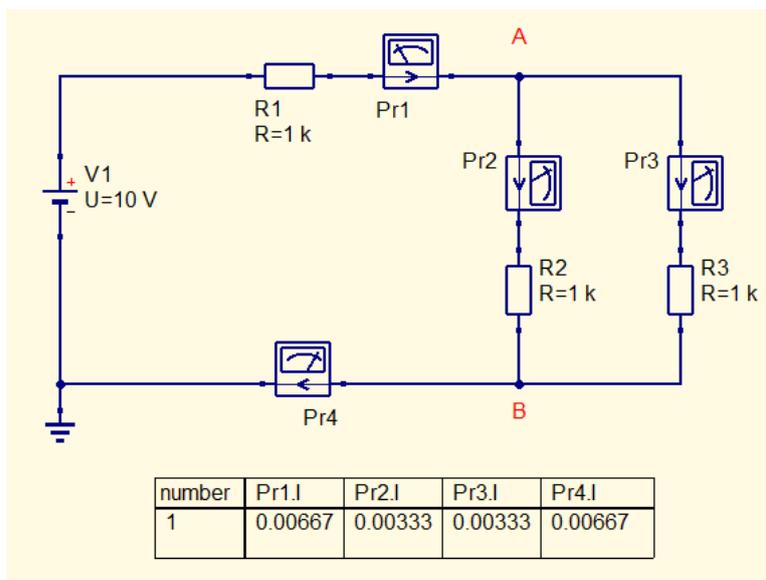
При моделировании мы использовали идеальный амперметр, внутреннее сопротивление которого равно нулю. Реальный амперметр имеет некоторое внутреннее сопротивление, которое и добавится к сопротивлению, измеренному нами в опыте. Это сопротивление равно 110 Ом.

Оставшиеся 60 Ом... давайте определим, какой процент от 10 202 Ом составляют эти 60 Ом. Не более 0.6%. Но наш мультиметр измеряет постоянный ток (загляните в его паспорт) с точностью 1%, а постоянное напряжение с точностью 0.5%. Они, скорее всего, и ответственны за оставшиеся 0.6% ошибки.

На практике вам редко потребуются измерения такой точности, но мне хотелось рассказать о том, что любые измерения, которые вы выполняете, имеют определённую точность. Если при измерении вы получили то, что вас смущает, постарайтесь разобраться в том, как проходит измерение. И ещё, ваш дешёвый мультиметр показывает очень хорошую точность, которая вам редко понадобится на практике.

### Опыт второй: законы Кирхгофа

Есть два закона Кирхгофа, один касается токов, другой напряжений. Рассмотрим такую схему:



Ток от положительного электрода батарейки V1 проходит через Pr1 и в точке A разветвляется. Одна часть тока протекает через Pr2, другая через Pr3.

В точке B ветви объединяются, токи складываются и протекают через прибор Pr4.

Рис. 1.5. Измерение токов в разветвляющейся цепи

Этот опыт показывает, что электрический ток, протекая по ветвям схемы, никуда не исчезает. Если в точке A он разделяется на две ветви, то сумма токов остаётся равной входящему в точку ветвления току. Вот более точная формулировка, которую можно найти в Wiki:

Первое правило Кирхгофа гласит, что алгебраическая сумма токов в каждом узле любой цепи равна нулю.

Видоизменим нашу схему.

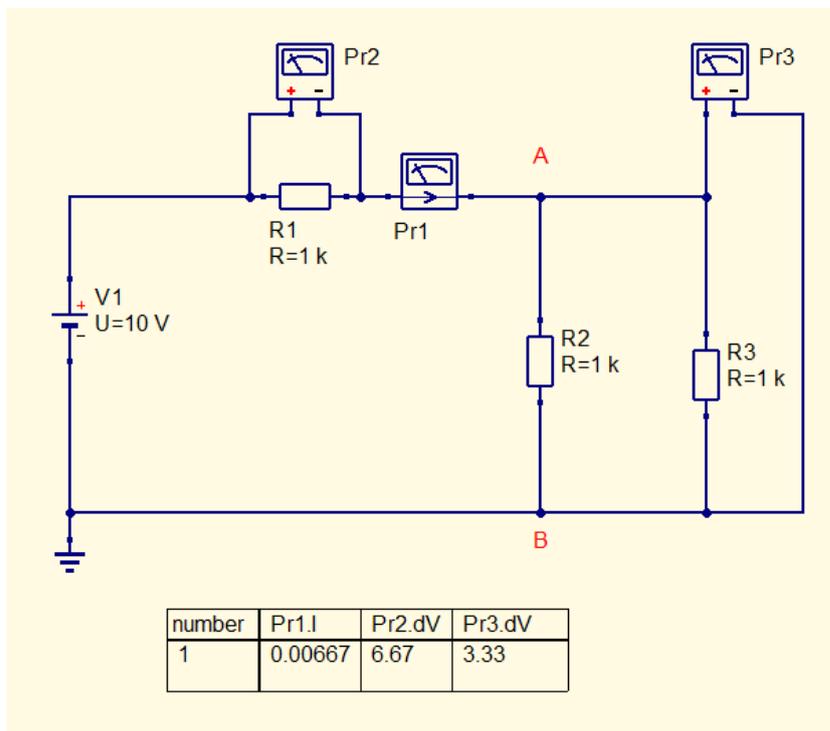


Рис. 1.6. Измерение падений напряжения в схеме

Вольтметры Pr2 и Pr3 измеряют падение напряжения по контуру электрической цепи. Сложив эти падения напряжения, можно убедиться, что они равны величине ЭДС источника V1. Это и утверждает закон Кирхгофа. Вот, как это определено в Wiki:

Второе правило Кирхгофа (правило напряжений Кирхгофа) гласит, что алгебраическая сумма падений напряжений на всех ветвях, принадлежащих любому замкнутому контуру цепи, равна алгебраической сумме ЭДС ветвей этого контура.

Проводя эти опыты, следует воспользоваться макетной платой.

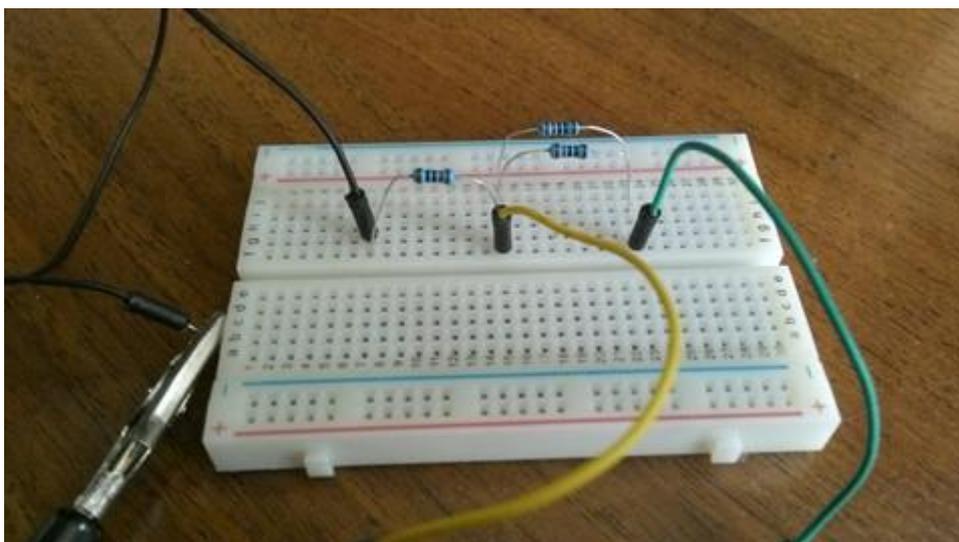


Рис. 1.7. Макетная плата для проведения опытов

В примерах использованы одинаковые значения сопротивлений. Проводя опыты на макетной плате, постарайтесь использовать разные сопротивления. Это будет и интереснее, и полезнее.

Во втором опыте, измерив напряжение между точками А и В, зная ток, показанный прибором Pr1, мы можем определить сопротивление двух параллельно включённых резисторов R2 и R3. Для этого достаточно использовать закон Ома:  $3.3\text{В}/0.007\text{А} = 471\text{ Ом}$ . С учётом округлений, которые я сделал, можно считать, что при параллельном соединении двух одинаковых сопротивлений результирующее сопротивление вдвое меньше.

Это можно представить себе следующим образом: сопротивление проводника электрическому току пропорционально его длине, материалу проводника и обратно пропорционально сечению проводника. Включив два проводника параллельно, мы «увеличили площадь сечения» вдвое, то есть, уменьшили сопротивление вдвое.

Более точная формула для расчёта результирующего сопротивления в нашем случае выглядит так:

$$\text{Робщ.} = R1 * R2 / (R1 + R2)$$

Аналогично, если мы два одинаковых сопротивления включаем последовательно, то вдвое увеличиваем его «длину», увеличив вдвое сопротивление.

### Полезные советы

Проводя эти опыты, проводя опыты, описанные дальше, заглядывайте в этот раздел. Следуя простым правилам каждый раз, вы со временем вырабатываете автоматическую привычку делать всё правильно, не рискуя повредить приборы или получить травму.

*Моделирование схемы позволяет вам определить токи и напряжения в схеме. Поэтому правильно выбирайте режим измерения и диапазон измерения. Если вы не уверены в величине тока или напряжения, подлежащих измерению, начинайте с максимального значения. Постарайтесь подготовить схему к измерениям, проверьте правильность соединений, подключите прибор и после этого подавайте питающее напряжение.*

Располагайте детали на макетной плате так, как вам понятнее и работа электрической цепи, и то, как и зачем вам следует проводить измерения.

*Не забывайте, что при измерении тока прибор включается последовательно с измеряемой цепью. Но при измерении напряжения мультиметр включается параллельно измеряемому элементу. Если перепутать режим измерения, если при измерении напряжения включить прибор в режим измерения тока, то можно испортить и мультиметр, и схему. Будьте внимательны, никогда не спешите.*

## Глава 2. Переменный ток

Мы ещё вернёмся к опытам с постоянным током. Но сейчас бегло рассмотрим, что такое переменный ток.

Постоянный ток – это ток, который не меняет ни своей величины, ни направления.

То есть, если мы будем быстро менять подключение батарейки в первом опыте, то ток будет менять своё направление, а мы получим переменный ток. Для этого батарейку можно подключить через тумблер, переключение которого и определит превращение постоянного тока в переменный. Позже, рассматривая схемы генераторов переменного напряжения разной формы, вы найдёте компоненты, которые лучше подходят для этого, чем тумблер.

Но не только смена направления тока превращает постоянный ток в переменный. Проведём следующий опыт:

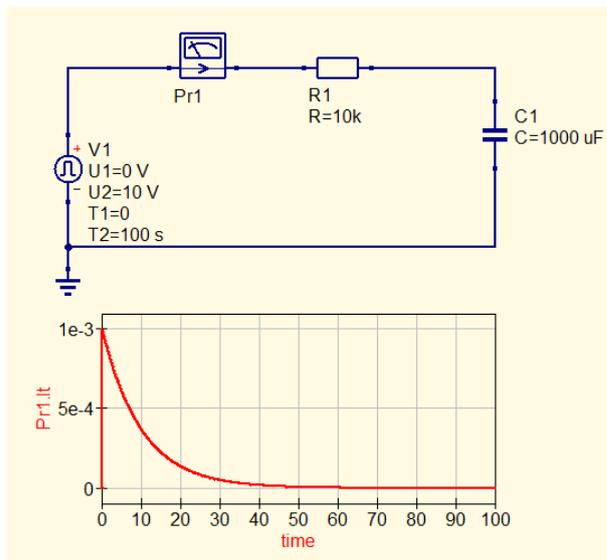


Рис. 2.1. Заряд конденсатора через резистор

В этом случае ток не меняет своего направления, но не сохраняет своей величины – ток через конденсатор всё время меняется. А, значит, это не постоянный ток, значит, это переменный ток.

Пусть вас не смущает, что при моделировании я использовал источник импульсного напряжения. Этим я хотел подчеркнуть, что в начальный момент напряжение источника равно нулю (батарейка отключена), затем напряжение резко возрастает, принимая значение 10 В (батарейка подключена).

### Опыт первый. Заряд конденсатора

Если у вас есть выключатель, поместите его между плюсом батарейки и мультиметром, включённым в режим измерения постоянного тока на пределе 2 мА (2000 мкА), если резистор, как на схеме ниже, имеет сопротивление 10000 Ом (десять килоом), а батарейка имеет напряжение, скажем, 9 вольт. Если вы взяли резистор с другим номиналом или другую батарейку, то определите ток, используя закон Ома, прежде, чем определите, как переключить мультиметр. После включения питания наблюдайте за током. Если выключателя нет, то наблюдайте за током после подключения батарейки к электрической цепи. Вот схема опыта:

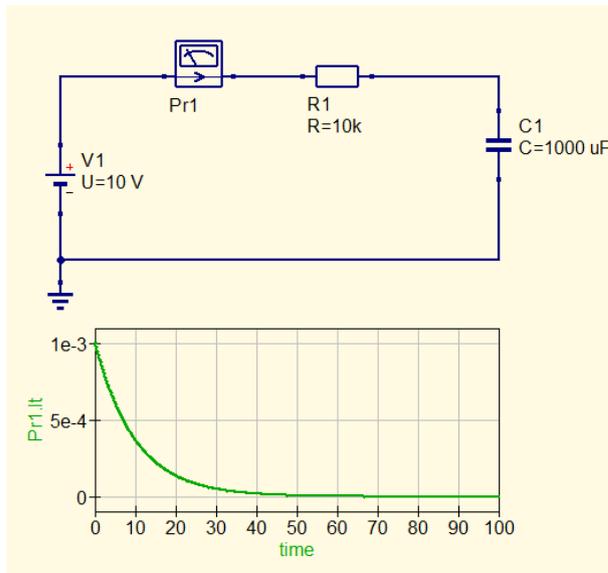


Рис. 2.2. Схема проведения опыта с зарядом конденсатора

Дисплей мультиметра покажет уменьшающееся со временем значение тока. На графике видно, что в начальный момент времени ток через цепь R1C1 максимальный, определяемый значением сопротивления R1. То есть, в этот момент сопротивление конденсатора равно нулю. Через 60 секунд ток практически равен нулю, то есть, сопротивление конденсатора стало очень большим.

Этот опыт можно повторить в несколько ином виде. У вас мультиметр позволяет измерять сопротивление. Включите прибор в режим измерения сопротивления на самый большой предел 2МОм (2000 кОм). Подключите к щупам конденсатор, вы увидите, как растёт его сопротивление. Чем больше ёмкость конденсатора, тем дольше будет продолжаться процесс. Пусть у вашего мультиметра нет режима измерения ёмкости конденсатора, но проверить электролитические конденсаторы можно и с его помощью.

И ещё, когда сопротивление конденсатора почти перестало меняться, поменяйте местами щупы мультиметра. Конденсатор будет разряжаться через сопротивление мультиметра, а затем вновь будет заряжаться. Хотя это не позволяет убедиться в том, что ёмкость электролитического конденсатора не изменилась, такой приём всё-таки позволяет вам проверить работоспособность конденсатора, а при наличии опыта и оценить величину его ёмкости.

Сопротивление конденсатора постоянному току очень велико, можно считать, что конденсатор обрывает цепь для постоянного тока. Но с переменным током, возможно, всё обстоит иначе. И, если обычный резистор или проводник оказывают сопротивление и постоянному току, и переменному, то конденсатор имеет реакцию только на изменение напряжения, поэтому его сопротивление называют реактивным.

### Опыт второй: реакция конденсатора на переменное напряжение

Этот опыт мы сейчас проведём только в программе.

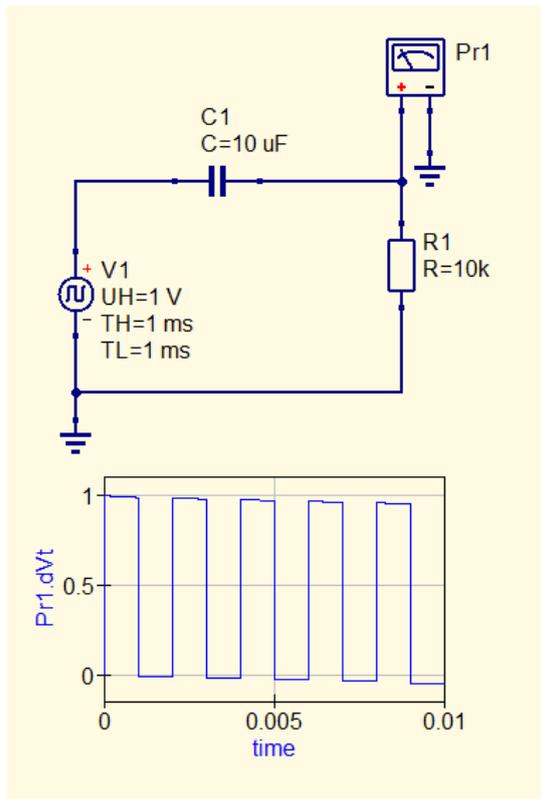


Рис. 2.3. Переменный ток и конденсатор

Источник питания V1 – это импульсный генератор. Ток, как видно из графика, не меняет направления, но только величину. Измерение напряжения мы выполняем на резисторе R1, и, если бы конденсатор не пропускал переменный ток, мы не увидели бы ничего. Вместо этого мы видим почти то же напряжение, что воспроизводит V1.

Позже мы соберём подобный источник, тогда можно будет повторить этот опыт на макетной плате.

Я могу использовать генератор, который воспроизведёт эти импульсы.

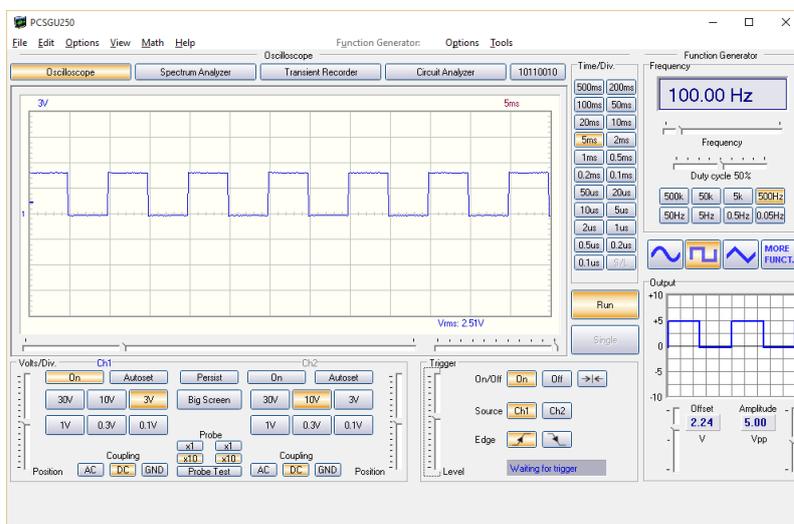


Рис. 2.4. Прямоугольные импульсы амплитудой 5 В

Но только для того, чтобы измерить их с помощью мультиметра.

