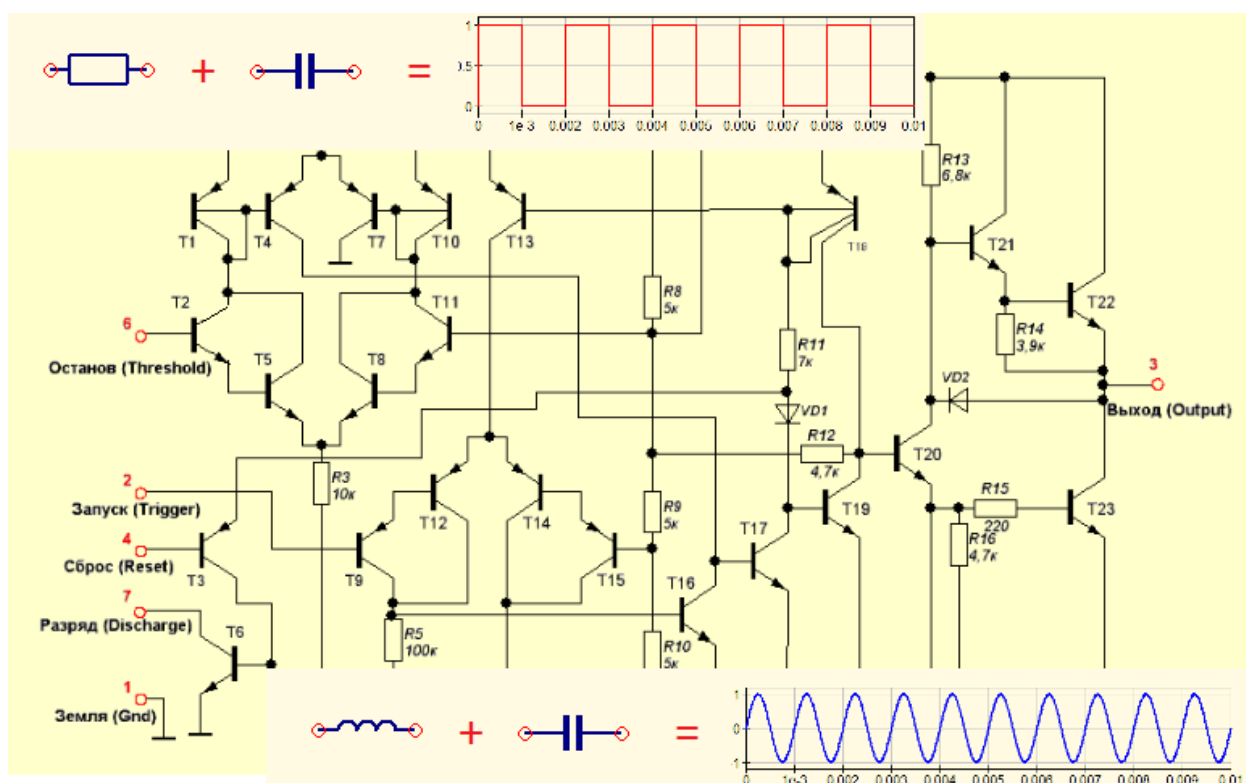


В.Н. Гололобов

Для самых начинающих

История 3. Как читать электрические схемы?



Москва-2016

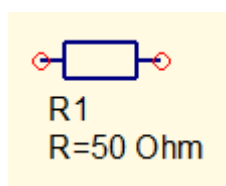
Оглавление

Глава 1. Обозначение элементов на схеме.....	3
Глава 2. Чтение первой схемы.....	4
Глава 3. Прочитаем ещё одну схему.....	5
Глава 4. Что ещё полезно знать о «словах»?.....	9
Глава 5. Цифровые схемы.....	12
Глава 6. Пробуем читать схему реального устройства.....	15
Глава 7. Микросхемы	20

В конце предыдущей истории мы договорились, что важно уметь читать электрические схемы. Начнём.

Глава 1. Обозначение элементов на схеме

Электрическая схема или чертёж должна рассказать нам о том, как устроен тот или иной прибор или аппарат. Для изображения элементов схемы используют рисунки этих элементов, которые должны нам напоминать, зачем нужен этот элемент, и что он делает. Проводники обозначают прямыми линиями, которые показывают, что по ним свободно протекает ток. Для изображения сопротивлений используют прямоугольник с выводами (проводниками). Прямоугольник должен нам напомнить, что при протекании тока по этому элементу у тока возникают некоторые проблемы.

