

Источники сигналов

В радиолюбительской практике источники сигналов играют весьма немаловажную роль. Их можно смело ставить в ряды инструментария первой необходимости радиолюбительской лаборатории на один уровень с измерительными приборами. На практике, большинство электронных схем, а особенно сегодня, в век цифровых технологий, связано с обработкой сигналов различной формы. Чтобы удачно спроектировать и реализовать даже не сложную схему, содержащую два и более функциональных блоков, на этапе проектирования желательно собрать каждый из блоков на отдельном макете и убедиться в его работоспособности, а заодно и скорректировать те или иные номиналы деталей, рабочие характеристики компонент и т.д. Часто работа таких блоков зависит от подачи на них сигналов конкретной либо произвольной формы, будь то усилитель низких, или высоких частот, силовые ключи преобразователей, или даже элементарного электромагнитного реле. Но где их взять, если устройство ещё не закончено. Конечно же, лучший способ, это использовать готовый источник сигналов, а если его нет, то сделать его самому, чем мы и займёмся в рамках данной статьи.

В зависимости от того, какой формы, периодичности и амплитуды требуется получить сигнал, генерирующие их устройства должны иметь свои особенности, поэтому для начала мы рассмотрим множество простых устройств, дающих понимание принципов действия. Более сложные устройства в дальнейшем спроектировать или собрать по готовой схеме Вы сможете уже самостоятельно.

Логический элемент "НЕ" на одном транзисторе

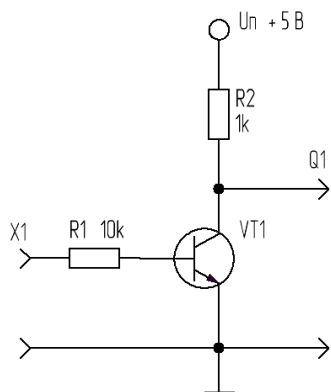


Рисунок 1. Логический элемент "НЕ" на транзисторе

Напомним, как работает транзистор, если рассматривать его с точки зрения простого логического элемента.

Условимся, что U_n , это у нас напряжение источника питания относительно минуса питания, или корпуса, к которому подпаяны общие выводы входа и выхода. Мы будем рассматривать его величину, как **логическую единицу**, а напряжение, приближенное (сниженное) к минусу питания – **логический ноль**.

При включении питания на выводе Q1 устанавливается логическая единица, поскольку транзистор закрыт (не пропускает ток), и на его коллектор через резистор R2 подано напряжение питания.

Подадим на вход X1 напряжение логической единицы, тогда через резистор R1 и переход транзистора база-эмиттер потечёт ток, который называют током базы. При этом слой базы насытится электронами, коллекторный переход станет проводить ток, т.е. транзистор откроется, и его коллекторе напряжение упадёт почти до нуля, при этом на выходе Q1

на
установится логический ноль. Усвоили? Теперь давайте короче, чтобы не отвлекаться на механику процессов:

- При подаче на вход X1 логической единицы, на выходе Q1 установится логический ноль;
- при подаче на вход X1 логического нуля, на выходе Q1 установится логическая единица.

Если сделать табличку и свести в неё возможные состояния входов и соответствующих этим состояниям состояний выходов, то мы получим перечень состояний, который обычно называется **таблицей истинности логического устройства**. У нас она получится проще некуда:

Таблица 1 Таблица истинности логического элемента "НЕ"

Входы	Выходы
X1	Q1
1	0
0	1

Если вы ещё не заметили, обращаю Ваше внимание на то, что выход схемы как бы переворачивает входной сигнал. Такое поведение называется логической инверсией, или просто инверсией.

И так, мы заметили, что пока через базу транзистора течёт ток, он открыт (условно можно сказать, что цепь коллектор-эмиттер замкнута), а на выходе схемы устанавливается напряжение, близкое к минусу источника питания. Когда напряжение на базе снижено до такой степени, что через неё прекращает течь ток, транзистор закрывается, переход коллектор-эмиттер становится электрически не проводящим, и на коллекторе через резистор R2 устанавливается напряжение, близкое к напряжению положительного вывода источника питания.