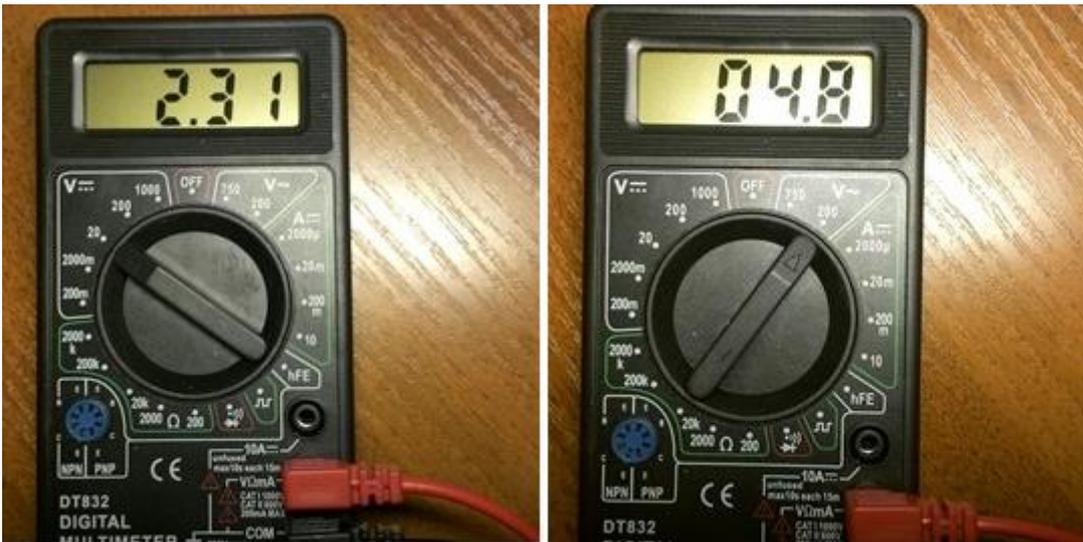


Рис. 2.5. Измерение прямоугольных импульсов

При измерении постоянного напряжения мы получим, скорее всего, среднее за период значение (рисунок слева). А при измерении переменного напряжения мы получим значение близкое к амплитудному. Эти измерения нам понадобятся тогда, когда мы будем... впрочем, тогда и поговорим.

Для работы с переменными напряжениями, конечно, полезно иметь осциллограф. Но, если его нет, то можно использовать то, что есть.

### Глава 3. Транзистор

Резисторы, конденсаторы, катушки индуктивности – это пассивные элементы электрических схем. Транзистор, в отличие от них, активный элемент. Это обусловлено тем, что у транзистора есть свойство: его ток коллектора в  $V$  раз больше тока базы. То есть, связь между током базы и током коллектора можно записать так:  $I_k = V \cdot I_b$ .

Рассмотрим схему:

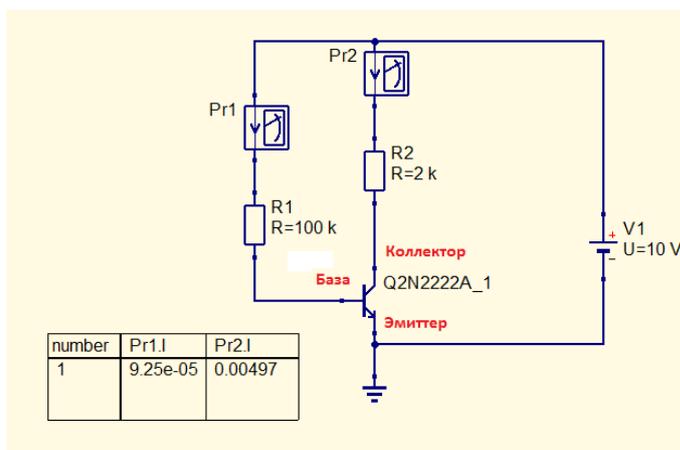


Рис. 3.1. Схема включения транзистора с общим эмиттером

Транзистор на схеме выше называют биполярным, структуры n-p-n, или ещё его называют транзистором с обратной проводимостью. Есть похожий по графике транзистор, структура которого p-n-p, его называют транзистором прямой проводимости. Питающее напряжение на такой транзистор подаётся обратно тому, что вы видите на рисунке, то есть, к эмиттеру (выводу со стрелкой) подключается положительный вывод питающего напряжения.

Разделив показания амперметра Pr2 на показания амперметра Pr1, мы получим значение V.

### Опыт первый: определение коэффициента V

Начнём мы этот опыт с определения этого коэффициента с помощью мультиметра. В левой части мультиметра есть гнездо, в которое вставляются транзисторы.



Гнёзда сделаны для биполярных транзисторов разной структуры, а количество гнёзд увеличено так, чтобы можно было легко вставить транзисторы с наиболее часто встречающимся расположением выводов. Выводы у транзисторов в разных корпусах располагаются в разной последовательности. Переключатель для измерения коэффициента V следует поставить в положение, отмеченное как hFE (так обозначен этот коэффициент).

Рис. 3.2. Гнездо для транзисторов

Расположение выводов транзисторов следует посмотреть в справочнике. Вот транзистор, который я намерен использовать в опытах:

**KT503**  
Справочник по отечественным транзисторам

**KT503 (кремниевый транзистор, n-p-n)**

Прибор	Предельные параметры при T = 25°C										Параметры при T = 25°C								R <sub>т</sub> п-с, °C/Вт	
	I <sub>к</sub> макс, мА	I <sub>к</sub> макс, мА	U <sub>кэ0</sub> гр. В	U <sub>кэ0</sub> макс, В	U <sub>эб0</sub> макс, В	P <sub>к</sub> макс, мВт	T, °C	T <sub>п</sub> макс, °C	T <sub>к</sub> макс, °C	h <sub>21э</sub>	U <sub>кэ</sub> , В	I <sub>э</sub> , мА	U <sub>кэ</sub> нас, В	I <sub>кб0</sub> , мкА	f <sub>гр</sub> , МГц	K <sub>ш</sub> , дБ	C <sub>к</sub> , пФ	C <sub>э</sub> , пФ		τ <sub>рас</sub> , мкс
KT503 А	150	350	25	40	5	350	25	125	85	40...120	5	10	0,6	1	5		20	30		214
KT503 Б	150	350	25	40	5	350	25	125	85	80...240	5	10	0,6	1	5		20	30		214
KT503 В	150	350	40	60	5	350	25	125	85	40...120	5	10	0,6	1	5		20	30		214
KT503 Г	150	350	40	60	5	350	25	125	85	80...240	5	10	0,6	1	5		20	30		214
KT503 Д	150	350	60	80	5	350	25	125	85	40...120	5	10	0,6	1	5		20	30		214
KT503 Е	150	350	80	100	5	350	25	125	85	40...120	5	10	0,6	1	5		20	30		214

Рис. 3.3. Справка по транзистору

В справочных данных интересующий нас коэффициент обозначен как h<sub>21э</sub>. Как вы видите, это значение может сильно меняться от экземпляра к экземпляру транзистора. Поэтому, если мы хотим использовать транзистор в своей схеме, полезно будет знать этот параметр у конкретного, а

не абстрактного транзистора. Позже я приведу то значение, которое получил с помощью мультиметра.

Повторим схему включения транзистора с общим эмиттером на макетной плате, с резисторами  $R = 100 \text{ кОм}$ ,  $R_2 = 1 \text{ кОм}$ . Проведём измерение токов: ток базы  $78 \text{ мкА}$ , ток коллектора  $8.3 \text{ мА}$ .



Рис. 3.4. Измерение токов по схеме рисунка 2.6

Разделим ток коллектора равный  $8300 \text{ мкА}$  на ток базы  $78 \text{ мкА}$ . Мы получим, что  $\beta = 106$ . Измеренное мультиметром значение равно 132. Почему возникла эта разница? Не подвёл ли нас мультиметр?

Давайте разбираться. Мы умеем пользоваться законом Ома. Определим падение напряжения на резисторе  $R_2$ :  $8.3 \text{ мА} * 1 \text{ кОм} = 8.3 \text{ В}$ . Таким образом, при питающем напряжении  $9 \text{ В}$  напряжение на коллекторе транзистора  $0.7 \text{ В}$ . Это заставляет меня предположить, что транзистор находится или близок к «насыщению». Что это значит? Проведём ещё один опыт:

### Опыт второй: рабочая точка транзистора

Начнём этот опыт с моделирования работы транзистора. Вот схема опыта:

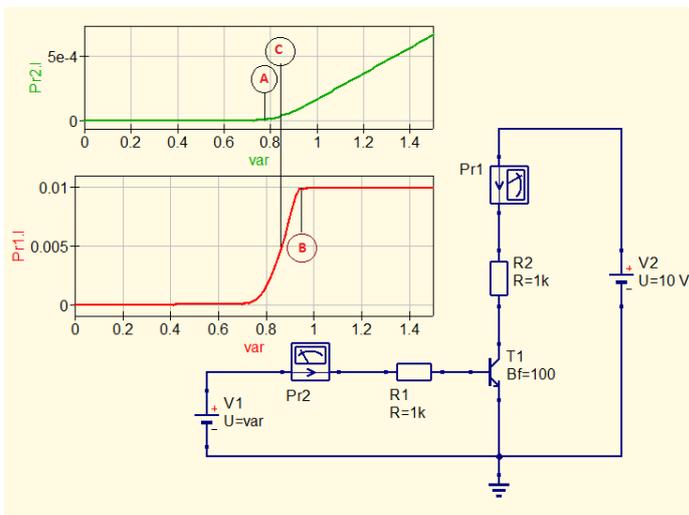


Рис. 3.5. Опыт с определением токов базы и коллектора транзистора

На схеме первый источник напряжения меняет значение от 0 до 1.5 В. На верхнем графике показано, как меняется при этом ток базы. О том, почему ток не меняется до точки «А», мы поговорим позже. Но после точки «А» ток базы растёт. Вместе с ним растёт ток коллектора (нижний график). Но происходит это только до точки «В». После этого транзистор находится в «состоянии насыщения», когда увеличение тока базы не приводит к росту тока коллектора.

Чтобы представить, как это происходит, вспомним закон Ома и правила Кирхгофа (или законы). Напряжение питания  $V_2$  не меняется. Сумма падений напряжений на  $R_2$  и транзисторе равно этому напряжению. Ток через эту цепь определится делением напряжения  $V_2$  на суммарное сопротивление  $R_2$  и  $T_1$  (сопротивление цепи коллектор-эмиттер транзистора). Если ток коллектора растёт, а сопротивление резистора  $R_2$  неизменно, то, вероятно, уменьшается сопротивление транзистора. В нашем эксперименте использован идеальный транзистор, сопротивление которого уменьшается до нуля, что можно определить по току в 10 мА, который мы получим, разделив напряжение  $V_2$  на величину сопротивления  $R_2$ . Сопротивление коллектор-эмиттер реального транзистора отличается от нуля. Напряжение коллектор-эмиттер в режиме, когда ток коллектора перестаёт расти, называют напряжением насыщения. Взгляните на справочные данные транзистора КТ503, параметр  $U_{к-э}$ , нас. равен 0.6 В.

Таким образом, если мы хотим использовать транзистор для цели следования тока коллектора току базы, нам лучше выбрать такой ток базы, при котором ток коллектора (на нижней диаграмме обозначен «С», 5 мА) равен среднему значению между начальным током и током насыщения.

Изменение тока базы на некоторую величину  $\Delta I_b$  приводит к изменению тока коллектора на величину  $\Delta I_k$ . Но изменение тока – это переменный ток. Таким образом, мы можем говорить об усилении тока базы, поскольку  $\Delta I_k / \Delta I_b \approx \beta$ . И наш коэффициент « $\beta$ » есть коэффициент усиления по току в схеме с общим эмиттером.

### Полезные советы

*Если вы хотите усилить симметричный переменный ток базы, выбирайте такое сопротивление в цепи базы, при котором напряжение на коллекторе транзистора равно половине напряжения питания.*

Вы можете провести опыт на макетной плате, измеряя ток коллектора и используя цепочку резисторов для базовой цепи. Меняя проводом-перемычкой величину сопротивления, отмечайте изменение тока коллектора.

*Проводя опыты с транзистором на макетной плате, обязательно убедитесь, что имеее дело с транзистором, что вы точно знаете, какой структуры n-p-n или p-n-p ваш транзистор. Не пытайтесь определить транзистор по его внешнему виду. Похожи как близнецы и транзисторы, и стабилизаторы напряжения, и датчики температуры, и, возможно, ещё и другие радиоэлементы.*

Выбирая ток базы в схеме, показанной выше, вы можете определить его приблизительное значение, но близкое к реальной величине, разделив напряжение питания на величину резистора. Или наоборот, разделив напряжение питания на заданный ток базы, вы получите величину сопротивления в цепи базы.

## Глава 4. Диод

На схеме выше верхний график показывает, что базовый ток транзистора появляется при напряжении база-эмиттер близком к 0.7 В. Почему?

Когда мы говорили о сопротивлении прохождению электрического тока, мы могли бы отметить, что одни материалы, как металлы, прекрасно проводят ток; другие материалы, как резина, почти не проводят электрический ток. Первые называют проводниками, вторые материалы называют изоляторами. Но учёным давно были известны материалы, которые проводят ток гораздо хуже проводников, но лучше изоляторов. Их назвали полупроводниками. Ток в полупроводниках обязан своим существованием двум механизмам. Первый механизм назвали электронной проводимостью, другой дырочной проводимостью.

Полупроводники не вызывали интереса до тех пор, пока не удалось хорошо соединить два полупроводниковых материала с разным типом проводимости. Обнаружилось, что при одной полярности источника ЭДС такой «бутерброд» хорошо проводит ток, при обратной полярности не проводит ток. Так появился полупроводниковый диод.

Вы можете проделать опыт с диодом, используя возможности вашего мультиметра. Поставьте переключатель в положение, показанное рисунке ниже:



В этом режиме измерения прибор проверяет исправность диодов. Но в этом же режиме можно проверить транзистор, как на исправность, так и определить, n-p-n или p-n-p у вас транзистор.

Рис. 4.1. Проверка диодов

При одной полярности подключения диод показывает сопротивление порядка нескольких сотен ом, при другой полярности прибор показывает перегрузку (о чём свидетельствует единица, отображаемая на дисплее).

Так что происходит с диодом? Электронная проводимость полупроводника определяется тем количеством электронов, которые могут перемещаться при подключении к материалу источника ЭДС. Дырочная проводимость – это свойство материала иметь такие атомы, у которых есть вакантные места для электронов, где электрон оказывается довольно хорошо «прикреплён к атому». Когда два материала соединяются, электроны одного материала переходят в другой, где оседают на атомах. При этом в первом материале остаются атомы, лишённые электронов, то есть, заряженные положительно. А во втором материале появляются атомы с избыточным электроном, то есть, заряженные отрицательно. На границе между материалами появляется электрическое поле. А для преодоления этого поля электронам нужно больше энергии, чем у них есть. Таким образом, процесс «бегства электронов» продолжается до момента, когда устанавливается динамическое равновесие: величина электрического поля образует барьер для электронов.

Если мы приложим внешний источник ЭДС к этой конструкции, то при одной полярности электрическое поле ослабляется этим внешним источником, и ток начинает протекать; при другой полярности поле усиливается, и ток не протекает. Как выяснилось позже, ослабление внутреннего электрического поля начинается при внешнем напряжении порядка 0.5-0.8В.

Вы можете соединить последовательно диод с резистором сопротивлением 400 – 1000 Ом (для ограничения тока через диод), подать небольшое напряжение и измерить падение напряжения на диоде при появлении тока (когда источник напряжения включён в прямой полярности).

Полярность диодов лучше всего определять с помощью мультиметра. На старых диодах нарисовано, в какую сторону диод проводит. На новых полярность обозначают полосками, но по-разному. Поэтому лучший способ определения «полярности диода» - мультиметр:

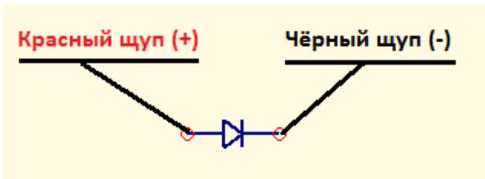


Рис. 4.2. Определение полярности диода

Но мы собирались говорить о напряжении база-эмиттер. Причём здесь диод?

Дело в том, что транзистор представляет собой «бутерброд» из трёх слоёв полупроводника, что и подчёркивается определением p-n-p или n-p-n, где база-эмиттер отличается от диода только конструкцией. Поэтому и базовый ток, подобно току через диод, появляется тогда, когда напряжение достигает величины 0.5-0.7В.

Вначале диоды предполагалось использовать для выпрямления разнополярного переменного напряжения. Но вскоре их стали использовать в качестве детекторов в радиоприёмниках. Затем обнаружилось, что при определённых условиях диоды могут излучать свет, что стали использовать в светодиодах. Оказалось, что при определённой конструкции, при освещении перехода диода он хорошо реагирует на свет. Появились фотодиоды. И ещё ряд применений полупроводникового диода сделал его довольно значимым элементом электрических схем.

### Полезные советы

*Если вы не знаете, какой транзистор у вас в руках, включите мультиметр в режим проверки диодов. Проверьте все выводы. Если один из выводов транзистора показывает с двумя другими выводами сопротивление порядка нескольких сотен ом, то это база транзистора. Если этот результат вы получили, когда с базой соединён красный щуп прибора (если вы правильно включили щупы), то у вас транзистор n-p-n, если чёрный, то p-n-p.*

Чтобы определить, где эмиттер, а где коллектор у транзистора, подключите щупы к коллектору и эмиттеру, кто из них кто предстоит выяснить, включив мультиметр в режим проверки диодов. Подключайте базу к одному и второму щупу через резистор (10-100 кОм). При подключении резистора к коллектору мультиметр покажет сопротивление. При подключении к эмиттеру на дисплее мультиметра остаётся единица.