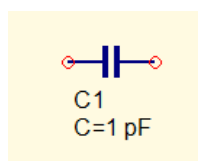


Резисторов в схеме бывает много, поэтому каждый резистор имеет идентификатор, подтверждающий то, что он резистор «R» и порядковый номер. Иногда на схеме указывают величину сопротивления, но не всегда. На профессиональных чертежах часто этого не делают, а все данные, касающиеся элементов, описывают в сводной таблице, спецификации.

Рис. 1.1. Изображение резистора на схеме

Проблемы у тока, возникающие при протекании через резистор, мы знаем – из-за этих проблем на сопротивлении возникает падение напряжения. Мы можем измерить это падение напряжения, а, зная величину сопротивления, определить ток, протекающий через резистор. Или можем измерить ток, измерить падение напряжения и определить величину сопротивления. Всё это мы знаем и умеем.

Если вы вспомните, что через конденсатор не протекает постоянный ток, то вас не удивит, что два проводника обрываются при изображении конденсатора.



Но две вертикальные черточки, обрывающие проводник, напомним нам, что это обкладки, способные накапливать заряд, то есть, что конденсатор может заряжаться. Как и резистор, конденсатор имеет идентификатор «C» и порядковый номер.

Рис. 1.2. Графическое изображение конденсатора

Отлично от конденсатора индуктивность не обрывает постоянный ток, но «закручивает» его в своих витках.

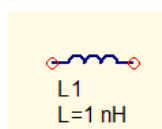


Рис. 1.3. Графическое изображение индуктивности

Ранее мы познакомились с ещё одним элементом многих схем – транзистором (биполярным).

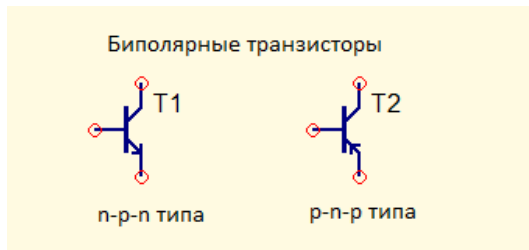


Рис. 1.4. Изображение биполярных транзисторов разного типа

Каждый элемент можно рассматривать как некое подобие слогов обычного языка, а, связывая эти элементы проводниками, мы и рассказываем о том, как устроен тот или иной электронный аппарат.

Слогов в языке электрических схем много, но, даже ограничиваясь только этими элементами, мы можем начать читать разные схемы.

Глава 2. Чтение первой схемы

Вернёмся к уже знакомой нам схеме усилителя с биполярным транзистором.

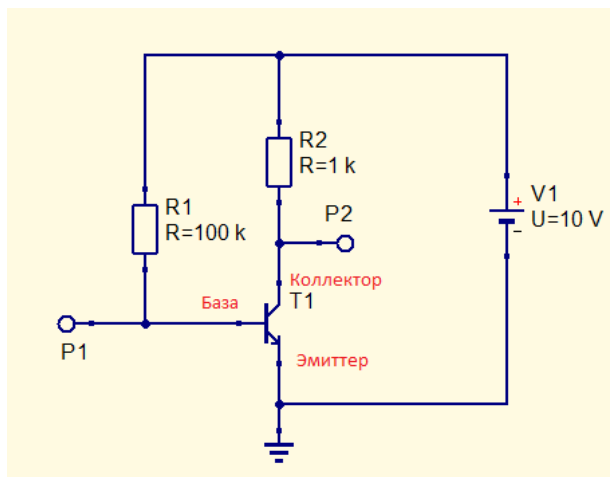


Рис. 2.1. Усилитель с общим эмиттером

О чём нам поведаёт этот рисунок? Он расскажет, что есть источник ЭДС (обеспечивающий ток всю схему), ток от которого протекает по двум ветвям (напомню, что в технике направление тока от плюса к минусу), одна из которых образована резистором R2 и выводами коллектор-эмиттер транзистора T1. От эмиттера транзистора ток возвращается к отрицательному полюсу источника питания. Вторая ветвь – это резистор R1 и выводы база-эмиттер транзистора T1.