Теперь рассмотрим ещё несколько простых схем на пассивных элементах.

RC цепи задержки.

На рисунке а) конденсатор включен параллельно выходу. Когда конденсатор разряжен, напряжение на выходе приближено к нулю, т.е. к минусу источника питания. При подаче на вход напряжения плюса источника

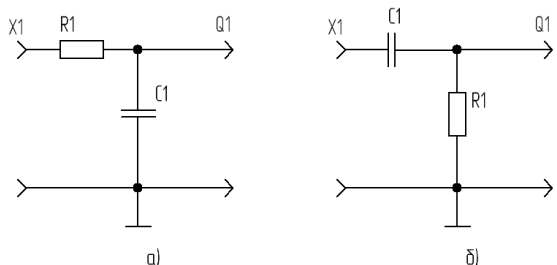


Рисунок 2. RC-цепи.

напряжение на нём будет снижаться не сразу, а постепенно с течением времени. Чем больше сопротивление резистора R1, тем медленней будет происходить разрядка конденсатора и тем длительнее будет происходить процесс установления выходного сигнала.

На рисунке б) схема несколько изменена. При разряженном конденсаторе и нулевом напряжении на входе, на выходе будет ноль. При подаче напряжения на вход X1, через резистор R1 конденсатор C1 начнёт заряжаться. Поскольку напряжение на конденсаторе не может подняться быстро, а лишь по мере заряда, то в первоначальный момент времени на резисторе R1 возникнет напряжение, поданное на вход, и тут же начнёт снижаться по мере заряда конденсатора. Напряжение на резисторе пропорционально току заряда конденсатора и будет убывать с той же скоростью, с какой будет нарастать напряжение на конденсаторе.

Когда конденсатор заряжен, на выходе Q1 устанавливается ноль. Если теперь напряжение на входе снизить до нуля (замкнуть вход), то всё напряжение заряженного конденсатора приложится к резистору R1 и сразу же начнёт снижаться по мере разряда конденсатора. Здесь важно заметить, что импульс этого напряжения будет иметь отрицательную полярность относительно общего вывода (минуса источника питания), а почему, постарайтесь догадаться сами. Если эта задачка Вам по зубам – двигаемся дальше.

Если есть желание наглядно изучить работу описанных выше схем, и у Вас случайно оказался в наличии осциллограф, да ещё двухлучевой, предлагаю немного модернизировать рассмотренные схемы для удобства проведения опытов, рисунок 3.

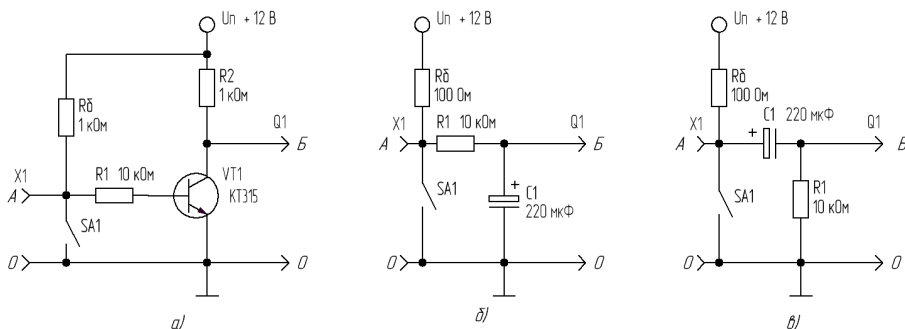


Рисунок 3. Тестовые схемы для практических опытов.

подключены к общим выводам устройства. Напряжение источника питания может быть и ниже указанного, вплоть до 3 В, это повлияет лишь на характер измеряемых сигналов, но тенденция останется неизменной.

Если вы сравните рассмотренные ранее схемы и представленные на рисунке 3, то заметите некоторые дополнения. Они следующие. Rб – балластное сопротивление, необходимо для имитации на входе логической единицы, подаваемой от источника питания. Выключатель SA1 необходим для имитации логического нуля на входе, замыканием выводов. При замыкании выводов ток выключателя ограничивается балластным сопротивлением Rб, предотвращая короткое замыкание в схеме.