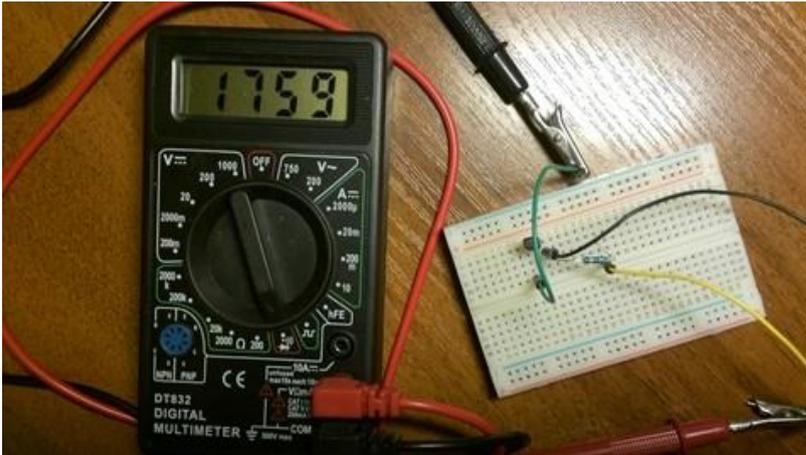


Рис. 4.3. Определение коллектора и эмиттера с помощью мультиметра

## Глава 5. Усиление

Мы уже говорили о том, что транзистор усиливает ток, как постоянный, так (и особенно) переменный. Но начнём разговор об усилении с того, что отложили ранее «на потом». Рассмотрим следующую схему:

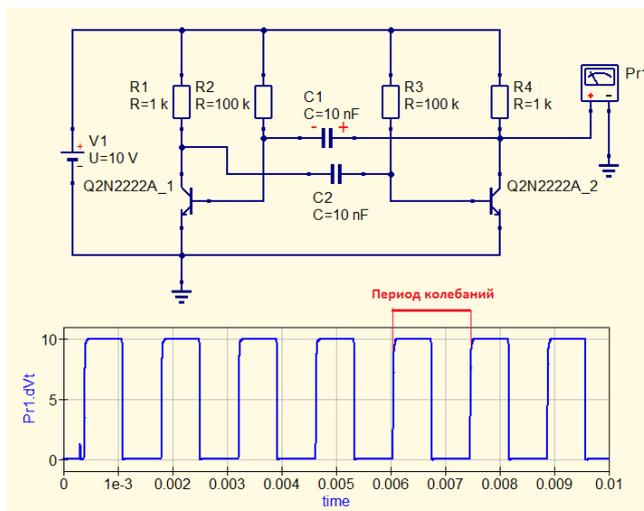


Рис. 5.1. Схема мультивибратора

Схема отличается от рассмотренной ранее схемы транзистора с общим эмиттером наличием двух транзисторов, а не одного, и присутствием двух конденсаторов. При включении питающего напряжения конденсаторы заряжаются через резисторы R1 и R4 и переходы транзисторов база-эмиттер. Протекание базовых токов (вспомните о реакции конденсатора) вызовет появление токов коллекторов. Предположим, что транзистор справа (Q2N2222A\_2) полностью включён (перешёл в режим насыщения). В этом случае между базой и эмиттером другого транзистора включён конденсатор C1, заряженный до некоторого напряжения в полярности, показанной на рисунке. При такой полярности подключения внешнего напряжения левый транзистор (Q2N2222A\_1) закрывается. Конденсатор C1 начинает перезаряжаться через резистор R2. Пока напряжение на конденсаторе не достигнет напряжения открывания левого транзистора (а на это нужно время), он будет закрыт, а второй транзистор открыт. Но в тот момент, когда левый

Я знаю, наверное, с десятков схем осцилляторов (или генераторов переменного напряжения, если вам так больше нравится), но с этой схемой мы уже познакомились ранее. Конечно, со схемой включения транзисторов.

Переменное напряжение, которое несёт информацию, часто называют сигналом в электрических цепях.

транзистор откроется, к базе-эмиттер правого транзистора будет приложено напряжение заряженного конденсатора C2. А он за это время зарядился через резистор R1 так, что к базе правого транзистора приложен минус, а к эмиттеру плюс (вспомните опыт по определению типа транзистора). При такой полярности транзистор Q2N2222A\_2 будет надёжно закрыт. Затем процессы повторяются.

Такую несложную схему генератора можно собрать и отладить на макетной плате. Частоту можно определить по результату моделирования. На рисунке период колебаний около 1.5 мС, а частота обратно пропорциональна периоду, то есть, частота около 600 Гц. Частота зависит от величины сопротивлений и ёмкости конденсаторов. Если вам нужна частота в десять раз меньше, возьмите конденсаторы в десять раз большей ёмкости, и наоборот.

Теперь мы добавим несколько деталей.

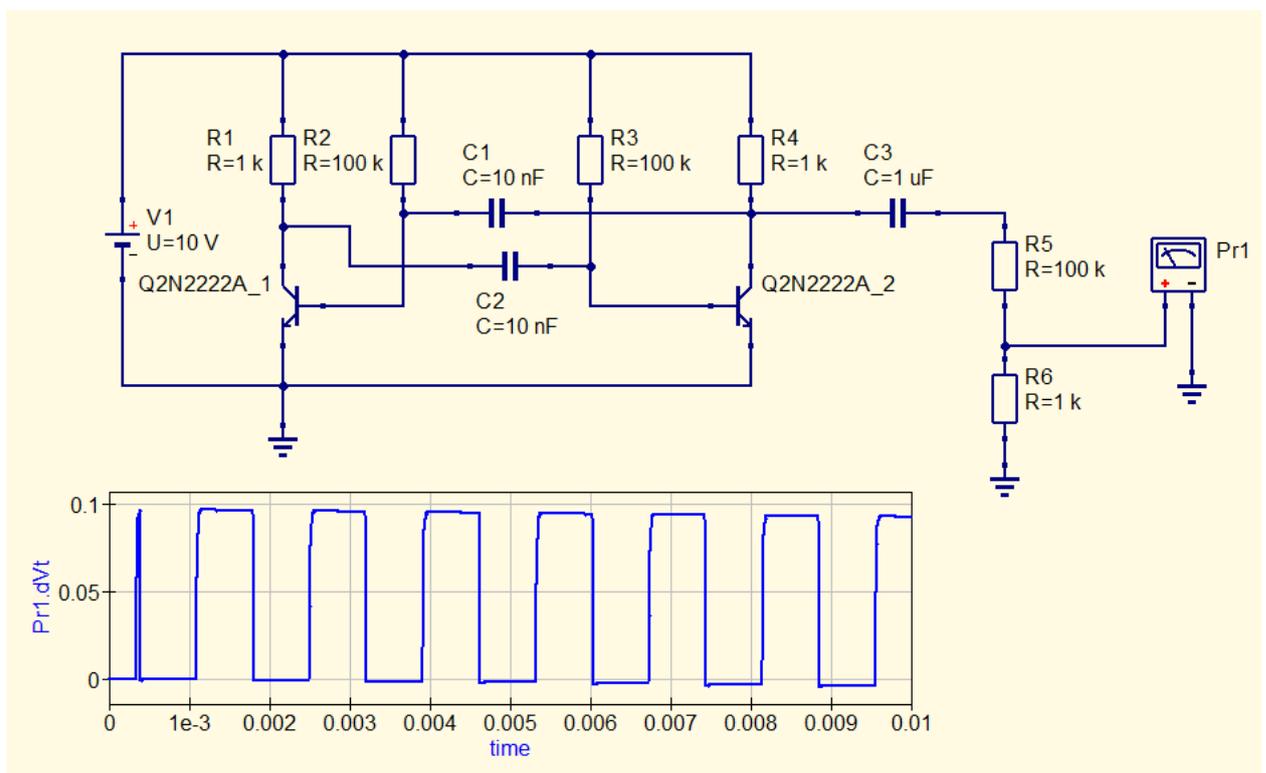


Рис. 5.2. Добавление делителя напряжения

Делитель напряжения состоит из двух резисторов R5 и R6. Через резисторы протекает один и тот же ток, а напряжение будет пропорционально сопротивлению. То есть, падение напряжения на резисторе R6 будет в сто раз меньше, чем на входе делителя. И вспомните, что конденсатор пропускает переменный ток.

И ещё одно замечание – для переменного тока и напряжения можно использовать те же формулы закона Ома, что и для постоянного. А ток и напряжение подразумеваются теми, что мы измеряем мультиметром в соответствующих режимах измерения. Например, если вы измерите переменное напряжение на резисторе R6, то, разделив его на 1000 Ом, вы получите значение переменного тока. Есть некоторые неточности в этом рассуждении, но к ним мы вернёмся позже. А для дальнейшего продолжения работы они вполне подходят и в таком приближённом виде.

Транзистор – прирождённый усилитель тока. Но нас чаще будет интересовать усиление переменного напряжения. Хотя ток и напряжение, скорее, два проявления одного процесса, рассмотрим то, как транзистор усиливает переменное напряжение. Используем схему, которую рассмотрели раньше – каскад с общим эмиттером.

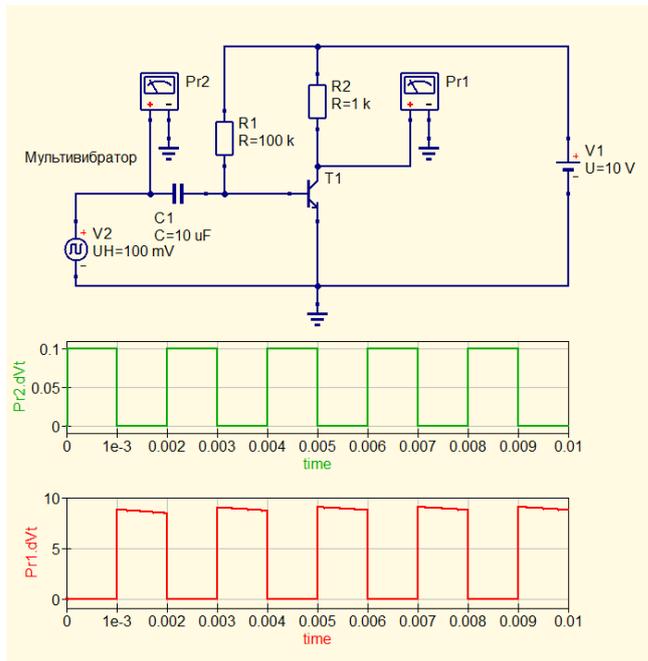


Рис. 5.3. Напряжение на входе и выходе транзисторного усилителя

Если вы собрали на макетной плате мультивибратор, если он работает, если вы добавили делитель напряжения, то можете измерить напряжение на входе и на выходе усилителя, чтобы убедиться – напряжение на выходе существенно больше напряжения на входе. Убедиться, что усилитель на транзисторе усиливает переменное напряжение.

Вид сигнала, а нас сейчас интересуют сигналы, вид сигнала на выходе очень похож на сигнал на входе. Но справедливо ли это для любого сигнала? Заменяем мультивибратор (в программе моделирования), формирующий переменное напряжение, генератором синусоидального сигнала.

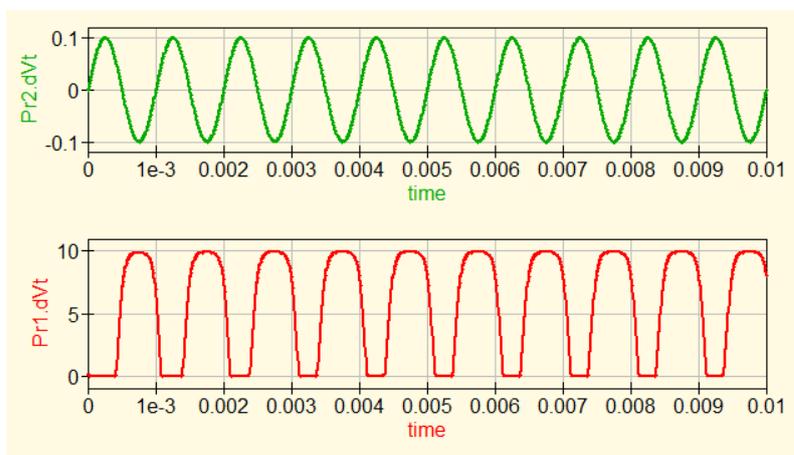


Рис. 5.4. Синусоидальный сигнал на входе и выходе усилителя

Теперь сигнал на выходе (нижняя диаграмма) не слишком похож на входной сигнал. Но сигнал, как уже упоминалось, несёт информацию. Получается, что информация искажена. То есть, вы зашли в Интернет посмотреть погоду на сегодня, а вам сообщили, что идёт снег и начинается метель, тогда как за окошком солнечное лето. Подобное искажение информации никак не назовёшь информацией.

Попробуем как-то улучшить ситуацию. В первую очередь проверим рабочую точку. Измерив постоянное напряжение на коллекторе транзистора (относительно «земли»), мы обнаружим, что оно близко к 100 мВ. Вспомним, что для симметричных переменных напряжений желательно, чтобы на коллекторе транзистора было напряжение равное половине питающего напряжения. Увеличим сопротивление резистора R1 до 350 кОм. Теперь напряжение на коллекторе транзистора увеличилось почти до половины питающего напряжения. И уменьшим сигнал на входе усилителя в 10 раз. Посмотрим, что стало с сигналом на выходе усилителя.

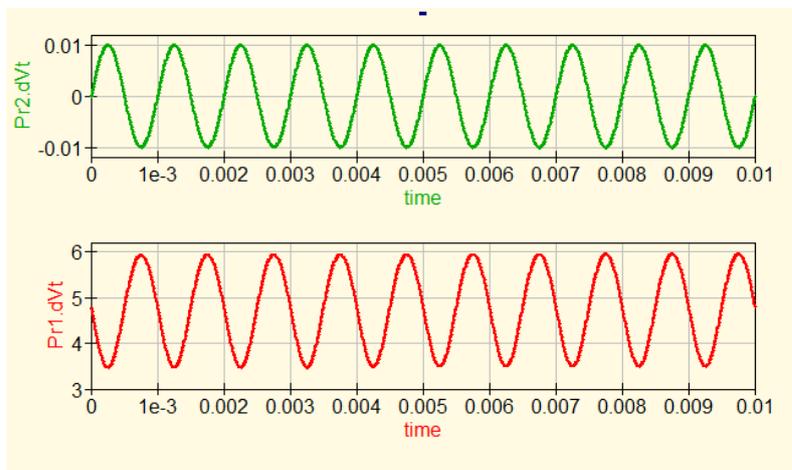


Рис. 5.5. Сигнал на входе и выходе усилителя после настройки

Теперь сигналы очень похожи, искажений нет (а в прогнозе погоды, как и за окном, лето).

### Замечания к проведённым опытам

Для разных сигналов настройка усилителя может потребоваться разная, чтобы сигнал на выходе усилителя не искажался, меняя информацию, которую несёт входной сигнал.

Напряжение на входе усилителя не должно превышать некоторое значение, при котором появляются искажения на выходе даже настроенного усилителя. В этом можно убедиться, если для усилителя, который демонстрирует хорошие результаты выше, увеличить входное напряжение в десять раз.

### Продолжим рассмотрение усиления

Когда мы говорили об искажении входного сигнала при усилении, мы рассмотрели два фактора: неправильный выбор рабочей точки и перегрузка усилителя большим входным напряжением. Но это не единственные источники искажения информации, заключённой во входном сигнале.

Вот такой выходной сигнал можно наблюдать на выходе усилителя, повторив первый опыт.

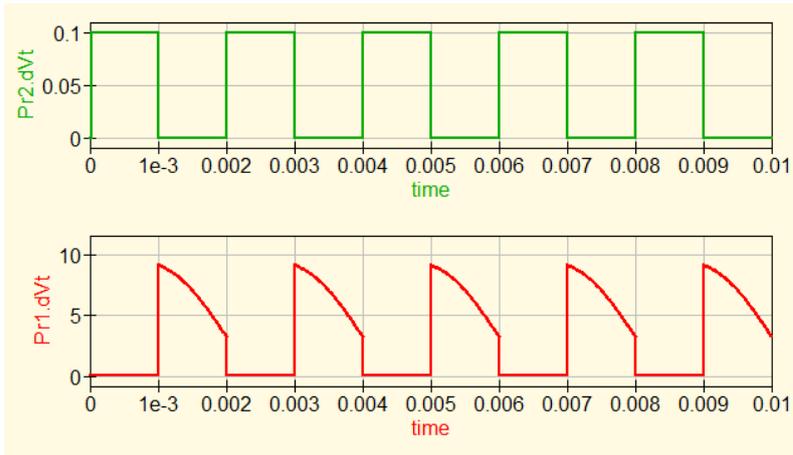


Рис. 5.6. Частотные искажения при усилении сигнала

В схеме ёмкость конденсатора  $C1$  уменьшена с 10 мкФ до 1 мкФ. Как видите, форма сигнала существенно изменилась. И это даёт основания для рассмотрения...

## Глава 6. Некоторые важные параметры усилителя

К сожалению, далеко не всё, о чём пойдёт речь ниже, можно проверить с помощью мультиметра. Потому мы используем моделирование в программе QuvsStudio, чтобы определить, как можно оценить настройку усилителя с помощью мультиметра.

Рассмотрим искажения сигнала, показанные в конце предыдущей главы. У усилителя по схеме рисунка 5.3 была изменена ёмкость конденсатора  $C1$ . Как определить, какие изменения произошли с параметрами усилителя?

Мы уже говорили, что конденсатор проводит переменный ток, обладая реактивным сопротивлением. Если сопротивление идеального резистора не зависит от частоты, то сопротивление переменному току идеального конденсатора зависит от частоты переменного тока. Изменение ёмкости конденсатора могло привести к изменению частотных параметров усилителя. Чтобы проверить это, строят частотную характеристику усилителя. Для этого подают на вход усилителя разные частоты с постоянной амплитудой напряжения и измеряют напряжение на выходе усилителя. Сейчас мы используем только программу, поэтому воспользуемся её возможностями для представления частотной характеристики усилителя. Для моделирования заменим источник прямоугольных сигналов на входе источником синусоидального сигнала с амплитудой 1 мВ.

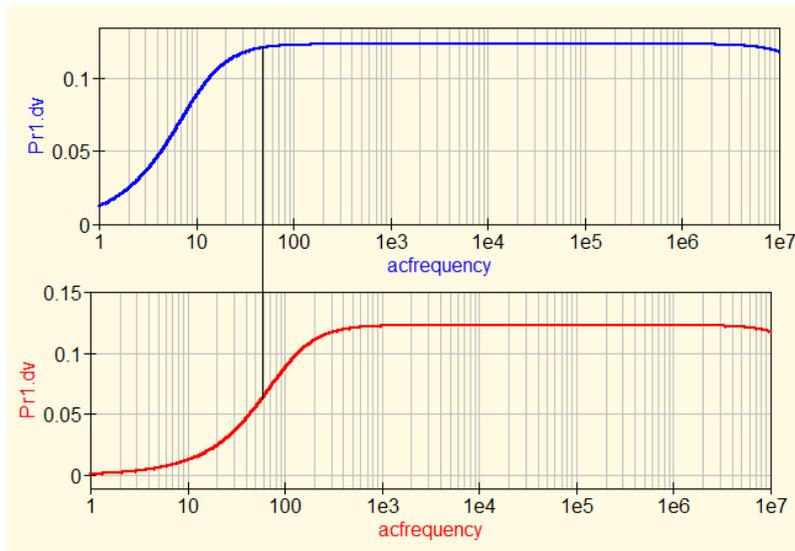


Рис. 6.1. Частотные характеристики усилителя с двумя значениями ёмкости на входе

На оси  $x$  в логарифмическом масштабе отображены частоты. По оси  $y$  отмечены значения напряжения на выходе. На верхней и нижней диаграмме мы можем отметить, что усиление на выходе усилителя более 100 (разделим напряжение на выходе на входное напряжение). На верхней диаграмме для частоты 60 Гц напряжение на выходе такое же, как для более высоких частот. Но не так для нижней диаграммы, где напряжение для этой частоты гораздо меньше. Это даёт нам основания предполагать, что именно этим мы обязаны искажению прямоугольных импульсов.

На представленных диаграммах частота изменяется от 1 Гц до 10 МГц (до десяти миллионов герц), а спад напряжения приблизительно в 1.5 раза называют граничной частотой. Мы можем изменить параметр верхней частоты при моделировании и получить такую частотную характеристику.

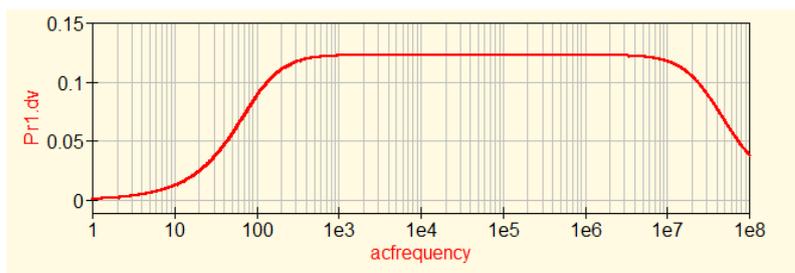


Рис. 6.2. Частотная характеристика усилителя в области верхних частот

Определив, где напряжение на выходе снижается в 1.5 раза в области низких частот, мы определяем нижнюю граничную частоту, а, проделав то же в области высоких частот, мы определим верхнюю граничную частоту. Все частоты между этими двумя значениями называют полосой пропускания усилителя.