Мы помним, что ток, втекающий в узел, где соединяются резисторы R1 и R2, разделяется на два тока, сумма которых равна втекающему току. И помним, что оба тока соединяются в выводе эмиттера транзистора так, что ток, приходящий к минусу батарейки равен току, отходящему от плюса батарейки.

Мы помним, что сумма падений напряжений на резисторе R2 и выводах коллектор-эмиттер транзистора T1 равна ЭДС. И помним, что сумма падений напряжения на резисторе R1 и выводах база-эмиттер транзистора T1 тоже равна ЭДС.

Мы можем немного вспомнить о свойствах элементов: резистор сопротивляется протеканию тока, при этом на нём происходит падение напряжения; ток коллектора транзистора в «В» раз больше тока базы, есть такое свойство у транзистора.

И мы помним, что небольшие изменения тока базы приводят к «В» раз большим изменениям тока коллектора. Таким образом, небольшие изменения тока базы усиливаются транзистором, поэтому схема и называется схемой усилителя.

Глава 3. Прочитаем ещё одну схему

К уже знакомой нам схеме усилителя мы добавим несколько элементов и попробуем разобраться («прочитать это») с новой схемой.

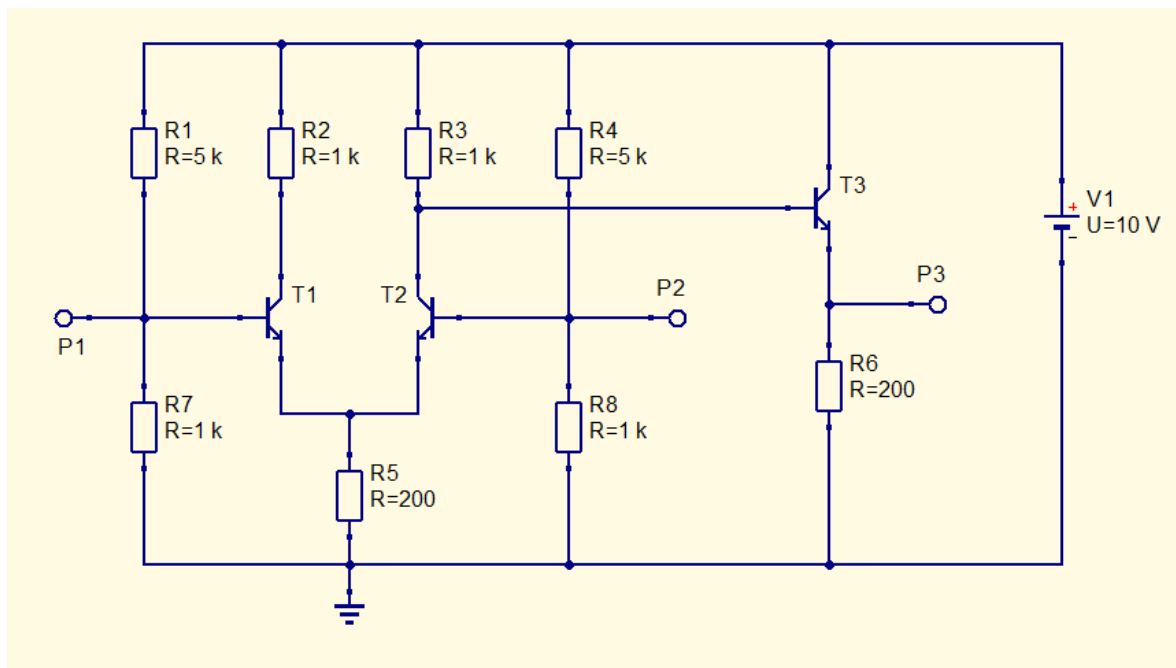


Рис. 3.1. Схема усилителя с двумя входами

Посмотрев на схему, мы можем сразу сказать, что это три каскада усиления. На схеме знакомые нам транзисторы и резисторы (и источник питания). Первые два каскада усиления мы рассмотрели выше, но без резисторов R5 и R7 (R8), которые служат для стабилизации рабочей точки транзистора. Последний каскад усиления называется усилителем с общим коллектором. Почему так, мы обсудим несколько позже.