Таким образом, включая и выключая выключатель SA1 вы можете имитировать входной сигнал устройства. А теперь собирайте схему, подключайте приборы, включайте питание, и поехали...

При должной настройке осциллографа, вы сможете наблюдать картинки, аналогичные следующим:

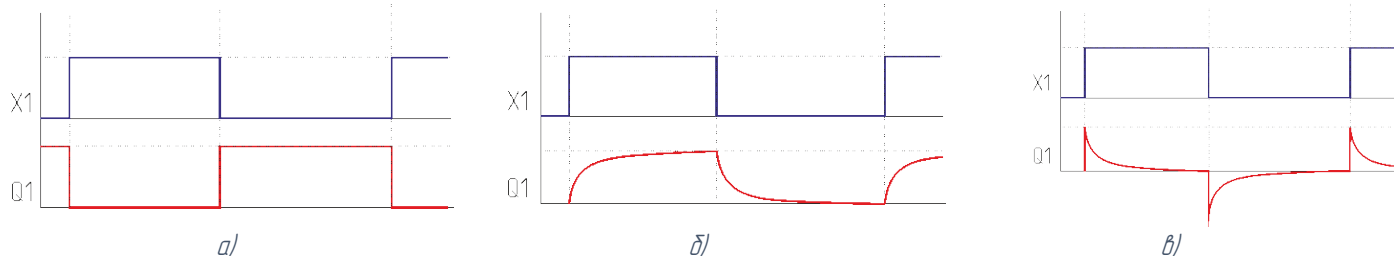


Рисунок 4. Диаграммы входных и выходных сигналов тестовых схем, рассмотренных на рисунке 3 соответственно – а), б) и в).

питания, конденсатор начнёт заряжаться, и напряжение на нём будет расти не мгновенно, а по мере заряда. Чем больше сопротивление резистора R1, тем медленней будет проходить зарядка. Но по истечению некоторого времени, напряжение на конденсаторе приблизится по значению к напряжению, поданному на вход X1. Такой своеобразный эффект задержки сигнала дал название этим схемам.

Когда конденсатор заряжен, на выходе Q1 присутствует напряжение. Если мы на входе X1 снизим напряжение до нуля (замкнём вход), то конденсатор начнёт разряжаться, а

Если у Вас пока ещё нет осциллографа, в опытах можно использовать два вольтметра.

Общий щуп осциллографа (корпус) подключается к любому общему выводу схемы. Тестовый щуп первого канала осциллографа подключается к зажиму "А", второй – к зажиму "Б". Аналогично подключаются щупы первого и второго вольтметра, но при этом общие щупы вольтметра должны быть

Диаграммы на рисунке 4 соответствуют сигналам, получаемым при тестировании схемы на рисунке 3.

Из того, что мы теперь знаем, уже можно кое что сделать.

Таймер включения

Давайте слегка модернизируем нашу транзисторную схему как показано на рисунке 5.

Транзистор VT1 выполняет роль электронного ключа, управляющего нагрузкой с помощью силового реле, включенного параллельно резистору R2, который в данной схеме можно было бы исключить.