Вы можете провести опыт на макетной плате. Для этого измените сопротивление в цепи базы транзистора усилителя, измените конденсаторы мультивибратора, увеличив из в 10 раз, измените нижнее сопротивление в делителе напряжения с 1 кОм на 100 Ом, и добавьте на выход усилителя конденсатор ёмкостью 10 мкФ и резистор 10 кОм (как это сделано в делителе напряжения). Проведите измерение напряжения на этом резисторе 10 кОм, используя режим измерения

переменного напряжения, на частоте около 60 Гц, затем верните в мультивибраторе конденсаторы первоначальной ёмкости и проведите измерение напряжения на выходе ещё раз.

### Замечания к рассказу о параметрах усилителя

Одним из важных параметров, как мы выяснили, служит полоса рабочих частот усилителя. В области низких частот за это отвечают переходные конденсаторы (конденсаторы на входе и выходе усилителя). В области высоких частот чаще всего граничная частота определяется частотными свойствами транзистора.

Ещё один важный параметр – это искажения. Они обусловлены в первую очередь проблемой с линейностью усиления. Подразумевается, что преобразование усиления – это линейное преобразование, когда входная величина просто умножается на некий коэффициент. Но это получается далеко не всегда. В нашем случае потребовалось правильно выбрать рабочую точку и уменьшить входное напряжение.

Зачем переходные конденсаторы, если могут ухудшать частотные параметры усилителя? Но любой источник сигнала имеет внутреннее сопротивление, что может изменить параметры усилителя по постоянному току, то есть, сместить рабочую точку так, что усилитель перестанет работать правильно. Ёмкость переходных конденсаторов выбирают, исходя из требуемой нижней частоты полосы пропускания и входного сопротивления каскада, который подключается через переходной конденсатор.

При построении частотной характеристики усилителя часто оценивают усиление в дБ. Децибелы – это единицы, определяемые для напряжения как  $20\log(U_{\text{вых}}/U_{\text{вх}})$ . Удобство использования этих единиц в том, что если усилитель многокаскадный, то усиление определяется умножением коэффициентов усиления, а логарифмы этих величин складываются, что, согласитесь, проще. В этом случае граничные частоты определяются по спаду на 3 дБ.

## Глава 7. Ещё немного об усилителях

Часто вы можете встретить в усилительных каскадах некоторые элементы, назначение которых можно выяснить опытным путём. Что изменится в поведении усилителя, если его схема изменится:

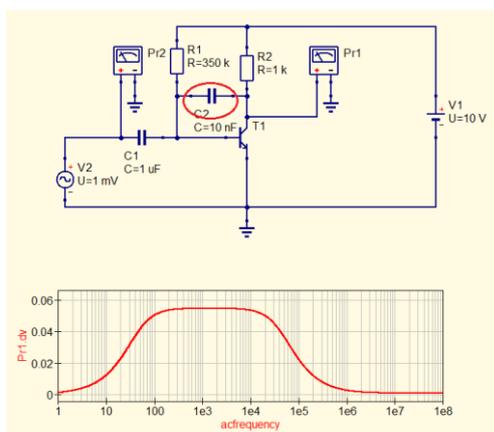


Рис. 7.1. Усилительный каскад с конденсатором между коллектором и эмиттером

Амплитудно-частотная характеристика показывает, что в этом случае изменилась верхняя граничная частота. Добавим ещё один элемент к схеме.

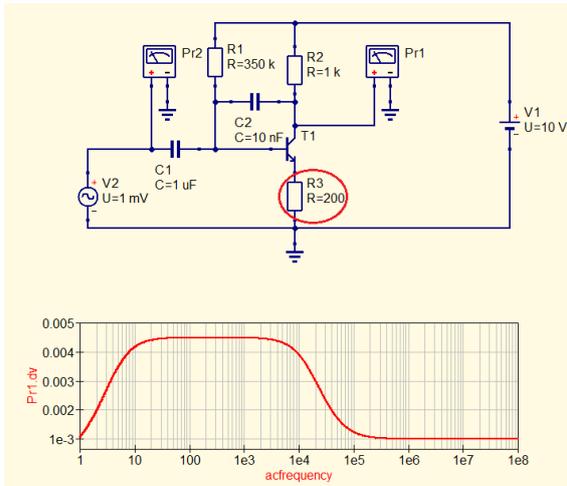


Рис. 7.2. Усилительный каскад с резистором в цепи эмиттера

Обратите внимание на то, что уменьшился сигнал на выходе усилителя. Но при этом изменилась и нижняя граничная частота. И ещё одна схема:

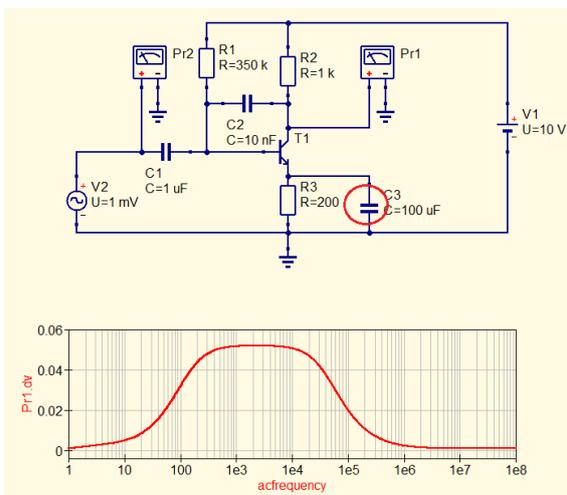


Рис. 7.3. Усилительный каскад с конденсатором и резистором в цепи эмиттера

Сигнал на выходе усилителя восстановил свою величину, но изменилась и нижняя граничная частота.

*Эти эксперименты вы можете повторить на макетной плате. Мультиметр покажет, что меняется в каждом случае, а моделирование подскажет, «какие вопросы задать» мультиметру.*

### Пояснения к опытам

И в первом, и во втором опыте мы имеем дело с обратной связью. Обратная связь возникает тогда, когда часть выходного напряжения попадает на вход.

В первом случае часть выходного напряжения попадает на вход через конденсатор С2. Сопротивление конденсатора переменному напряжению и входное сопротивление усилителя образуют делитель, поэтому на вход попадает только часть выходного напряжения. Эта часть выходного напряжения и входное напряжение алгебраически складываются, и алгебраическая сумма напряжений оказывается приложена к входу усилителя. Если выходное напряжение противофазно входному, то обратная связь отрицательная. Что такое «противофазно»?

Посмотрите на рисунок 5.5, где показано входное и выходное напряжения. Когда входное напряжение растёт, выходное напряжение падает. Когда входное напряжение достигает максимума, выходное напряжение становится минимальным. В этом случае выходное напряжение противофазно входному.

В первом случае часть выходного напряжения приложено параллельно входному. Не так во втором случае.

Во втором случае напряжение обратной связи образуется на резисторе R3. И это напряжение последовательно напряжению от генератора. Они алгебраически складываются и прикладываются ко входу транзистора (между эмиттером и базой транзистора). Такая обратная связь тоже оказывается отрицательной.

Алгебраическая сумма подразумевает, что противофазная часть сигнала входит в сумму со знаком минус (на то она и противофазная).

На третьей схеме конденсатор, если его ёмкость достаточно велика, для переменного напряжения представляет маленькое сопротивление, устраняя действие отрицательной обратной связи. Вы часто можете видеть такое включение резистора и конденсатора на схемах. У вас может возникнуть вопрос: зачем вводить отрицательную обратную связь, если её же и приходится устранять с помощью конденсатора?

Ответ находится в ведении постоянного тока. Для постоянного тока конденсатор представляет обрыв, то есть, его как бы и не существует, тогда как отрицательная обратная связь по постоянному току остаётся. Дело в том, что полупроводники чувствительны к температуре. При повышении температуры неуправляемый сквозной ток через транзистор (от коллектора к эмиттеру для p-n транзистора) растёт, а, значит, рабочая точка транзистора смещается. Но падение напряжения на резисторе отрицательной обратной связи уменьшает напряжение база-эмиттер, уменьшая коллекторный ток, и тем самым компенсируя температурное возрастание.

В первом случае обратная связь через конденсатор зависит от частоты, поскольку от частоты зависит сопротивление конденсатора переменному току. Если нам нужна частотонезависимая обратная связь, то вместо конденсатора используется резистор.

И в этом случае сохраняется отрицательная обратная связь по постоянному току. Напряжение с коллектора транзистора подаётся на базу, формируя рабочий ток базы. Положим, неуправляемый ток вырастает. В этом случае падение напряжения коллектор-эмиттер транзистора уменьшается, что приводит к уменьшению тока базы, компенсирующее увеличение тока коллектора от температуры.

И последнее, что хотелось бы отметить. При введении параллельной обратной связи к входу усилителя, параллельно ему, подключается какое-то сопротивление. При параллельном

соединении двух резисторов, это мы выяснили ранее, результирующее сопротивление уменьшается. То есть, в этом случае входное сопротивление каскада усиления уменьшается. А при последовательной обратной связи оно возрастает.

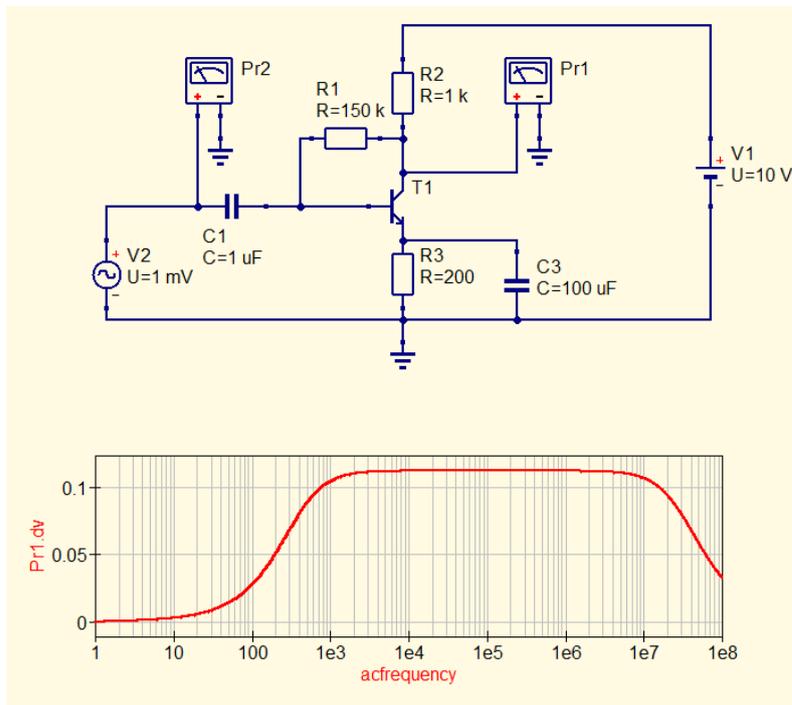


Рис. 7.4. Частотнезависимая обратная связь

## Глава 8. Микросхемы

В истории развития электроники было время, когда на необъятных её просторах бродили тучные стада транзисторов, сопровождаемые разнокалиберными резисторами и конденсаторами. И казалось, что так будет всегда.

Сегодня место транзисторов часто занимают микросхемы – от простого набора транзисторов до сложных процессоров. Сегодня кажется, что заниматься транзисторами, проводить опыты с резисторами – это всё не более чем анахронизм.

Однако даже самые изощрённые микросхемы не заменят человеку знаний, тем более, что микросхемы не более чем конюшни, куда загнали вольные стада, некогда бродившие на свободе. Без понимания простых правил, лежащих в основе электроники, без понимания того, как работают компоненты микросхем, далеко не всегда получится осуществить задуманное. Приведу простой пример.

Вам понадобилось усилить сигнал с частотой 500 кГц, неважно зачем. Вам посоветовали использовать операционный усилитель (микросхем операционных усилителей сегодня очень много). Вы, как сознательный гражданин, заглянули в справочник, выбрали модель, которая усиливает до 1 МГц. Если вам нужно усилить сигнал в 10-20 раз, то я не уверен, что вы добьётесь успеха.

## Операционный усилитель

Идея создания микросхем операционных усилителей, возможно, возникла из необходимости усовершенствовать аналоговые вычислительные машины, где операционные усилители выполняли такие операции, как масштабирование (усиление в заданное число раз), интегрирование, дифференцирование и т.д.

У операционного усилителя два входа, прямой и инверсный, выводы питания, как правило для питания операционных усилителей используют два одинаковых источника напряжения, и выход. Некоторые модели имеют больше выводов, о назначении которых лучше узнавать из справочника.

Операционные усилители редко используют без отрицательной обратной связи. На этом основано их применение в качестве масштабирующих усилителей: необходимо, чтобы усилитель усиливал сигнал от 1 до очень больших значений. Но усилители, имеющие несколько каскадов, соединённых последовательно, при введении глубокой отрицательной обратной связи склонны терять устойчивость, превращаясь в генераторы. Поэтому операционные усилители общего назначения, чаще всего, создают так, чтобы их амплитудно-частотная характеристика плавно убывала от очень низких частот (порядка 10-20 Гц) до верхней граничной частоты. Про такую АЧХ говорят, что спад у неё идёт в 20 дБ на декаду, то есть, при изменении частоты в десять раз, усиление по напряжению уменьшается тоже в 10 раз.

Рассмотрим достаточно часто применяемую микросхему двоянного операционного усилителя LM358. Назначение выводов можно найти в справке к этой микросхеме.

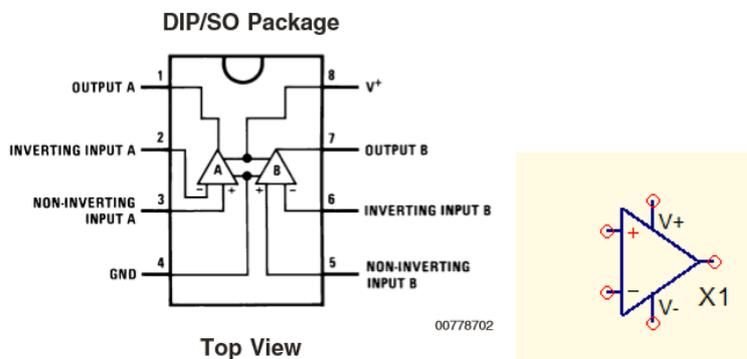


Рис. 8.1. Назначение выводов микросхемы LM358 и графическое изображение ОУ или OpAmp

На графическом изображении значком «+» обозначают прямой вход, а значком «-» обозначают инверсный вход, куда и подключают цепь отрицательной обратной связи.

### Опыт первый: отрицательная обратная связь для ОУ

Проведём этот опыт в программе моделирования, которая позволяет снять АЧХ в широком диапазоне частот и напряжений на выходе.

На рисунке ниже первая диаграмма – это амплитудно-частотная характеристика (в децибелах) при значении сопротивления резисторов, как показано на схеме.

Ниже диаграмма АЧХ при значении сопротивления резистора  $R_2 = 10 \text{ кОм}$ .

Последняя диаграмма получена при значении  $R_2 = 1 \text{ кОм}$ .

Как можно видеть, меняя значение этого резистора, а это резистор делителя напряжения с выхода усилителя к его входу (резистора, определяющего, какая часть выходного напряжения попадает на вход, то есть, определяющего глубину отрицательной обратной связи), можно менять усиление.

Используя маркеры программы QucsStudio, вы можете определить верхнюю граничную частоту в каждом из этих трёх случаев.

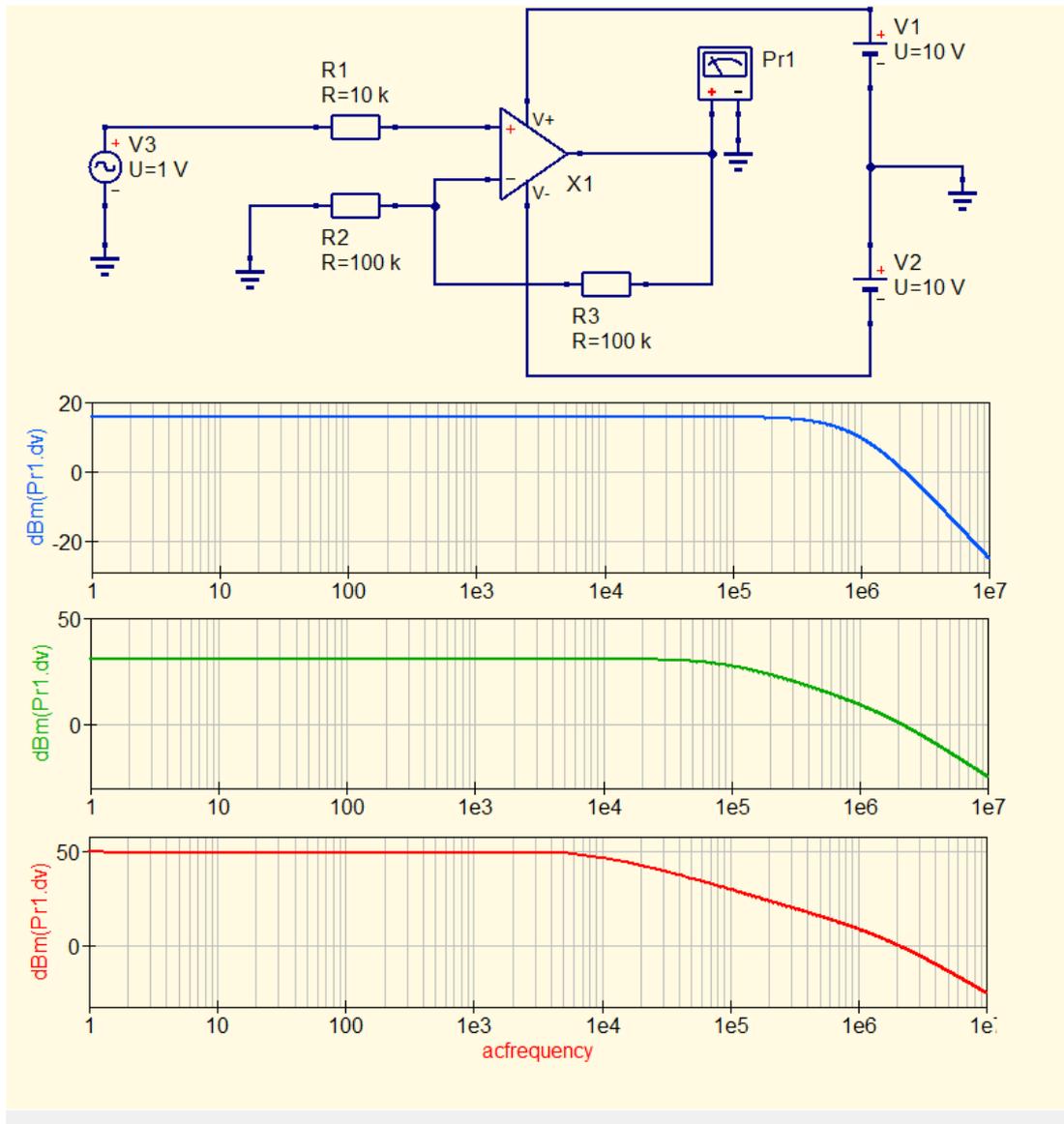


Рис. 8.2. АЧХ операционного усилителя при разной глубине отрицательной обратной связи

### Опыт второй: усиление

Пока в вашем распоряжении только мультивибратор (если вы его не разобрали) и мультиметр, вам трудно снимать частотные характеристики в полном объеме. Но мультиметр в паре с мультивибратором позволят вам оценить усиление схемы с операционным усилителем.