Что мы можем прочесть на этой схеме? Назначение первого каскада на транзисторе T1 нам пока не ясно, тогда как со вторым каскадом яснее. Подав сигнал на его вход P2 мы получим усиленный сигнал на коллекторе транзистора T2, который затем мы подаём на вход третьего каскада, получая общий выход на выводе P3.

Что у нас получится, если сигнал мы подадим на базу первого транзистора? Изменение тока базы первого транзистора вызовет изменение его тока коллектора. Но это изменит и ток эмиттера. А на резисторе R5 появится изменение падения напряжения.

Теперь вернёмся к транзистору T2. Напряжение на базе фиксировано делителем напряжения R4R8. Изменение напряжения на резисторе R5 будет изменять напряжение эмиттер-база T2, меняя ток базы этого транзистора, что... Впрочем, не проще ли проверить, насколько правильно мы прочитали то, что «написано» на схеме.

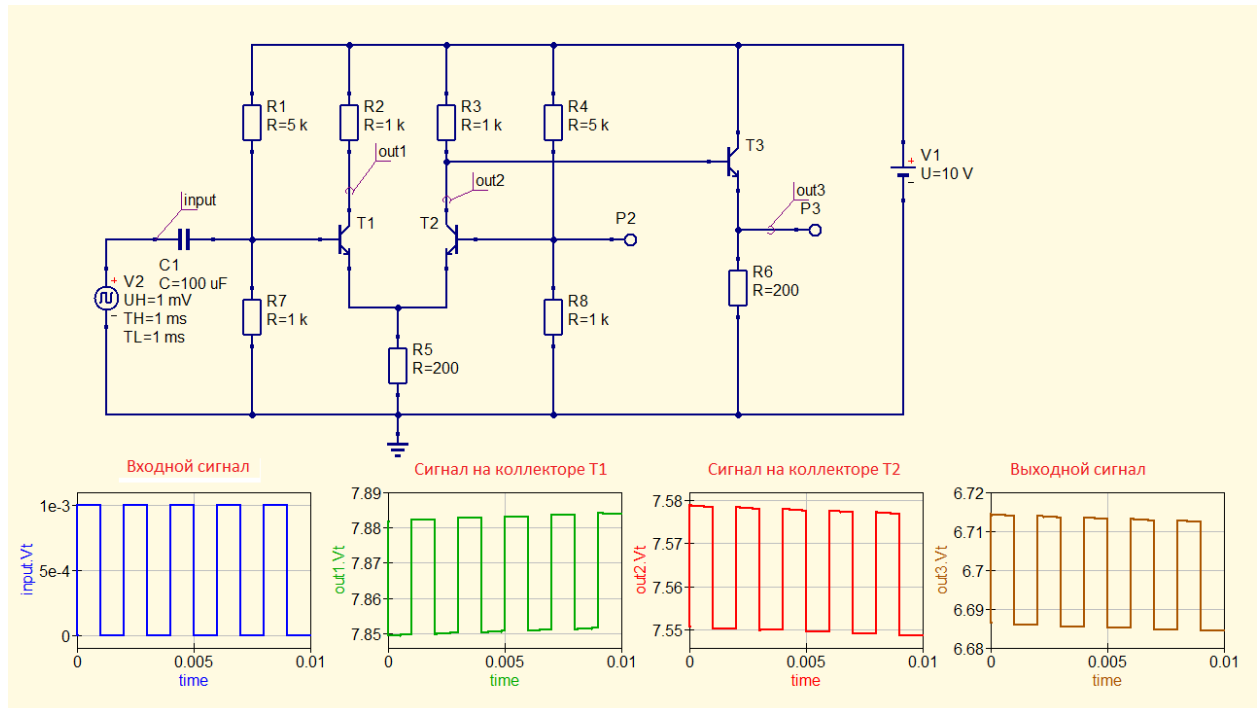


Рис. 3.2. Проверка наших предположений

Сигнал, я использовал прямоугольные импульсы по той причине, что ранее советовал вам собрать генератор прямоугольных импульсов, сигнал от входа (input) проходит к выходу (out3). Можно убедиться, что он усиливается (сравните амплитуду на входе равную 1 мВ и на выходе 28 мВ).