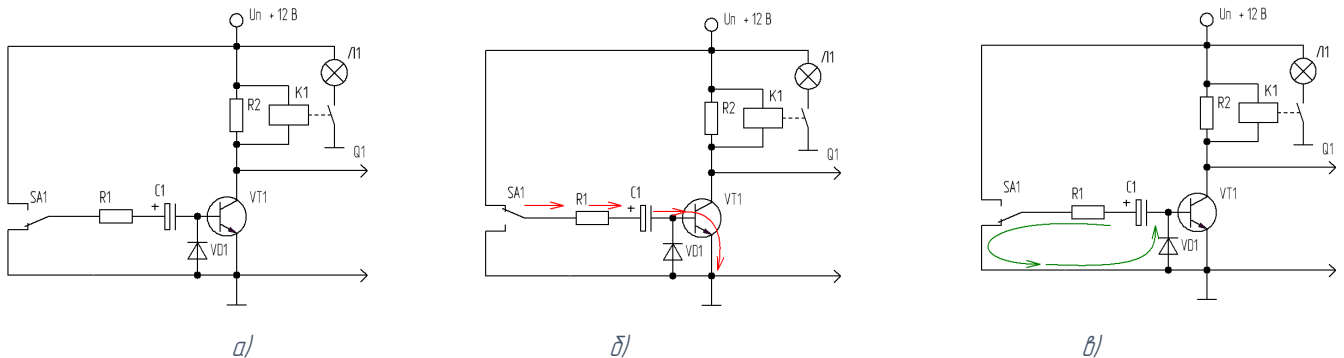


Рисунок 5. а) Схема, имитирующая таймер отключения нагрузки; б) момент включения нагрузки при подаче логической единицы на вход таймера; в) момент разрядки конденсатора при подаче логического нуля на вход таймера.

При включении питания конденсатор C1 находится в разряженном состоянии, ток базы отсутствует, транзистор закрыт, через обмотку реле не протекает ток, контакты реле разомкнуты, лампа Л1 не включена. В данной схеме реализована имитация подачи логических сигналов с помощью двухпозиционного выключателя с перекидными контактами. В одном из состояний выключатель замыкает вход схемы на корпус (минус источника питания), при этом, если конденсатор был заряжен, то разрядится через резистор R1 и коммутирующий диод VD1 (рисунок 5 в).

При подаче на вход схемы логической единицы (рис. 5 б), разряженный конденсатор начинает заряжаться по цепочке R1 от плюса источника питания и база-эмиттер VT1 от минуса. При этом, через базу VT1 протекает ток заряда, транзистор открывается, через R2 и реле K1 начинает протекать ток, реле срабатывает, включая лампу Л1. С течением времени конденсатор C1 заряжается, зарядный ток через базу транзистора снижается, достигая значения, не достаточного для насыщения базы транзистора, транзистор закрывается, реле отключает лампу Л1. Дальнейшее присутствие на входе схемы логической единицы уже не играет роли, поскольку конденсатор заряжен и ток через него больше не потечёт.

Для приведения схемы в состояние готовности необходимо разрядить конденсатор. Для этого переводим выключатель SA1 в положение контакта, замыкающего вход на корпус. Конденсатор разрядится через R1 и VD1.

Чем больше будет ёмкость конденсатора в данной схеме, тем дольше он будет заряжаться, и соответственно, тем больше будет задержка времени до отключения нагрузки. Соответственно, чем больше сопротивление R1, тем меньше будет ток заряда, что тоже увеличит выдержку времени, но при этом необходимо учитывать условие, что ток заряда должен быть не меньше требуемого тока насыщения транзистора, в противном случае транзистор может не включить реле.

Диод VD1 в данной схеме принципиально важен, поскольку именно через него разряжается конденсатор, так как при входе, замкнутом на корпус, на базе возникнет напряжение заряда со знаком минус относительно эмиттера (обратите внимание на полярность заряда конденсатора). Такое напряжение является обратным смещением для р-п переход транзистора, при котором переход закрыт, а соответственно, конденсатор не будет иметь возможности разрядиться.

На выходе схемы Q1 мы получим инверсию сигнала включенной лампы Л1, т.е. пока лампа включена, на выходе логический ноль, когда лампа выключена – единица.

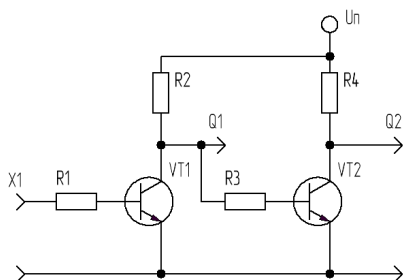


Рисунок 6. Логический повторитель.