Операционный усилитель LM358, если взглянуть на справочный листок, допускает использование однополярного питающего напряжения. Вдобавок наш источник сигнала – мультивибратор – это генератор однополярных импульсов. Схема опыта, благодаря этому, упрощается.

Для первого опыта делитель напряжения мультивибратора выберите таким, чтобы на выходе получился сигнал с амплитудой напряжения 1В. Конденсаторы мультивибратора выбирайте такими, чтобы частота импульсов была близка к 1 кГц.

Коэффициент усиления ОУ определяется отношением суммы сопротивления резисторов R2 и R3 к величине сопротивления R2. В первом случае мы должны получить его равным 2, что показывает моделирование в программе QucsStudio.

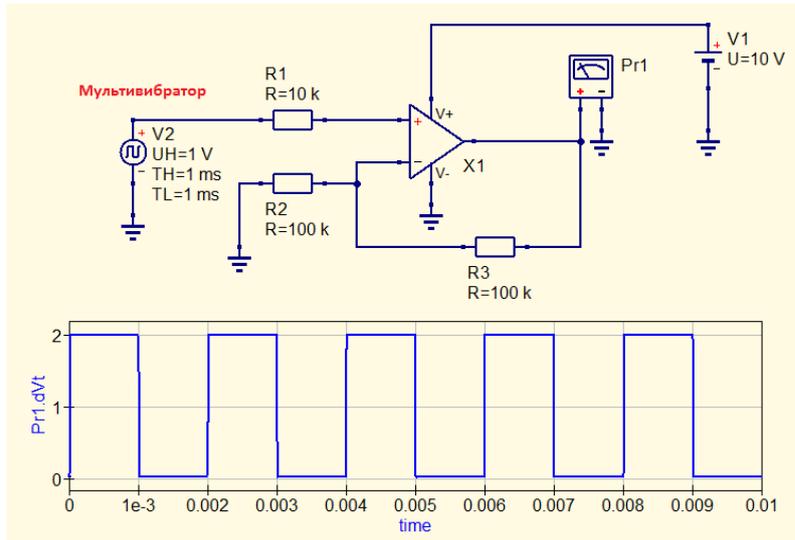


Рис. 8.3. Первый эксперимент по измерению усиления ОУ

Использование прямоугольных однополярных импульсов позволяет использовать мультиметр в двух режимах измерения. Самый чувствительный диапазон измерения переменных напряжений у нашего мультиметра это 200В. Этот диапазон позволяет измерять напряжения в несколько вольт, но не позволит измерить напряжение на входе достаточно уверенно. Поэтому мы проведём измерение в режиме переменного напряжения, а затем повторим это измерение в режиме измерения постоянного напряжения.

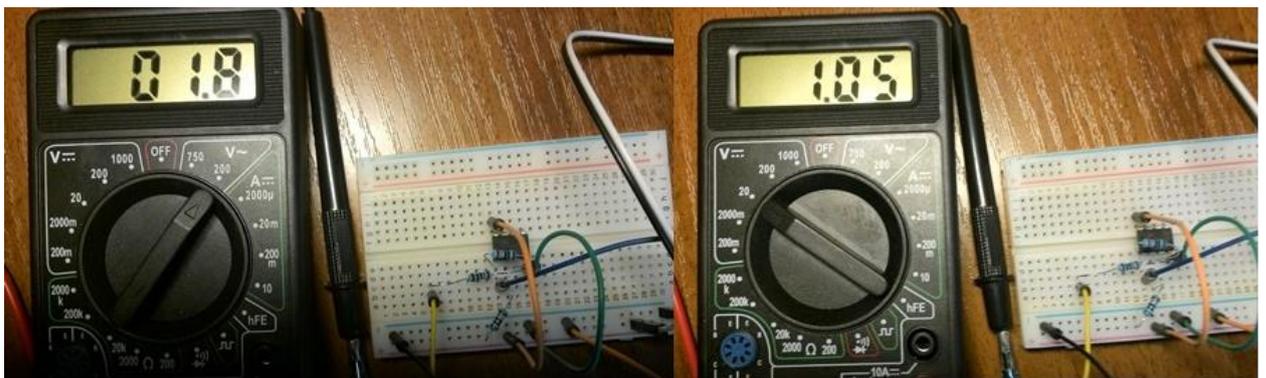


Рис. 8.4. Два измерения напряжения на выходе ОУ

Слева, как вы видите, измеряется переменное напряжение, справа постоянное. Измерение постоянного напряжения удобнее в части выбора диапазона. И это можно подтвердить измерением напряжения на входе.

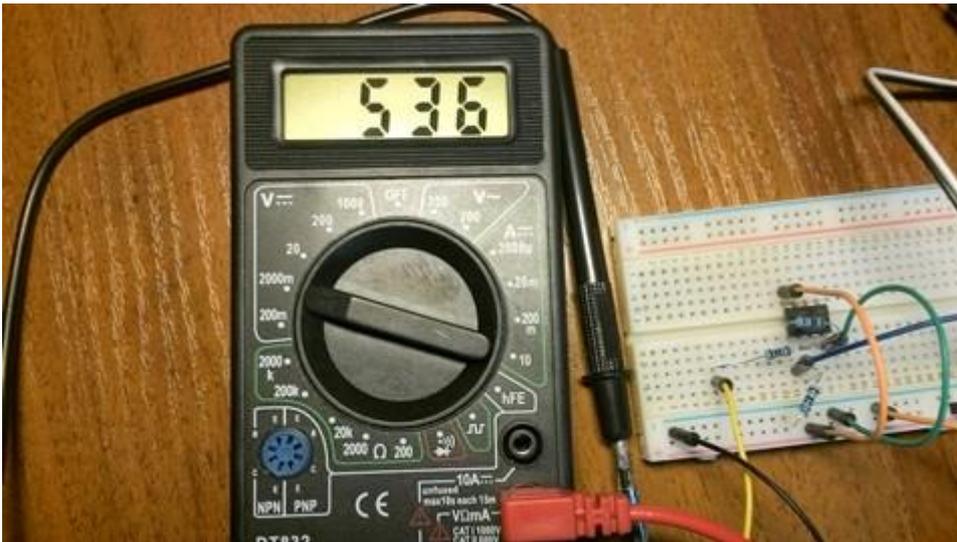


Рис. 8.5. Измерение напряжения на входе

Разделив два напряжения, измеренные в режиме измерения постоянного напряжения,  $1050\text{мВ}/536\text{мВ} = 1.96$  мы получим коэффициент усиления. Поскольку мы постарались с мультивибратора подать напряжение с амплитудой близкой к 1В, то напряжение, показанное мультиметром в режиме измерения переменного напряжения, то есть, 1.8 мы принимаем в качестве усиления по напряжению. С учётом разных факторов, как то: точность измерений, условия измерения переменного напряжения и т.п., - с учётом этих факторов измеренные значения близки к полученным при моделировании настолько, что можно считать их истинными значениями. На практике, если не оговорено иное, достаточно точности измерения в 5-10%.

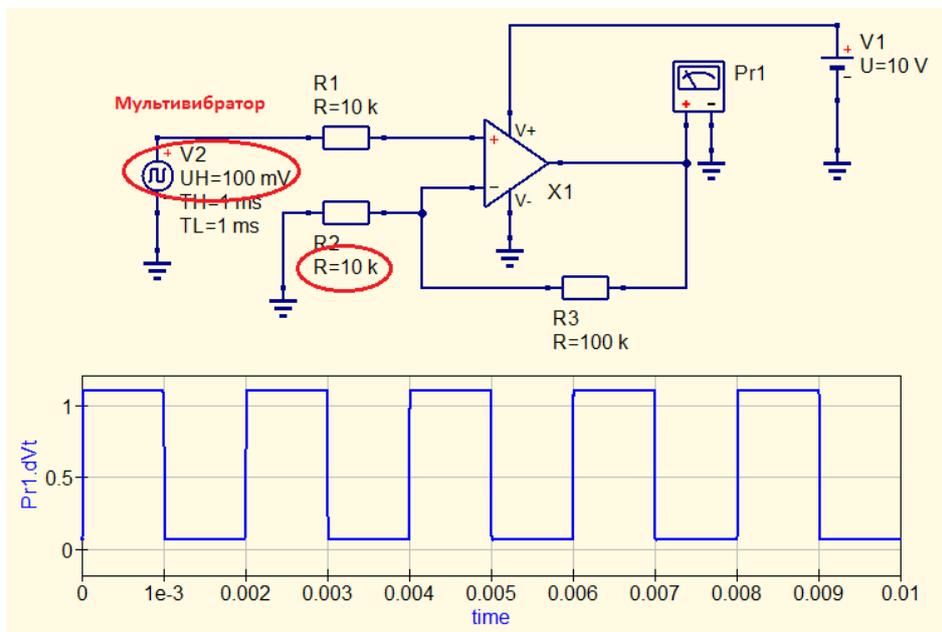


Рис. 8.6. Второй эксперимент по усилению ОУ

Повторите предыдущие измерения с учётом изменения входного напряжения и глубины обратной связи.

## Цифровые микросхемы

Если аналоговые микросхемы работают с сигналами, которые меняются непрерывно в заданном диапазоне значений напряжения, то цифровые микросхемы «признают» только напряжения двух уровней: низкого уровня (логического нуля, как правило) и высокого уровня (логической единицы).

Для разных типов микросхем логический ноль и логическая единица могут иметь разные значения напряжения. Для одной из самых популярных некогда серий микросхем ТТЛ-логики, серии К155, логический ноль – это напряжения ниже 0.5В, а логическая единица – напряжение выше 2.5В. Почти одновременно с серией микросхем К155 появилась серия микросхем, выполненная на транзисторах другого вида, полевых (или канальных) транзисторах. Микросхемы этого вида были значительно менее расточительны в плане потребления, но и более «нерасторопны». У полевых транзисторов, в отличие от биполярных, ток проходит от истока к стоку (подобно эмиттеру и коллектору) по каналу в полупроводнике одного типа, притом ширина канала – а, значит, и его сопротивление – ширина канала определяется напряжением, приложенным относительно истока к затвору транзистора (соответствует базе у биполярного транзистора). В последнее время ситуация существенно изменилась. Особенно после того, как процессоры стали выполнять в одном корпусе (микропроцессоры). Позже мы, возможно, вернёмся к этой теме, когда будем говорить о микроконтроллерах.

Но вернёмся к цифровым микросхемам. При использовании двух цифр, единицы и нуля, с помощью которых можно выразить любое число в двоичной форме, цифровые микросхемы позволяют выполнить все требуемые математические операции. С учётом этого и создавались серии микросхем, из которых можно собрать цифровой процессор, который и выполняет все математические операции. Мало того, сходство между двумя цифрами и двумя логическими значениями, ложно и истинно, позволяет цифровому процессору выполнять и логические операции.

Возьмём самую простую цифровую микросхему, например, К155ЛА3. Это четыре двухвходовых логических элемента И-НЕ. «НЕ» относится, видимо, к ещё более простой микросхеме – инвертору. Если на входе инвертора логическая единица, то на выходе ноль, и наоборот. Рассмотрим двухвходовый элемент «И» (без инверсии на выходе). Состояние выхода элемента – напомним, что их может быть только два: истинно (единица) и ложно (ноль) – определяется сигналами на входах. Описывается состояние выхода с помощью таблицы, которая называется таблицей истинности. Вот как это выглядит в программе QucsStudio.

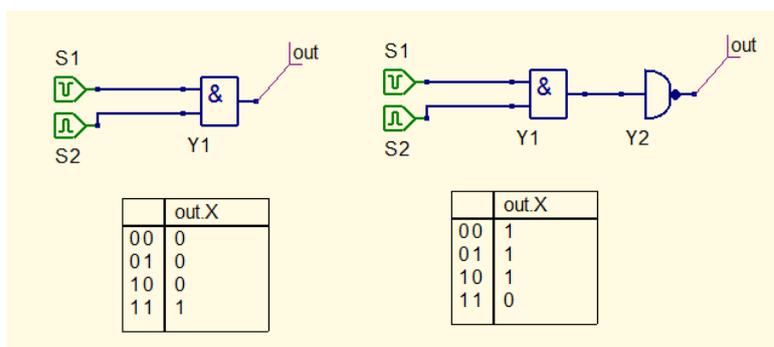


Рис. 8.7. Таблица истинности для элемента «И» и для элемента «И-НЕ»

В левой части таблицы состояние входов, в правой – выходы. Если у вас есть микросхема К155ЛА3, вы можете проверить, что правая таблица истинности справедлива, а именно: ноль на выходе появляется только тогда, когда на оба входа элемента поданы единицы, то есть, единица И на первом, И на втором входах.

В сериях цифровых микросхем есть такие компоненты, как двоичные счётчики. Когда-то на счётчиках делали цифровые часы и таймеры. Для вас счётчик представляет интерес в одном плане: добавив его к мультивибратору, вы получите ряд частот. К сожалению, в программе QucsStudio я не нашёл счётчика, но его можно выполнить на триггерах.

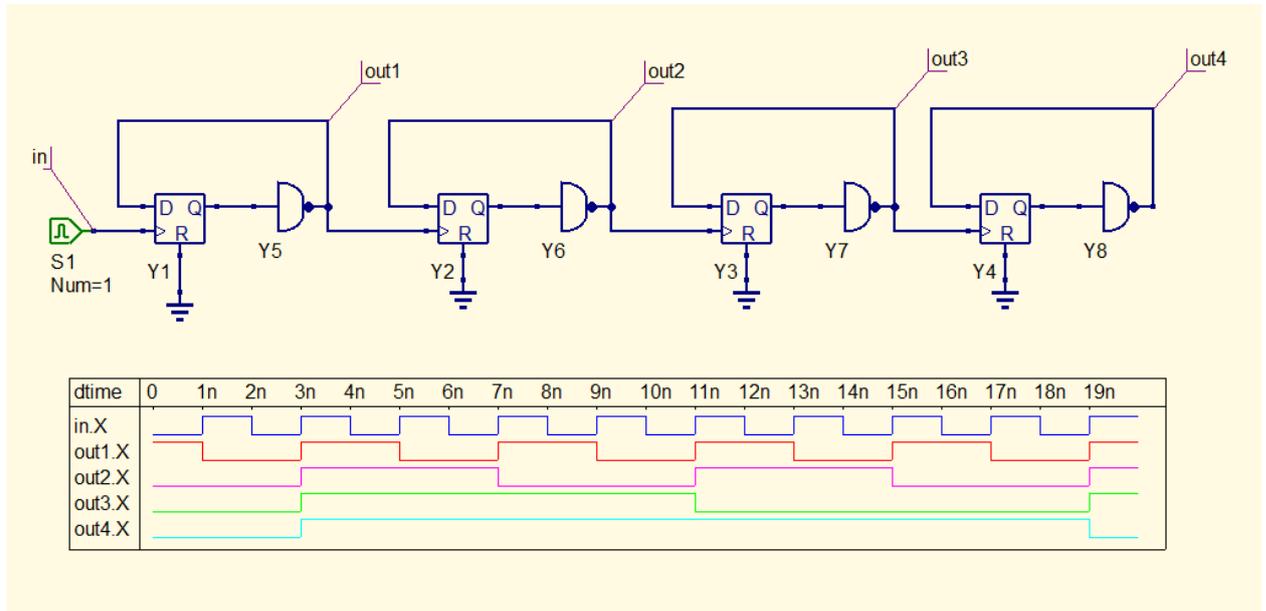


Рис. 8.8. Работа двоичного счётчика

Каждый фронт импульсного сигнала на входе счётчика увеличивает на единицу значение на его выходе. То есть, счётчик делает то, к чему и предназначен, считает. Но одновременно он делит частоту входного сигнала на два по каждому из выходов. Применяя счётчик серии К561 (или схожей) вы можете получить вместе с мультивибратором генератор с набором частот. Например, настроив мультивибратор на частоту 10 кГц, вы получите частоты 5, 2.5, 1.25, 0.625 кГц. Используя счётчик К561ИЕ10 (два двоичных счётчика), вы получите ещё более широкий диапазон частот. И эта микросхем позволит вам питать всё от одной батарейки 9В. А ещё...

### Микросхемы смешанного типа

Есть микросхемы «смешанной идеологии», в качестве примера, я хочу привести только одну микросхему смешанного типа, микросхему таймера 555.

Часть микросхемы построена аналогично тому, как устроены усилители. Другая часть похожа на устройство цифровых микросхем.

Эта микросхема находит применения во многих случаях, но вот то, к чему я хотел бы привлечь ваше внимание.

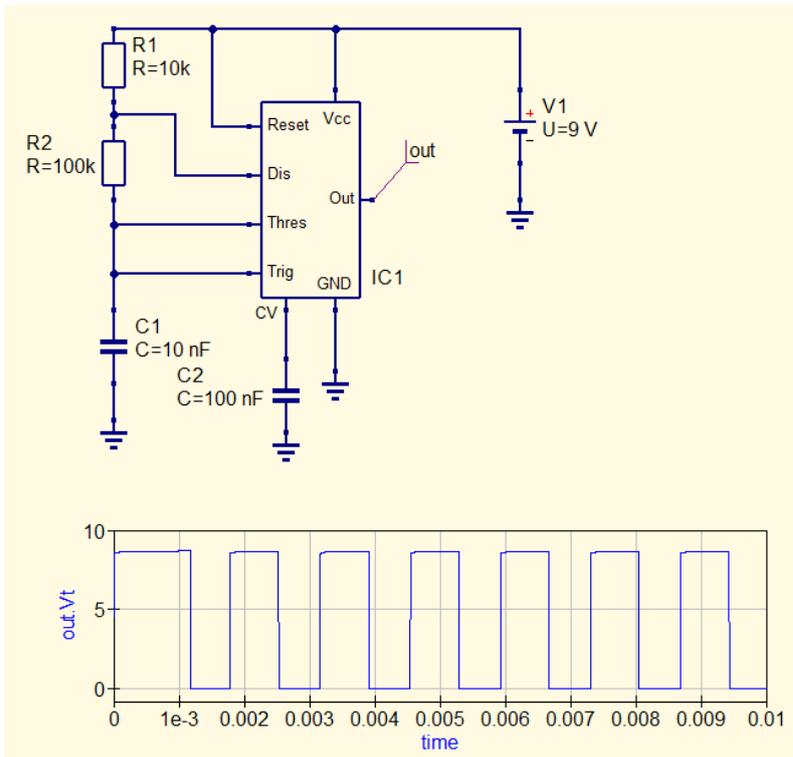


Рис. 8.9. Генератор на микросхеме КР1006ВИ1 (LM555)

Если изменить ёмкость конденсатора C1, уменьшив её или увеличив в 10 раз, частота прямоугольных импульсов на выходе изменится.