Более того, вы можете посмотреть изменение напряжения на резисторе R5:

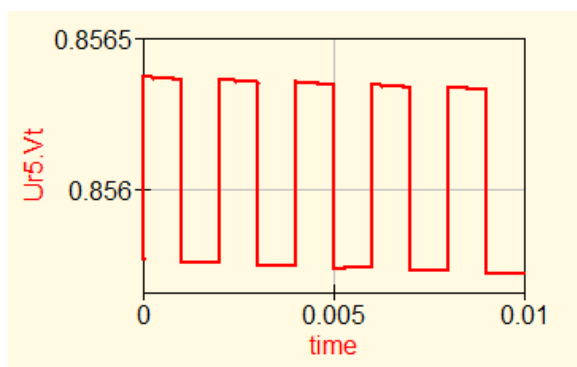


Рис. 3.3. Изменение напряжения на резисторе R5

Конечно, программа моделирования позволяет наблюдать сигналы с маленькими амплитудами, а осциллограф, собранный на модуле Arduino не так универсален. Но ничто не мешает вам добавить на плату самодельного генератора импульсов усилители на микросхеме LM358 для осциллографа. Микросхема содержит два операционных усилителя; соединив их входы, один можно сделать с усилением в 10 раз, второй с усилением в 100 раз. Но не забудьте на вход и на

выходы усилителей добавить конденсаторы! Это расширит возможности вашего очень простого осциллографа.

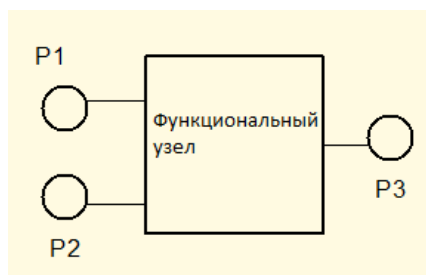
Когда я учился в первом классе, мы учились читать слоги, затем учились складывать из слогов слова. Но далеко не сразу, прочитав слово, мы понимали его. Только упражнения в чтении позволяют научиться сразу узнавать слова. Сегодня вы не читаете слова, вы их узнаёте. С чтением электрических схем дело обстоит точно так же. Чем больше у вас опыт работы со схемами, тем легче вам читать их.

Любую схему можно разбить на функциональные узлы. Если вам не удаётся сразу узнать узел, бывает так, что он нарисован несколько иначе, чем вы видели ранее, перерисуйте его в виде более привычном для вас. Например, каскад усиления на транзисторе T2 нарисован иначе, чем тот же каскад на транзисторе T1. Переверните его, и вы сразу узнаете знакомый вам усилительный каскад.

И ещё, третий каскад усиления я назвал каскадом с общим коллектором. Его ещё называют эмиттерным повторителем. Общим эмиттером или общим коллектором будет вывод, который оказывается общим для входного и выходного сигналов. Первый каскад усиления без резистора R5 будет иметь для входного и выходного сигналов общий вывод эмиттера. Но не так для последнего каскада. Посмотрите на схему так: мы снимаем сигнал с резистора R3, то есть, сигнал приложен к базе и коллектору; выходной сигнал мы снимаем с резистора R6, но источник питания для сигнала представляет резистор с нулевым сопротивлением. Таким образом, выходной сигнал снимается с эмиттера и коллектора транзистора T3, а для сигналов общим будет именно коллектор.

Схема с общим коллектором не усиливает сигнал по напряжению. Достаточно сравнить диаграммы сигналов для out2 и out3. Но у этого каскада есть ряд преимуществ, отчего каскад с общим коллектором используется довольно часто.

Наконец, попробуем нарисовать нашу схему, предположив, что она «заключена» в микросхему. Поэтому мы изобразим её в виде функционального узла:



Какие функции выполняет этот узел? Он усиливает сигнал. Кроме того, он имеет два входа и один выход.

Он вам не напоминает что-то, о чём мы говорили ранее?

Рис. 3.4. Схема, изображённая в виде функционального узла

Проведём ещё один эксперимент, подав сигнал поочерёдно на входы P1 и P2, и посмотрим на выходной сигнал.