Логический повторитель

И так, теперь мы знаем, что операция "НЕ" инвертирует логические уровни напряжений, т.е. логическая единица на входе соответствует логическому нулю на выходе элемента, и соответственно, входному нулю отвечает единица на выходе. Если мы обработаем входной сигнал последовательно двумя элементами "НЕ", то на выходе второго элемента получим сигнал, повторяющий состояния входа первого. И действительно, если автомобиль сделает два разворота, то будет двигаться в том же направлении, как и до маневрирования. Казалось бы,

зачем нужна операция, которая в результате даёт то же, что мы уже имели? На практике это применяется с большой пользой.

Соединяем последовательно два элемента "НЕ", рисунок 6. X1 – вход, Q1 – инверсный выход и одновременно вход второго элемента "НЕ" на транзисторе VT2, Q2 – выход. В результате получаем устройство, которое на выход выдаёт сигнал, повторяющий входной. Эту повторюшку будем называть логическим повторителем. Такие элементы на схемах обозначаются единицей – "1".

При подаче питания на схему, транзистор VT2 открывается током базы через резисторы R2-R3, на выходе Q2 устанавливается ноль. При подаче сигнала единицы на X1, транзистор VT1 "садит" резистор R3 на корпус, VT2 закрывается, на выходе Q2 устанавливается единица. При снятии сигнала со входа выход сбрасывается в ноль.

Интересно, что получится, если мы подадим сигнал выхода на вход? Давайте посмотрим, рисунок 7.

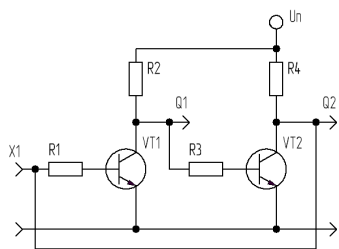


Рисунок 8. *Подача выходного сигнала на вход*

В данной схеме можно заметить, что входы смешались с выходами, и вообще наша схема как-то закольцевалась. Для большей наглядности предлагаю упростить схему.

На рисунке 8 преобразованная схема. Входы я не стал показывать, поскольку не имеет смысла, они замкнуты с выходами, и изобразил я только их. Рассмотрим поведение схемы в работе.

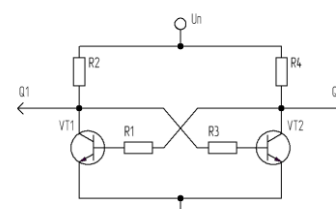


Рисунок 7. *Преобразованная схема*

При включении питания оба транзистора должны открыться током базы через резисторы R4-R1 и R2-R3. Но, поскольку открывающийся транзистор одного плеча схемы "подтягивает" базовый резистор транзистора другого плеча к корпусу, а говоря словами цифровых сигналов – к нулю, то оба транзистора должны открыться лишь до некоторого уравновешенного значения, а сигналы на выходах принять промежуточное значение напряжения между единицей и нулём. Но на практике симметрия процессов даже в такой симметричной схеме не достижима, и в результате один из транзисторов открываясь чуть сильнее другого ускорит процесс разбаланса схемы, в результате один из транзисторов откроется полностью, другой закроется. Это состояние схемы устойчиво без воздействия извне. При соблюдении симметрии в выборе номиналов деталей, угадать, какой транзистор первым окажется открыт невозможно, а при очень точной подгонке номиналов, результаты запуска схемы могут отличаться случайным образом. Чтобы исключить элемент случайности в таком случае, достаточно внести асимметрию в номиналы схемы. Например, если сопротивления R1 и R4 выбрать на одну-две ступени меньше, чем R2 и R3, то в результате большего тока базы транзистор VT1 при включении питания всегда будет открываться первым, на выходе Q1 будет устанавливаться "0", на Q2 – "1". При постоянно включенном питании состояние такой схемы будет всегда стабильно, но при этом она бесполезна. Давайте добавим в эту схему кое какие элементы управления.

Триггер

На рисунке 9 изображена схема, которая отличается от предыдущей наличием входных каналов X1-R2 и X2-R5. Рассмотрим работу схемы.