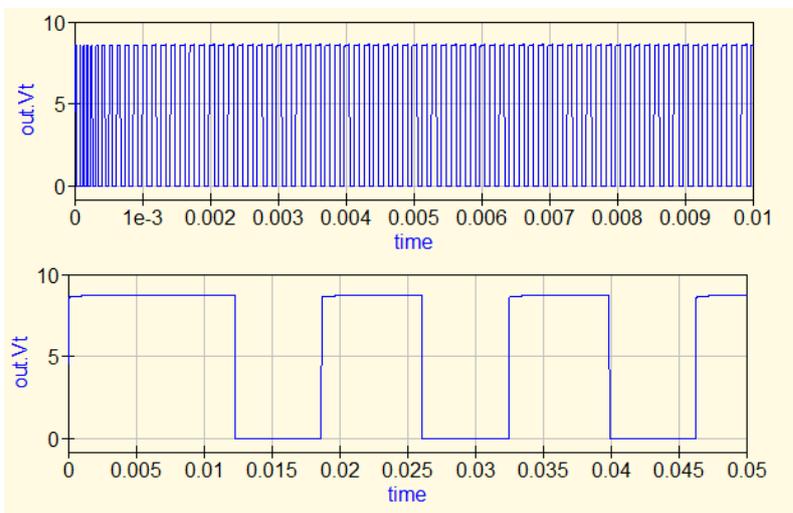


Рис. 8.10. Изменение частоты импульсов с изменением ёмкости конденсатора

Теперь вы можете заменить мультивибратор генератором на микросхеме таймера 555. Используя три конденсатора, вы получите возможность использовать три частоты импульсов в своих экспериментах. И не только. Позже можно модифицировать схему, получив в своё распоряжение недорогой и полезный прибор.

## Глава 9. Индуктивность и немного о фильтрах

Индуктивность или катушка индуктивности получается тогда, когда вы наматываете провод на цилиндрическую оправку. Графическое исполнение индуктивности на схеме показано ниже, обозначают её латинской буквой «L», основная единица – Гн (Генри), но часто используют меньшие единицы, миллигенри и микрогенри.

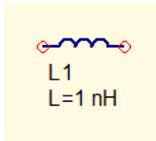


Рис. 9.1. Графическое обозначение индуктивности

Индуктивность антипод конденсатора. Как и конденсатор, индуктивность имеет реактивное сопротивление переменному току, но для постоянного тока её сопротивление невелико, тогда как конденсатор постоянный ток не пропускает. И, если сопротивление конденсатора обратно пропорционально частоте и величине ёмкости, то для индуктивности всё наоборот. Сопротивление индуктивности переменному току прямо пропорционально частоте и величине индуктивности. Индуктивность тем больше, чем больше витков у катушки, и очень сильно зависит от сердечника внутри катушки.

Если две катушки индуктивности намотаны одна поверх другой (или расположены рядом) между ними возникает связь. Если в качестве сердечника используется железо, то мы получаем хорошо знакомый компонент – трансформатор.

Тот факт, что конденсатор и индуктивность ведут себя по отношению к переменному току как антиподы, позволяет задаться вопросом: что интересного можно получить, когда их реактивные сопротивления равны, а конденсатор соединён с индуктивностью?

Оказывается, что есть частота, на которой конкретная индуктивность и конкретный конденсатор имеют равные реактивные сопротивления. Ниже представлена схема, где индуктивность и конденсатор соединены параллельно. К цепи подключен генератор прямоугольных импульсов. Длительность импульсов больше времени наблюдения.

Верхняя диаграмма показывает, что происходит за время наблюдения, а нижняя диаграмма показывает небольшой участок этого времени.

Напряжение от генератора импульсов на всём протяжении времени наблюдения не меняется. После изменения от 0 до 1В в начальный момент времени, напряжение на входе испытуемой электрической цепи остаётся постоянным, как если бы мы подключили к ней батарейку.

Верхняя диаграмма показывает, что в цепи возникают затухающие колебания, частота которых, как следует из нижней диаграммы, остаётся постоянной. Эту частоту называют частотой резонанса, а сам процесс называют резонансом. На частоте резонанса реактивные сопротивление индуктивности и конденсатора равны.

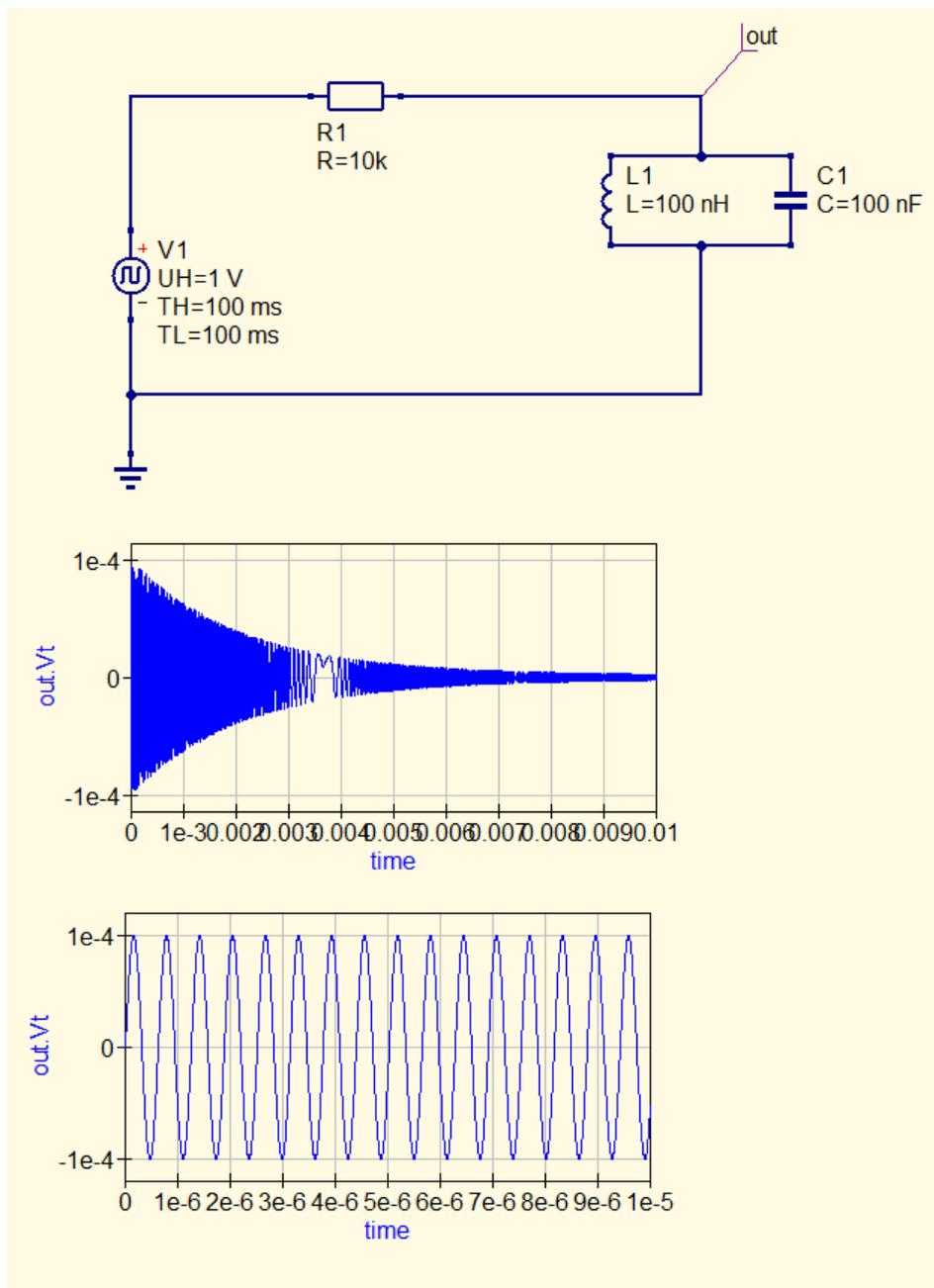


Рис. 9.2. Параллельное соединение конденсатора и индуктивности

Если увеличить частоту генератора, то можно наблюдать такую картину (к ней мы, возможно, позже вернёмся):

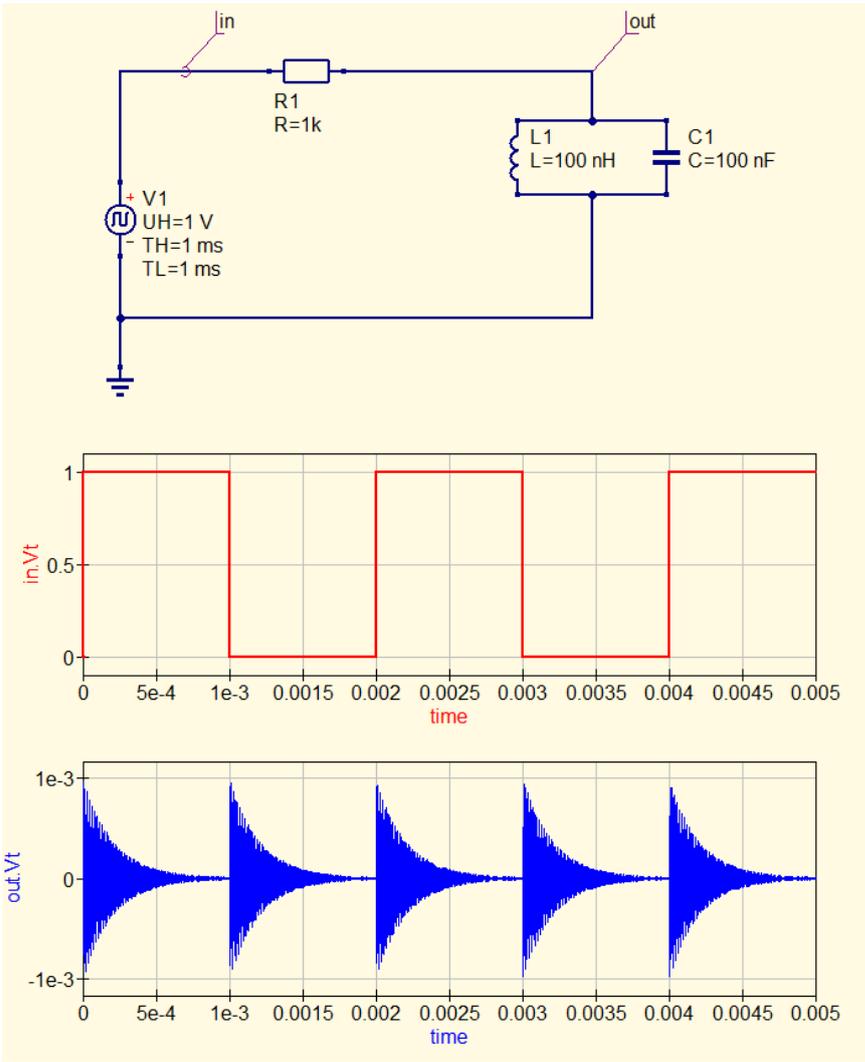
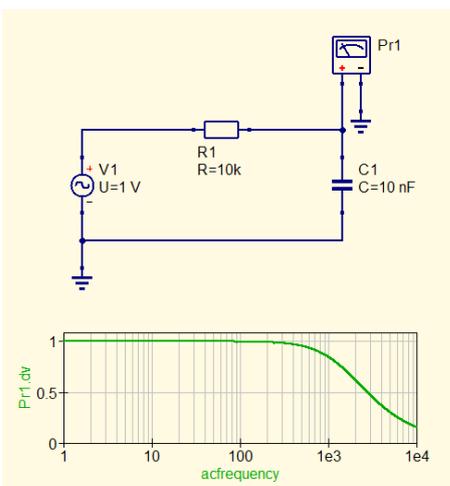


Рис. 9.3. Генератор биений

Конденсаторы и индуктивности активно используются в разного рода фильтрах. Рассмотрим несколько электрических цепей.



Как видно из диаграммы, эта электрическая цепь пропускает низкие частоты, но, начиная с некоторой частоты, сигнал начинает убывать.

Такая цепь используется для того, чтобы отсечь высокие частоты, отфильтровать их.

Рис. 9.4. Амплитудно-частотная характеристика RC цепи

Заменяем конденсатор индуктивностью. Получим:

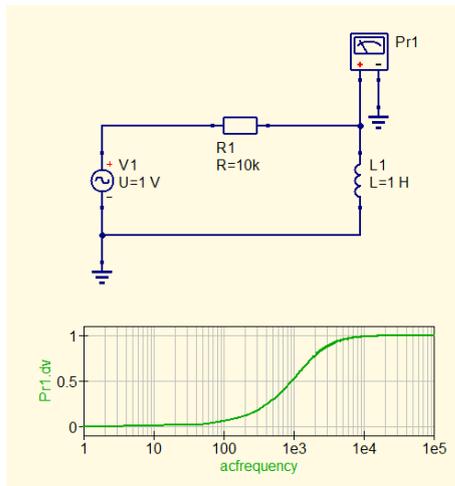


Рис. 9.5. Амплитудно-частотная характеристика RL цепи

Замена конденсатора индуктивностью приводит к тому, что теперь хорошо проходят высокие частоты, а низкие частоты отфильтровываются.

И в предыдущем случае, и в этом ясно, что резистор и реактивное сопротивление образуют делитель напряжения. Поскольку реактивное сопротивление зависит от частоты, от частоты зависит и то, как делится напряжение, приложенное ко входу цепи.

Фильтры низких и высоких частот не единственные, применяемые на практике. Есть фильтры полосовые, пропускающие полосу частот; есть фильтры режекторные, вырезающие одну частоту или полосу частот. Чтобы улучшить характеристики фильтров, их снабжают активными элементами, часто такие активные фильтры строят с применением операционных усилителей.

Если вы собрали генератор на таймере 555, вы можете провести эксперименты с конденсаторами и индуктивностями, построив АЧХ хотя бы для нескольких точек. Не то, чтобы были сомнения в приведённых примерах фильтров, но такие простые опыты позволят вам быстрее освоить измерения, что так необходимо при наладке и проверке работы более сложных схем.

## Глава 10. Микроконтроллеры

В конечном счёте, как это не прозвучит странно, микроконтроллер – это просто микросхема. Просто микросхема, когда вы держите её в руках. Но совсем не просто, если вы намерены её использовать. Дело в том, что микросхемы, о которых мы говорили раньше, тоже не так просто устроенные, тем не менее, были «готовы к употреблению» сразу, как только вы их приобрели.

Не так с микроконтроллером. До того, как вы используете микроконтроллер в своей схеме, вы должны записать в него программу. А до того, как вы запишите в микроконтроллер программу, вы должны эту программу написать.

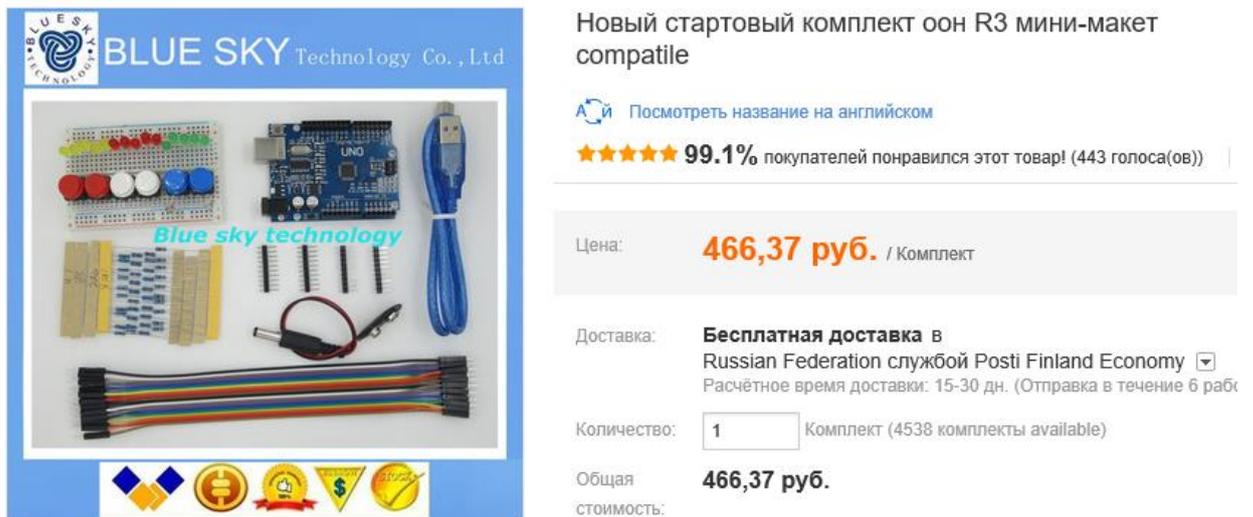
Микроконтроллер очень похож на компьютер. Он тоже имеет встроенный в него процессор, имеет ряд встроенных устройств, имеет встроенную память для записи программы и оперативную память для работы с переменными. На границе с внешним миром у микроконтроллера стоят порты ввода-вывода. В основном выводы микроконтроллера могут принимать или отправлять (по вашему выбору) цифровые сигналы (они же логические уровни). Но ряд контроллеров может принимать и аналоговые сигналы, которые могут обрабатываться процессором внутри микроконтроллера.

Сегодня есть большой выбор конкретных микроконтроллеров, но я рекомендую вам, если вы только начинаете осваивать работу с микроконтроллером, приобрести модуль Arduino. Набор для

начинающих, включающий модуль Arduino UNO, беспаячную макетную плату и ряд полезных компонентов обойдётся вам сегодня чуть дороже 500 руб. И чтобы там не говорили, сегодня это самый удобный и дешёвый способ познакомиться с микроконтроллерами.

Зайдите на сайт <http://ru.aliexpress.com/>

Введите в строку поиска Arduino Starter kit... Согласитесь, есть на что посмотреть. Но для дальнейших опытов с микроконтроллером я воспользуюсь самым дешёвым вариантом.



Новый стартовый комплект оон R3 мини-макет compatible

[Посмотреть название на английском](#)

★★★★★ 99.1% покупателей понравился этот товар! (443 голоса(ов))

Цена: **466,37 руб.** / Комплект

Доставка: **Бесплатная доставка в** Russian Federation службой Posti Finland Economy   
 Расчётное время доставки: 15-30 дн. (Отправка в течение 6 раб)

Количество:  Комплект (4538 комплекты available)

Общая стоимость: **466,37 руб.**

Рис. 10.1. Самый дешёвый набор для начинающих осваивать микроконтроллер

Для записи программы (программирования) в микроконтроллер пользуются специальным устройством, которое называется программатором. Модуль Arduino позволяет вам обойтись без этого устройства. Более того, вы сможете проделать все эксперименты, используя один и тот же модуль, но познакомившись практически со всем тем, что позволяет сделать микроконтроллер.

Что же касается создания программы, то это вам придётся освоить. Конечно, можно, как и в случае с прочими электронными устройствами, использовать что-то готовое. Этот так. Но это и не интересно, и бесполезно. Лучше выбрать для себя подходящую среду программирования и научиться программировать самостоятельно.

Для модуля Arduino есть общепринятая программная среда, которая называется, думаю, это вас не удивит, Arduino. Язык программирования в этой среде разработки похож на язык Си.