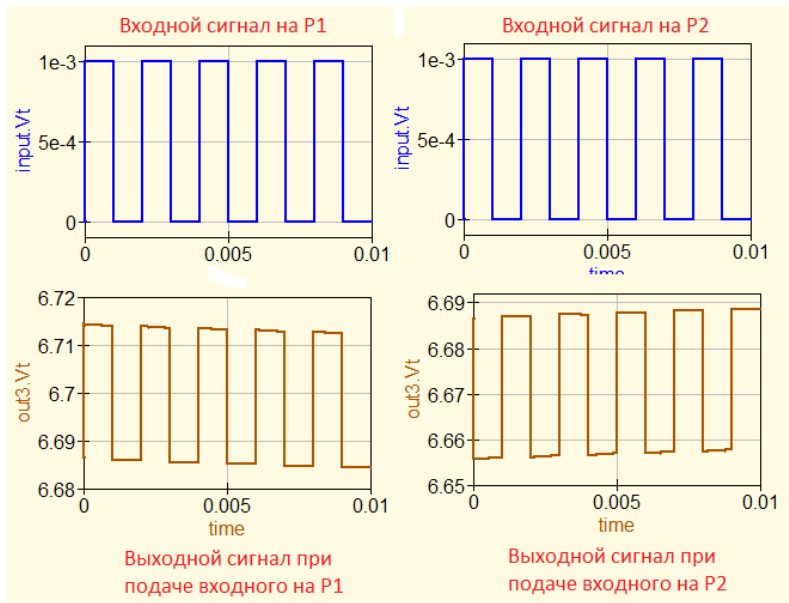


Рис. 3.5. Сигналы на разных входах и выходе

Сигнал на выходе синфазен с входным при подаче сигнала на вход P1, такой вход называют прямым. Сигнал на выходе противофазен входному при подаче сигнала на вход P2, такой вход называют инверсным. Теперь вам это что-то напоминает?

Проверим ещё одно свойство схемы – её амплитудно-частотную характеристику.

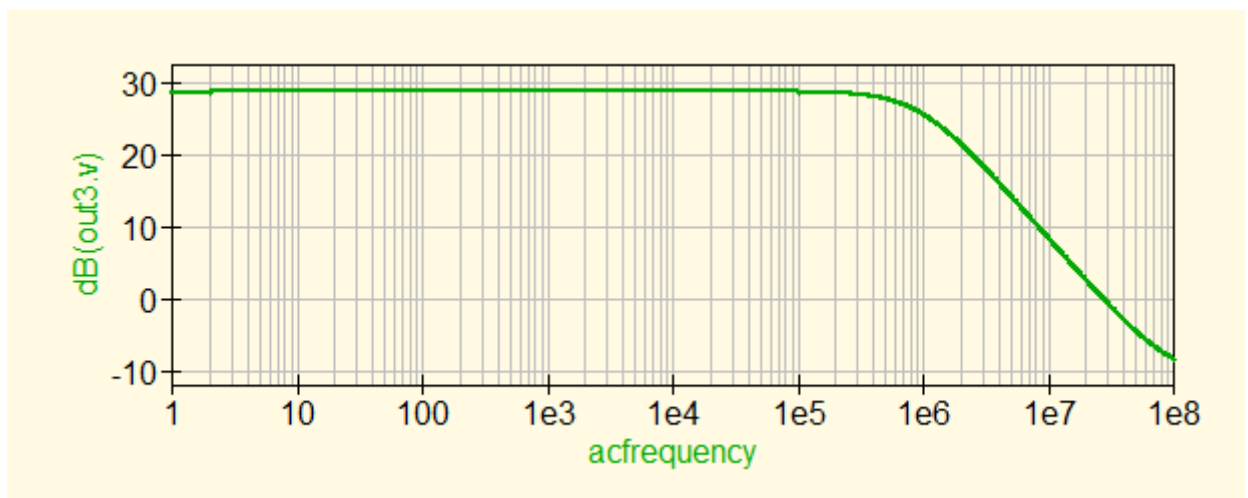


Рис. 3.6. АЧХ нашей схемы

Как можно видеть на графике, спад АЧХ за частотой среза не превышает 20 дБ/дек. Что характерно и для операционных усилителей.

При моделировании использовались транзисторы 2N2222A из библиотеки элементов программы QucsStudio. Это достаточно высокочастотные транзисторы. Если заменить их низкочастотными, то... посмотрите, изменится ли что-то?

При чтении схемы нет ничего зазорного в том, что вы задаёте дополнительные вопросы, то есть, проводите эксперименты, которые позволяют вам лучше понять то, о чём говорит схема.