Так как симметричные элементы схемы на практике имеют некоторые отклонения электрических характеристик, то при включении питания один из транзисторов, например, VT2 будет открываться немного быстрее другого. Открываясь, транзистор VT2 будет подтягивать своим коллектором вывод резистора R3 к "нулю", снижая ток базы транзистора VT1 и закрывая его. В результате этого переходного процесса транзистор VT2 полностью откроется, а VT1 – закроется. На выходах Q1 и Q2 установятся "1" и "0" соответственно. Это состояние устойчиво, но может быть изменено.

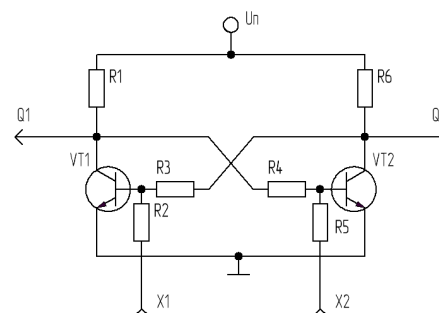


Рисунок 9. *Транзисторный триггер*

Подадим кратковременно логическую единицу на вход X1. Через резистор R2 и базу транзистора VT1 начнет протекать ток, VT1 откроется и подтянет своим коллектором резистор R4 к нулю. Ток через резистор R4 и базу транзистора VT2 прекратится, транзистор VT2 закроется, схема изменит свое состояние на противоположное: на выходах Q1 и Q2 установятся "0" и "1" соответственно. Это состояние будет сохраняться до кратковременной подачи на вход X2 логической единицы.

Схемы, подобным образом изменяющие своё состояние называются "триггерными", а элементы на их основе – триггерами. Один такой элемент представляет из себя элементарную ячейку памяти с возможностью записи и хранения информации в период между включением и выключением питания. Аналогичные элементы содержит оперативная память компьютера.

Для примера практического применения этой схемы, немного дополним её. На рисунке 10 мы ввели в схему две кнопки, и конденсатор С1.

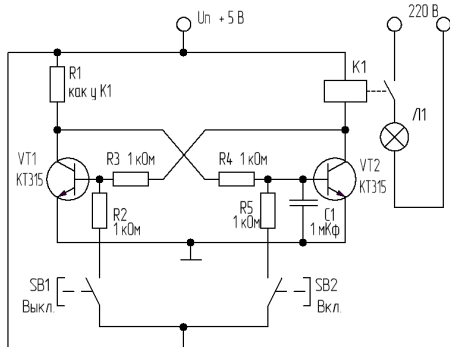


Рисунок 10. Выключатель нагрузки с применением триггера.

При включении питания триггера, конденсатор С1 на некоторое время заряда шунтирует (реализует задержку сигнала) базу транзистора VT2, в результате VT1 открывается первым и фиксирует состояние схемы. Через обмотку реле К1 протекает малый ток базы транзистора VT1, не достаточный для срабатывания реле. Лампа выключена.

Нажатием на кнопку SB2 "Вкл." на базу транзистора принудительно кратковременно подаётся логическая единица. Конденсатор заряжается, возникает напряжение на базе VT2, от чего транзистор открывается, своим коллектором подтягивая к нулю резистор R3. VT1 закрывается, состояние схемы фиксируется, через обмотку реле К1 протекает номинальный ток реле, контакты реле замыкаются, лампа включается.

Кратковременное нажатие на кнопку SB1 "Выкл." схема приходит в исходное состояние, лампа выключается.

Вот так, изучая и комбинируя простые элементы схем можно научиться создавать полезные интересные устройства. Последняя схема имеет элементы управления, а функционально лишь фиксирует заданное состояние, или говоря языком электроники – запоминает значение заданного логического уровня. А давайте в следующей своей выдумке подумаем, как сделать устройство без элементов управления, но чтобы оно самостоятельно изменяло состояния логических выходов.

Мультивибратор

Давайте ещё раз обратим внимание на схему рисунка 8 и цепи задержки на рисунке 2.