Можно использовать среды разработки с графическим языком программирования. Есть коммерческие и бесплатные версии.

В основе модуля Arduino микроконтроллеры фирмы Atmel из модельного ряда AVR. Поэтому вы можете использовать среду разработки, предоставляемую фирмой изготовителем Atmel Studio.

## Глава 11. Генератор сигналов с модулем Arduino

Что генератор прямоугольных импульсов полезен, мы убедились ранее. Что такой генератор можно сделать по-разному, мы тоже убедились. Теперь посмотрим, что от нас требуется, чтобы выполнить генератор на микроконтроллере.

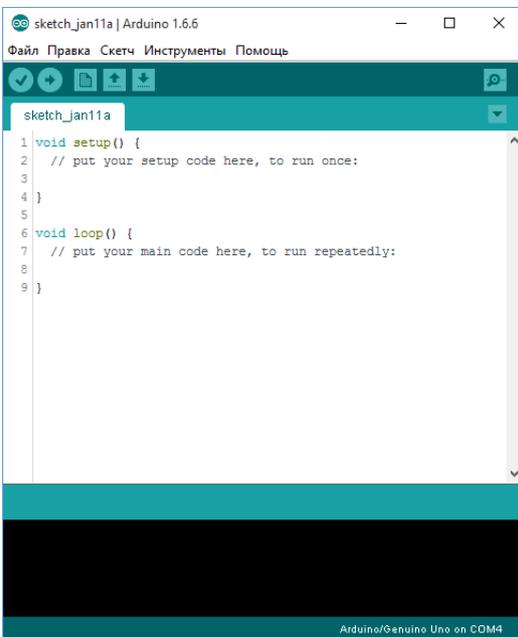
## Опыт первый: генератор импульсов с программой в среде Arduino

Мы начнём с генератора, который работает на одной частоте. Итак, подразумевается, что у вас есть модуль Arduino UNO. Теперь вам следует загрузить программу Arduino:

<https://www.arduino.cc/en/Main/Software>

Это официальный сайт создателей проекта Arduino, где можно загрузить бесплатную, но полезную среду разработки. Я использую версию 1.6.6, хотя, думаю, появилась и более поздняя версия. Устанавливается программа, как и все остальные в вашей операционной системе. Если это Windows, то запускаете установку, соглашаетесь с предложениями и получаете версию программы готовую к работе. В Linux можно найти программу в дистрибутиве или тоже скачать с сайта проекта, выбрав вариант для вашего дистрибутива Linux. Всё остальное будет одинаково и для Windows, и для Linux.

После запуска программы вы получаете заготовку для первой программы:



```
sketch_jan11a
1 void setup() {
2   // put your setup code here, to run once:
3
4 }
5
6 void loop() {
7   // put your main code here, to run repeatedly:
8
9 }
```

Программа состоит из двух основных блоков, обозначенных как `setup()` и `loop()`. Первый блок предназначен для настройки, а во втором блоке осуществляется вся работа микроконтроллера.

Программирование – это план работы для микроконтроллера, где по шагам расписано, что он должен делать.

План этот записан на языке, который понимает специальная программа, которую называют компилятором (переводчиком, транслятором). Компилятор переводит этот план на язык, понятный микроконтроллеру.

Рис. 11.1. Шаблон для программы в среде программирования Arduino

Почему нужен переводчик с одного языка на другой?

Он и не нужен, если вы свободно владеете языком нулей и единиц для данного конкретного микроконтроллера. С помощью чисел в двоичной системе счисления при изготовлении микроконтроллера записаны команды, которые контроллер будет выполнять. Вы записываете первую команду, микроконтроллер её прочитывает и выполняет; сколько бы команд вы не записали (в пределах доступной для команд памяти), столько их выполнит контроллер. Эти команды вы можете записать в блокноте, создать файл в формате, который понимает программатор, и с его помощью запрограммировать микроконтроллер. Так можно делать, и вам не нужен будет переводчик. Но записывать команды с помощью нулей и единиц сложно.

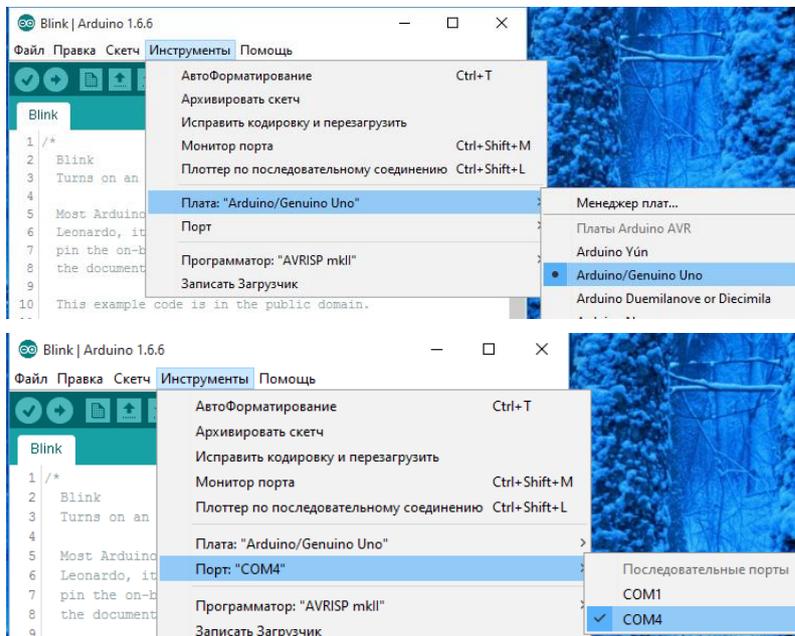
Поэтому позже математики, которые тогда занимались программированием, придумали записывать команды в шестнадцатеричной системе счисления, запоминать такие числа проще.

Позже они придумали язык ассемблер, где команды записываются с помощью аббревиатуры команд из обычного языка. Но теперь уже потребовался переводчик. Он существует и теперь, называется ассемблер. На этом языке вам придётся расписать для микроконтроллера все шаги, включая самые мелкие, самые простые.

Работа на ассемблере требует большого опыта и практики, чтобы программа получилась достаточно хорошей. Поэтому позже придумали переводчик с человеческого языка на процессорный. Команды записываются обычными словами, например, read, write, print и т.п.

С подобными командами вам и придётся иметь дело в среде программирования Arduino.

Подключается модуль Arduino к порту USB с помощью кабеля, который есть в наборе. Затем в программе следует настроить подключение к модулю.



Вначале следует выбрать из списка модулей ваш модуль (в данном случае Arduino UNO).

Затем следует выбрать COM-порт. Хотя модуль подключается к порту USB, он создаёт виртуальный COM-порт.

К этому порту вам следует подключиться до начала работы с модулем. Теперь можно заняться программой.

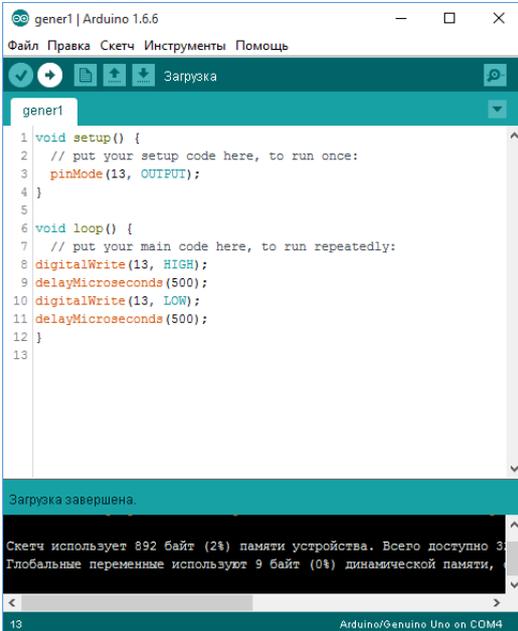
Рис. 11.2. Подключение модуля Arduino к программе

Итак, первое, что нам нужно сделать, это дать команду микроконтроллеру, что мы используем его вывод 13 для цифрового вывода. Почему вывод 13? У модуля Arduino на этом выводе есть светодиод, который покажет нам состояние этого вывода. Цифровые выходы микроконтроллера могут находиться в двух состояниях: логической единицы (на выводе напряжение близкое к питающему 5В) и логического нуля (на выводе напряжение близкое к нулю). Когда выход 13 в состоянии логической единицы, светодиод загорается, подсказывая нам, что наша команда работает.

Но вернёмся к первому указанию контроллера, записывается оно так: `pinMode(13, OUTPUT);`

Можно перевести это указание – режим вывода, а в скобках параметры, то есть, номер вывода и собственно режим, выход.

Этим указанием в данном случае и ограничивается блок настройки. А далее следует заполнить блок `loop()`, цикл. Это бесконечный цикл, все контроллеры, за редким исключением, работают в этом бесконечном цикле: выполняется первая команда, затем вторая и т.д., а после последней команды вновь выполняется первая. Что контроллер должен делать в цикле?



```

1 void setup() {
2   // put your setup code here, to run once:
3   pinMode(13, OUTPUT);
4 }
5
6 void loop() {
7   // put your main code here, to run repeatedly:
8   digitalWrite(13, HIGH);
9   delayMicroseconds(500);
10  digitalWrite(13, LOW);
11  delayMicroseconds(500);
12 }
13

```

`digitalWrite(13, HIGH)` – записать для цифрового вывода 13 высокий уровень.

Сделать паузу – `delayMicroseconds(500);`

После этого выключим выход `digitalWrite(13, LOW);`

и повторим паузу: `delayMicroseconds(500);`

Рис. 11.3. Программа генератора для модуля Arduino

Для загрузки программы в модуль воспользуйтесь кнопкой на инструментальной панели (она светлая на рисунке выше). После загрузки программы в модуль он начинает работать. Подключите мультиметр между выводами GND и 13 модуля (все выводы обозначены). Вспомогательный светодиод (он может быть обозначен буквой «L») на плате горит.

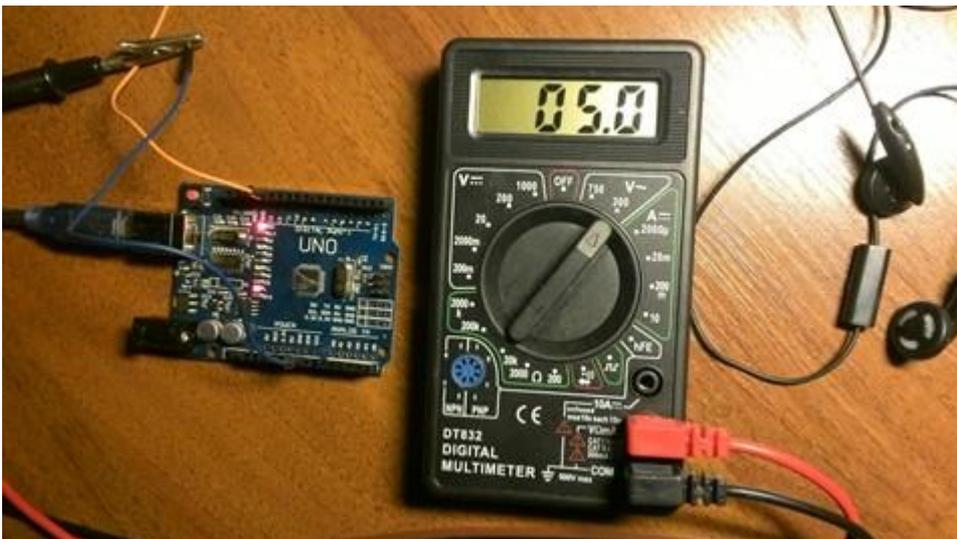


Рис. 11.4. Проверка работы генератора

Для большей уверенности вы можете использовать наушники от плеера или смартфона. Сопротивление катушки наушника около 30 Ом. Включите последовательно с наушником

сопротивление 220 Ом и подключитесь к выводам генератора. В наушниках вы услышите звук с частотой работы генератора.

### Опыт второй: генератор в среде программирования FLProg

Я уже упоминал, что можно использовать разные среды программирования. Не буду рассказывать подробно, но упомяну бесплатную и очень удобную среду разработки устройств на базе модуля Arduino (равно как и микроконтроллеров AVR). Язык этой среды разработки графический, но на основе языка программирования, который ближе тем, кому приходилось программировать промышленные контроллеры. Вот как выглядит предыдущая программа в этой среде разработки:

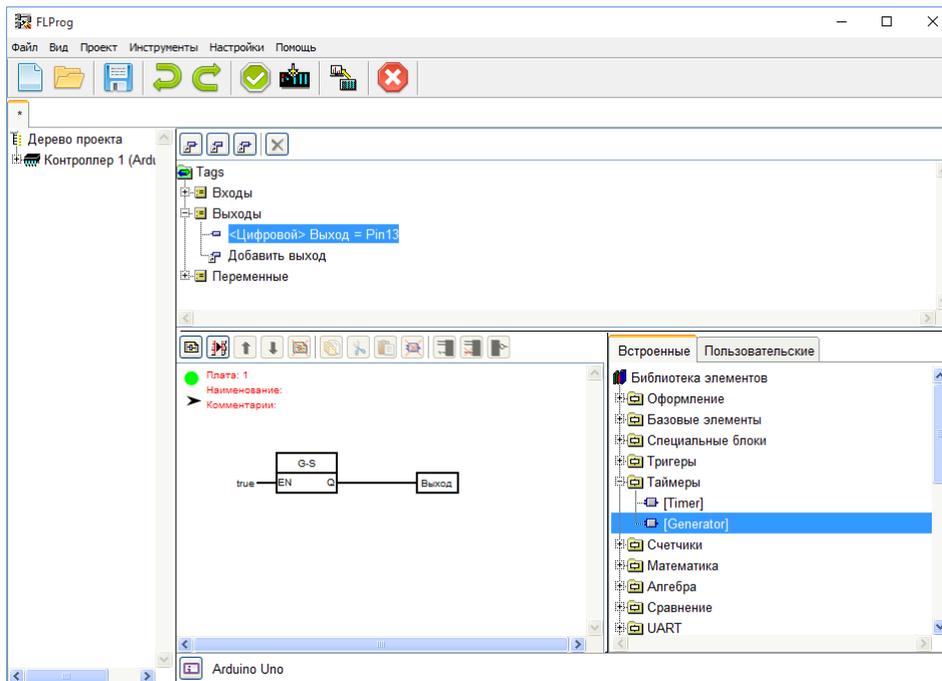


Рис. 11.5. Генератор в среде FLProg

### Опыт третий: генератор с изменяющейся частотой

С помощью двух кнопок, подключённых к цифровым входам модуля, мы будем менять длительность паузы между состояниями выхода. Сумма этих пауз определяет период колебаний, то есть, частоту повторения импульсов.

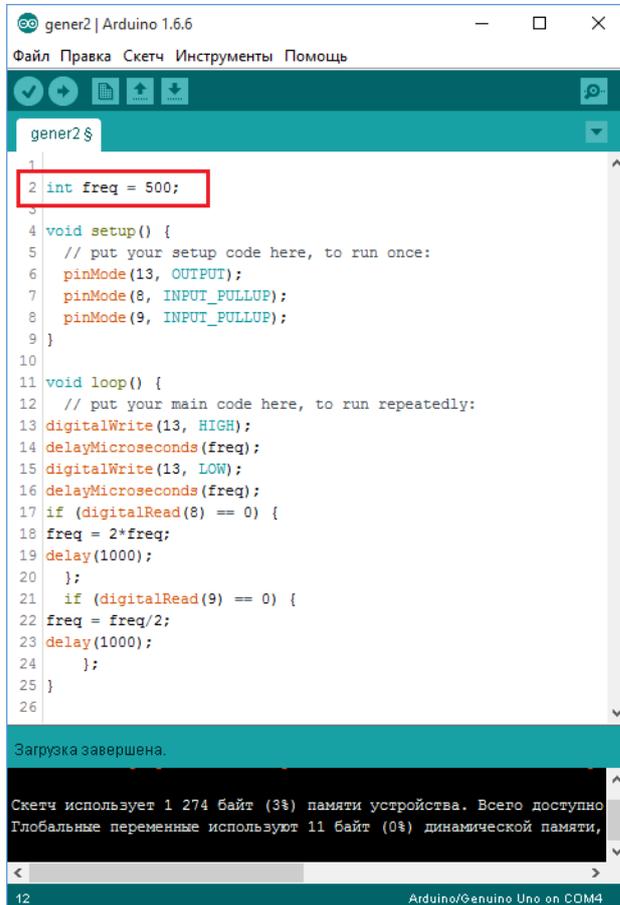
Каждое нажатие одной кнопки будет увеличивать паузу, уменьшая частоту генератора, другая кнопка уменьшит паузу.

Для подключения кнопок используются цифровые выходы в режиме входа. Поэтому в раздел `setup()` мы добавим две записи: `pinMode(8, INPUT_PULLUP); pinMode(9, INPUT_PULLUP);` - этим мы определим их режим работы (INPUT). Добавленные расширения «\_PULLUP» включают встроенные резисторы микроконтроллера, которые называются подтягивающими резисторами. Входы цифровых микросхем имеют неопределённое состояние, если с помощью резисторов их не подключить к питанию или к «земле».

Теперь режим для выводов 8 и 9 обозначен как вход с подтягиванием к плюсу питания, что подразумевает, кнопки будут подключать вывод к «земле, GND».

Мы намереемся менять частоту, поэтому в основной блок программы добавим переменную, которую назовём `freq`. Для типа переменной (а переменные могут быть разного типа) выберем целое, `int`. Этот тип переменной позволяет ей меняться до 32 тысяч.

Вот как будет выглядеть программа:



```

1
2 int freq = 500;
3
4 void setup() {
5   // put your setup code here, to run once:
6   pinMode(13, OUTPUT);
7   pinMode(8, INPUT_PULLUP);
8   pinMode(9, INPUT_PULLUP);
9 }
10
11 void loop() {
12   // put your main code here, to run repeatedly:
13   digitalWrite(13, HIGH);
14   delayMicroseconds(freq);
15   digitalWrite(13, LOW);
16   delayMicroseconds(freq);
17   if (digitalRead(8) == 0) {
18     freq = 2*freq;
19     delay(1000);
20   };
21   if (digitalRead(9) == 0) {
22     freq = freq/2;
23     delay(1000);
24   };
25 }
26
Загрузка завершена.
Скетч использует 1 274 байт (3%) памяти устройства. Всего доступно
Глобальные переменные используют 11 байт (0%) динамической памяти,
12 Arduino/Genuino Uno on COM4

```

В основном блоке программы мы, как и в предыдущем случае, будем менять состояние выхода 13 командой `digitalWrite()`. Как и ранее, состояния сохраняются на время паузы `delayMicroseconds()`.

Состояния входов 8 и 9 опрашиваются командой `if { digitalRead() == 0}`. То есть, если чтение показывает, что вход в состоянии низкого уровня, то выполняются команды в фигурных скобках. В одном случае мы увеличиваем длительность паузы, в другом уменьшаем. Вопрос может вызвать пауза `delay(1000)`. Это пауза в одну секунду, чтобы мы могли нажать и отпустить кнопку.

Обратите внимание, что объявление переменной не вошло ни в один из блоков программы.

Рис. 11.6. Программа с изменением частоты

Что с объявлением переменной? До основных блоков программы объявляются все определения; если есть необходимость включить другие файлы, то это тоже делается в самом начале программы. Здесь же объявляются переменные, которые действуют на протяжении всей программы и называются глобальными.