Например, ранее мы говорили о фильтрах, образованных резисторами и конденсаторами. В схеме есть конденсатор, есть резисторы. Конденсатор C1 чаще называют разделительным, его назначение препятствовать прохождению постоянного тока, чтобы не «сбить» настройки рабочей точки транзистора Т1. Для переменного тока этот конденсатор должен быть «прозрачен», то есть, иметь маленькое сопротивление. Но конденсатор C1 с резистором R7 (и параллельно ему подключенными элементами) образует фильтр. В этом можно убедиться, если уменьшить ёмкость конденсатора C1 и вновь снять АЧХ схемы.

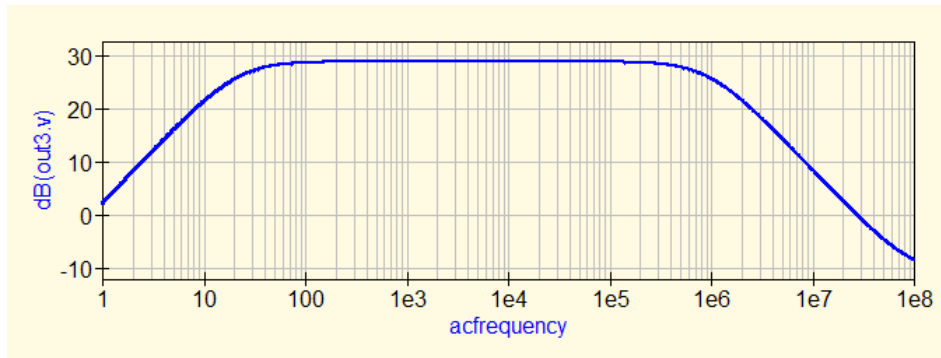


Рис. 3.7. Изменение АЧХ при изменении ёмкости C1

И получается, что прочесть схему – это означает понять, что делает электрическая цепь или для чего она предназначена, чему служат элементы электрической схемы и как они влияют на работу схемы, что произойдёт, если... Этих «если» будет тем меньше, чем больше станет ваш опыт, но не означает, что все «если» исчезнут.

Глава 4. Что ещё полезно знать о «словах»?

Мы определили, что пассивные элементы такие, как резисторы, конденсаторы и индуктивности, присутствующие в электрической цепи, определяют токи и напряжения. Резисторы называют активными сопротивлениями, считая, что они не зависят от частоты переменного тока, конденсаторы и индуктивности называют реактивными сопротивлениями, зависящими от частоты переменного тока. Но что означают такие элементы:

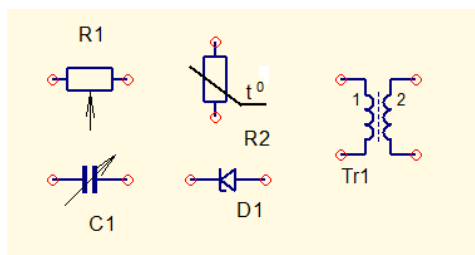
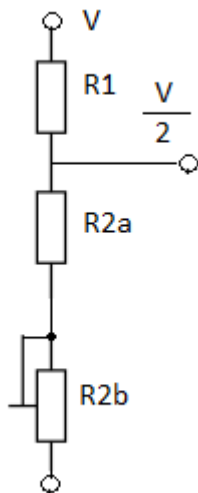


Рис. 4.1. Незнакомые «знакомые»

Резисторы на рисунке обычные, но отчего-то имеют дополнительные обозначения. Первый резистор – это переменный резистор или резистор переменного сопротивления, ещё его называют потенциометром. Три вывода позволяют вам получить делитель напряжения с переменным коэффициентом деления. Такие потенциометры раньше были непременным атрибутом регулятора громкости, регуляторов тембра. Сегодня иной раз громкость, как у вашего сотового телефона, регулируется двумя кнопками, а не ручкой на оси потенциометра.

Есть похожее изображение переменного резистора, но вместо стрелки токосъёмник обозначается отрезком прямой линии. Разница между двумя переменными резисторами, скорее, в конструкции. Последний вариант предназначен для подстройки, часто такой резистор делают многооборотным. Например, вы сделали делитель напряжения, но не нашли подходящего резистора, чтобы точно разделить напряжение. Но вы можете достаточно точно измерить напряжение. Используйте один из резисторов вместе с подстроечным.