Мы знаем, что резисторы в цепи базы транзистора обеспечивают постоянный ток базы, именно поэтому состояния схемы являются устойчивыми. Для того, чтобы схема переключалась сама по себе, воспользуемся возможностями цепей задержки. Для начала в цепи базы вместо резисторов установим конденсаторы (рисунок 11-а). При включении питания конденсаторы С1 и С2 начнут заряжаться через резисторы R1, R2 и базы транзисторов. Транзисторы начнут открываться, но первым откроется тот, у которого ток базы и коэффициент

усиления по току в совокупности окажется больше другого. Например, первым открылся VT1 и подтянул своим коллектором конденсатор С1 к нулю, ток через него не течёт. VT1 открыт, VT2 – закрыт.

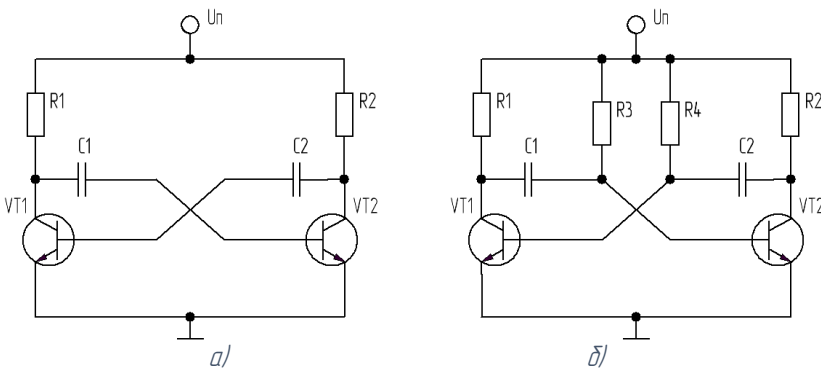


Рисунок 11. Схема мультивибратора.

положительно заряженный полюс конденсатора С2 к нулю. Отрицательно заряженный полюс С2 создаёт обратное смещение на переходе база-эмиттер, переход закрыт, конденсатор остаётся заряженным. Когда заряд С1 прекращается, ток базы VT2 прекращается, транзистор закрывается и отвязывает положительно заряженный вывод С2, а поскольку С2 уже заряжен, как и С1, то через них уже не будет протекать ток, и они больше не смогут воздействовать на транзисторы. Такая схема способна произвести всего один такт переключения состояний, а её применение ограничено из-за невозможности быстрого разряда конденсаторов, что бы схему можно было использовать повторно через короткие промежутки времени.

Подключим к базам транзисторов сопротивления R3 и R4 (рисунок 11 б), которые будут создавать положительное (открывающее транзистор) смещение базы относительно коллектора. При включении питания, один из транзисторов, например, VT1 открывается током базы, обусловленным суммарным током заряда конденсатора С2 и резистора R4. В это время конденсатор С1, подтянутый к нулю, будет заряжаться резистором R3, и по мере заряда конденсатора создаст на базе VT2 положительное смещение, достаточное для его открывания. Открываясь, VT2 начнёт подтягивать положительно заряженный вывод конденсатора к нулю, а отрицательно заряженный вывод С2 ещё не успевшего перезарядиться, создаст отрицательное смещение на базе VT1, закрыв его. Эти процессы переключения транзисторов и перезарядки конденсаторов чередуются

непрерывно. Время переключения происходит очень быстро, а времена между переключениями зависят от ёмкостей конденсаторов и номиналов сопротивлений схемы.

Такая схема позволяет формировать периодический сигнал на выходе в автоматическом режиме, который ещё называют автогенераторным. Но у подобных схем есть механический предшественник – устройство с вибрирующим контактом, который за счёт механической вибрации мог с определённой периодичностью замыкать и размыкать контакты, или поочередно переключать контакт между двумя другими. Эти устройства вполне обоснованно получили название мультивибраторов, а их электронные последователи уже просто позаимствовали это название.

Заключение

Этот небольшой экскурс написан специально для самых начинающих радиолюбителей, чтобы показать, что нет ни чего сложного в понимании принципов работы различных электронных устройств, и более того, нет причин не научиться изобретать такие устройства самостоятельно. Если у меня не получилось что-то объяснить, приму любую критику в Ваших комментариях и готов буду доработать статью. Если эта статья показала Вам простоту и доступность мира электроники, значит цель достигнута.