Загрузив программу в модуль Arduino, вы можете проверить, меняет ли нажатие кнопок частоту, подключив к выходу наушники через резистор 220 Ом. У меня есть возможность сделать это с помощью осциллографа.

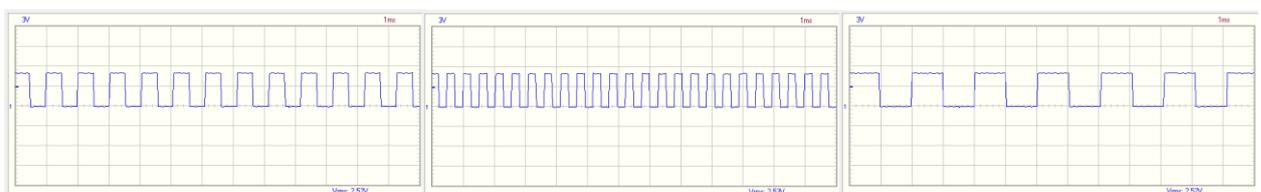


Рис. 11.7. Осциллограммы импульсов на выходе модуля

Но мне хотелось отметить одно удобство, которое вы получаете, если эксперименты проводите с модулем Arduino. Добавим в блок настроек ещё одну команду: `Serial.begin(9600);`

А при каждом нажатии кнопок будем отправлять такую команду: `Serial.println(1000000/(2*freq));`

У программы есть возможность вывести монитор, подключённый к виртуальному порту. Для этого:

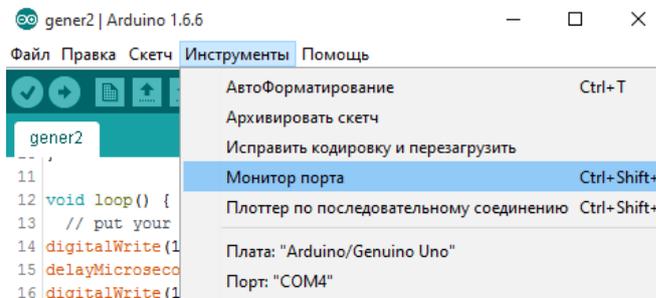


Рис. 11.8. Подключение монитора к виртуальному порту

Теперь при каждом нажатии кнопок вы будете видеть частоту генератора в герцах.

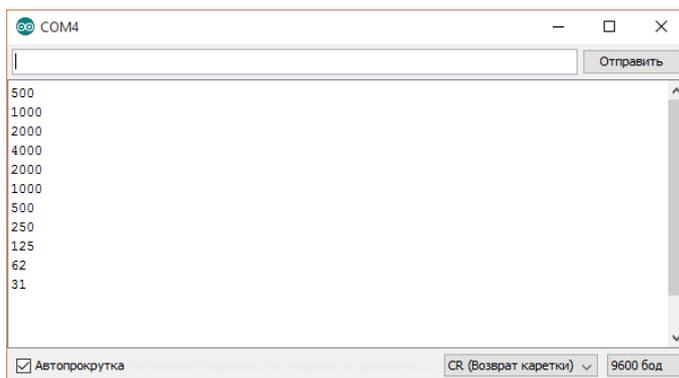


Рис. 11.9. Отображение частоты генератора на мониторе последовательного порта

Конечно, это доступно тогда, когда модуль Arduino подключён к порту USB. Но, согласитесь, это удобно!

Чтобы вам было проще проводить опыты, я приведу текст последнего варианта программы, который можно скопировать отсюда, чтобы вставить в программу Arduino.

```
int freq = 500;

void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
  pinMode(13, OUTPUT);
  pinMode(8, INPUT_PULLUP);
  pinMode(9, INPUT_PULLUP);
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
```

```
digitalWrite(13, HIGH);
delayMicroseconds(freq);
digitalWrite(13, LOW);
delayMicroseconds(freq);
if (digitalRead(8) == 0) {
  freq = 2*freq;
  Serial.println(1000000/(2*freq));
  delay(1000);
};
if (digitalRead(9) == 0) {
  freq = freq/2;
  Serial.println(1000000/(2*freq));
  delay(1000);
};
}
```

### Опыт четвёртый: аналоговый вход

Помимо цифровых входов модуль Arduino имеет аналоговые входы, вернее, часть входов микроконтроллера можно включить в режим работы с аналоговыми сигналами. У микроконтроллера есть встроенный модуль АЦП, аналого-цифрового преобразователя. Этот встроенный модуль преобразует аналоговое значение на своём входе в цифровой вид на выходе, то есть, на выходе получается число в двоичной системе счисления.

Как и в предыдущем случае, мы запишем переменную перед блоками настройки и цикла. В блоке настроек настроим последовательный порт, куда, как в предыдущем опыте, будем выводить значение сигнала на аналоговом входе.

В основном же блоке (в цикле, loop()) прочитаем аналоговый вход в переменную, а переменную выведем на монитор. Вот такая получается программа (её тоже можно копировать и вставлять в программу Arduino):

```
int inp = 0; // переменная для аналогового ввода

void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
  Serial.begin(9600); // настройка последовательного порта
}

void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
  inp = analogRead(A0); // читаем значение на аналоговом входе A0
  Serial.println (inp); // выводим это значение на монитор
  delay(1000);
}
```

После загрузки этого файла (после компиляции и загрузки), включив в программе монитор, вы увидите меняющиеся значения, которые сменяют друг друга. Это связано с наводками на открытый и чувствительный вход. Закоротите выводы GND и A0, вы увидите только 0.

Подключим батарейку 1.5В минусом к выводу GND, а плюсом к A0.

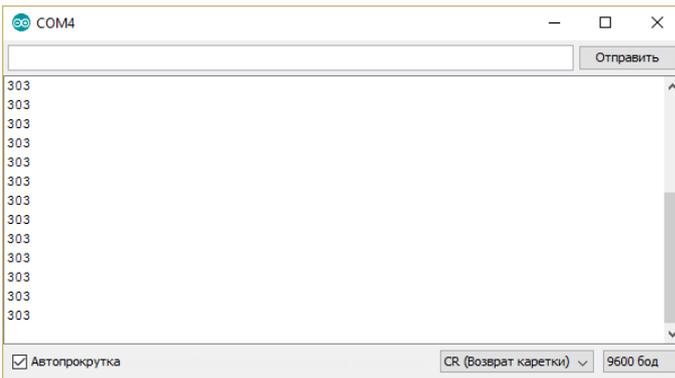


Рис. 11.10. Значение 1.5В на экране монитора

Встроенный в микроконтроллер АЦП измеряет напряжения от 0 до 5В. Используется 10 разрядов для записи этого числа в двоичном виде. Таким образом, максимальное десятичное число будет 1023, а каждая единица отсчёта:  $5000/1023 = 4.88$  мВ. Умножим полученное число на это значение:  $303 * 4.88 = 1478.64$ . Мы можем изменить вывод на монитор, используя такую команду:

```
Serial.println (inp*4.88);
```

В этом случае на мониторе появится такой вывод измеряемых значений:

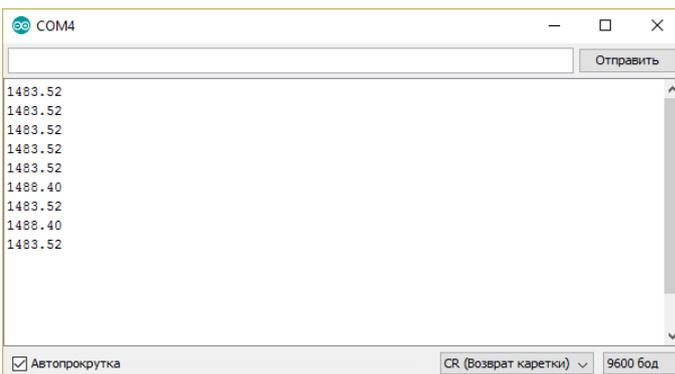


Рис. 11.11. Вывод на монитор значений напряжения в милливольтках

Измерение напряжения батарейки мультиметром даёт значение 1493 мВ. А повторное измерение с помощью достаточно точного прибора показывает, что напряжение батарейки 1.4906 вольт. И наш самый дешёвый мультиметр и в этот раз показал, что он совсем не плох.

А возможность использовать аналоговый вход модуля Arduino мы рассмотрим ещё на одном примере...

## Глава 12. Arduino и осциллограф

Аналого-цифровой преобразователь, встроенный в модуль Arduino, может выполнять измерения многократно. В результате, если на аналоговый вход подать изменяющееся напряжение, то по последовательности измерений, собранных вместе, можно построить график этого напряжения.

Программа, работающая на компьютере, может выполнить построение графика очень быстро. Достаточно передать на компьютер последовательность измерений напряжения. Для отправки

данных на компьютер используют виртуальный COM-порт. Симбиоз компьютера и модуля Arduino превращает последний в осциллограф.

Скоростные возможности этого осциллографа ограничены в первую очередь скоростью передачи данных по последовательному порту. Если вы откроете в Windows свойства виртуального COM-порта, то увидите, что стандартная максимальная скорость составляет 115200 бит в секунду. Поскольку данные передаются байтами, то можно сказать, что максимальное быстродействие осциллографа будет не более 10 кГц. А, поскольку АЦП всех микроконтроллеров модулей Arduino многоканальные, программы, как правило, используют не менее двух каналов, что ограничивает верхнюю рабочую частоту осциллографа до 3-5 кГц.

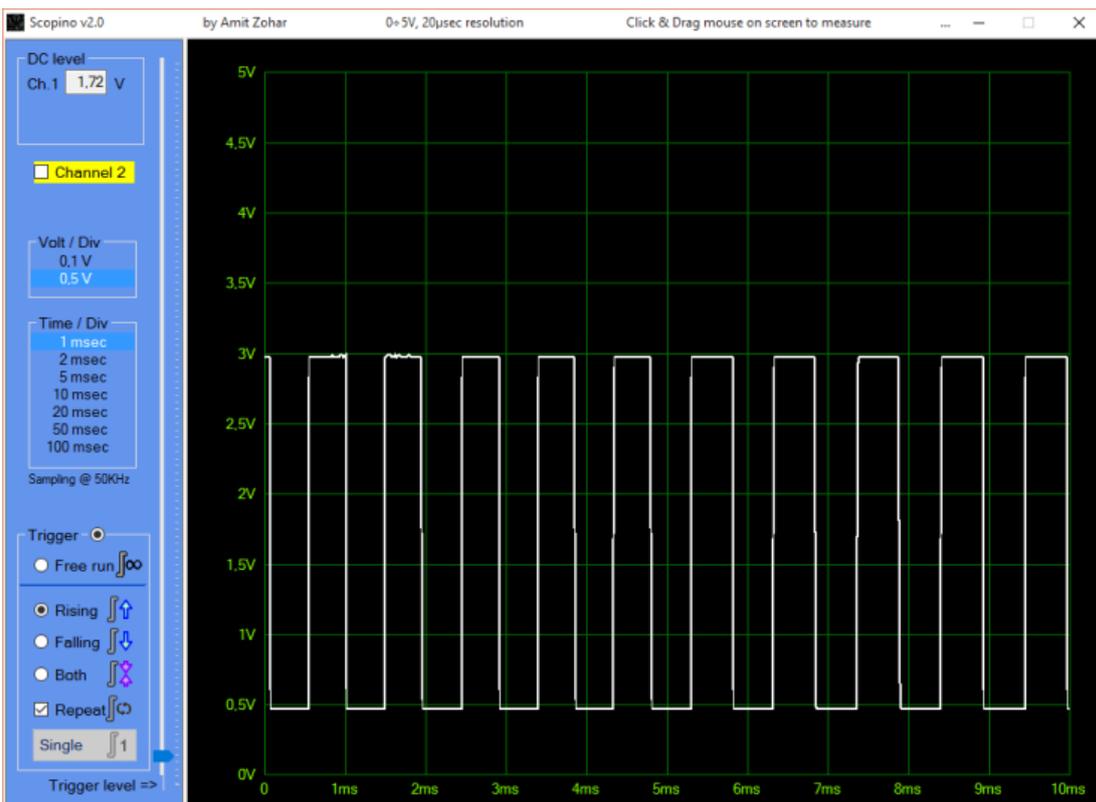


Рис. 12.1. Прямоугольные импульсы с частотой 1 кГц

Написать две программы, превращающие Arduino в осциллограф, конечно, интересно, но пока ещё рано говорить об этом. Поэтому лучше всего взять готовый вариант в Интернете. Сообщество людей, увлекающихся созданием устройств на базе Arduino велико, и вы найдёте не один вариант для превращения модуля в осциллограф.

Например, эти две программы можно найти:

<http://sourceforge.net/directory/os%3Awindows/?q=arduino+oscilloscope>

Программу для Arduino вы загружаете в модуль, а программу для Windows просто запускаете на компьютере. Все опыты, описанные ранее, вы можете теперь проделать не только в программе моделирования, но проверить результаты моделирования с помощью осциллографа.

Это не самый лучший осциллограф, но самого лучшего в природе и не существует, существуют хорошие осциллографы, поддерживающие вашу работу. Для тех опытов, о которых вы читали

раньше, этот осциллограф вполне подходит. Он позволяет оценить искажения синусоидального сигнала на частоте 1 кГц.

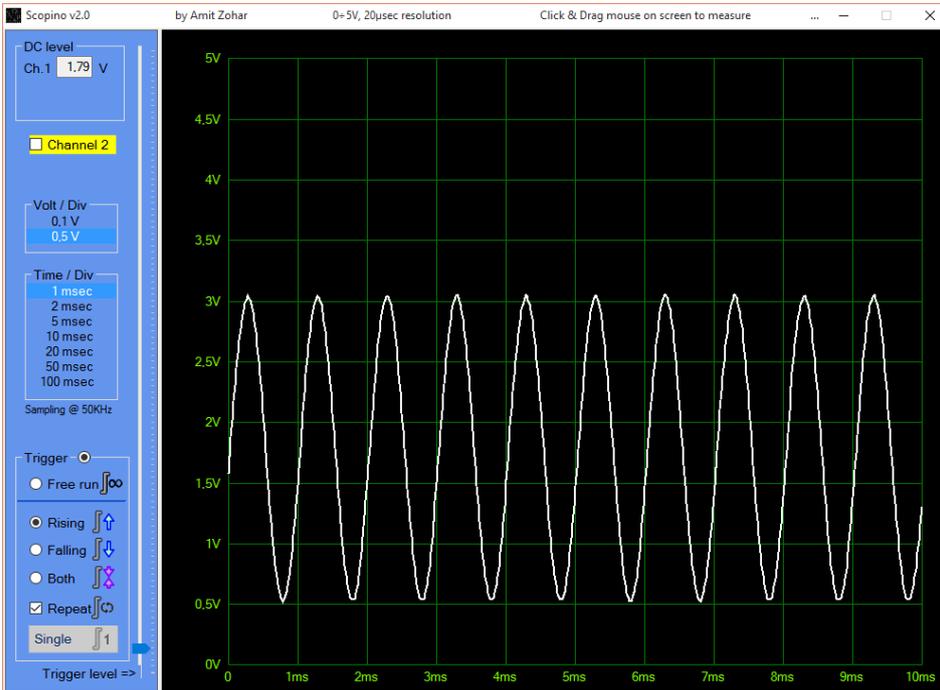


Рис. 12.2. Синусоидальный сигнал частотой 1 кГц

Увидеть сигналы другой формы.

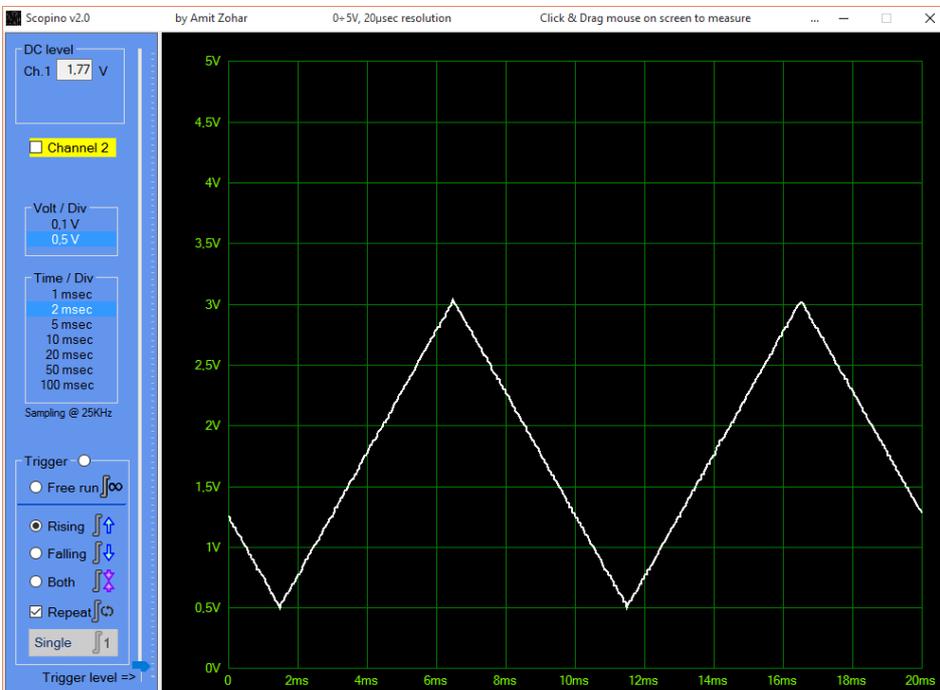


Рис. 12.3. Сигнал треугольной формы частотой 100 Гц

Программа, показанная в этой главе, называется Scopino. После загрузки и распаковки архива, вы найдёте в папке программу score.exe, а в папке score09 проект для среды программирования

Arduino. Кроме того, на выводе 2 модуля вы найдете сигнал прямоугольных импульсов. Соедините его с входом осциллографа, чтобы убедиться в этом.

### Послесловие

Если вы долистали рассказ до этого места, если вас заинтересовали какие-то эксперименты, пролистайте рассказ к началу, выписывая компоненты, которые вам могут понадобиться. Уверен, что затраты не будут значительны.

Не обязательно повторять эксперименты в точности, как это описано выше. Придумывайте свои эксперименты, которые позволят вам лучше понять работу компонентов, лучше приспособить их к вашим интересам. Так в рассказе почти ничего не было сказано о генераторе биений. Если контур в этой схеме настроен на 465 кГц, то вы можете использовать его для настройки и проверки усилителя промежуточной частоты радиоприёмника с амплитудной модуляцией. А используя контур с частотой около 1 МГц, вы можете проверить работу приёмника на длинных волнах.

Микроконтроллеры любой модели Arduino могут использоваться для разных целей, то есть, на базе Arduino можно собрать множество полезных и интересных устройств. Начиная с простых примеров, вы можете научиться программировать микроконтроллеры, придумать свои устройства и реализовать их. Так модуль Arduino Nano небольшой по размерам, не слишком дорогой, и вы можете его использовать для сборки готового устройства.

В рассказе ничего не сказано о том, с чего начинать изготовление своего устройства. Сделано это потому, что изготовить своё устройство можно тогда, когда вы понимаете его работу, работу и назначение всех его компонентов. А, когда всё ясно, тогда можно включить паяльник... Но об этом позже.