Положим, вы определились с общим сопротивлением делителя в 1 кОм. И вы знаете, что при $R_1 = 900 \text{ Ом}$ и $R_2 = 100 \text{ Ом}$, вы достигли цели. Но, решив выполнить деление с точностью 1%, вы не нашли прецизионных резисторов. У вас есть резистор 910 Ом с допуском 5%. Это означает, что сопротивление может меняться от 955.5 Ом до 864.5 Ом. Мы знаем, что $(R_1 + R_2)/R_2 = 10$, то есть, $R_1/9 = R_2$. Для первого случая $R_2 = 106.2 \text{ Ом}$, для второго $R_2 = 96 \text{ Ом}$.

Выбрав для резистора R2a значение сопротивления 82 Ом (5%), вы можете взять подстроечный резистор с сопротивлением 30 Ом.

Можно, конечно, попробовать и такой вариант – вместо двух резисторов R2 взять один переменный с сопротивлением 120 Ом.

Рис. 4.2. Делитель напряжения на 10 с подстроечным резистором

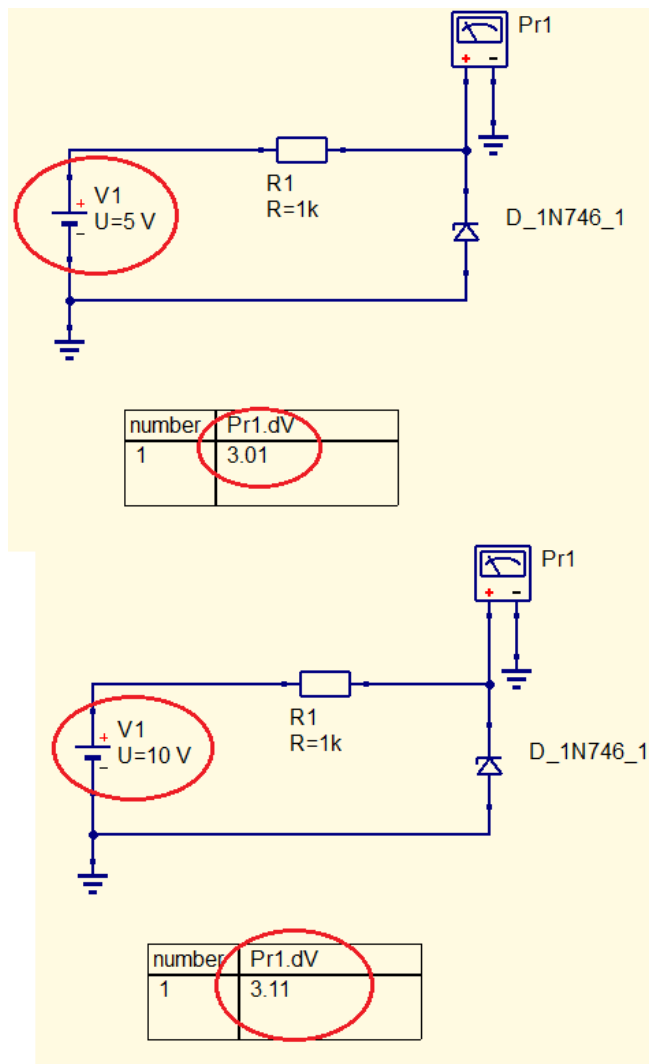
Ещё один знакомый «незнакомец» – это резистор с обозначением « t^0 ». Мы уже говорили, что при нагревании резисторы меняют своё сопротивление. Из этого факта когда-то сделали заключение, что, используя для резистора полупроводниковый материал, а полупроводник, мы об этом тоже говорили, очень чувствителен к температуре, используя полупроводник можно получить резисторы очень чувствительные к изменению температуры. Такие сопротивления называют терморезисторами.

Зачем нужны терморезисторы? Например, для измерения температуры, хотя чаще их используют для термокомпенсации. Сопротивление полупроводника при нагревании уменьшается. Если такой резистор использовать в делителе, предназначенном для фиксации напряжения на базе транзистора, то при нагревании, когда увеличивается неуправляемый ток через транзистор, уменьшающееся значение сопротивления уменьшит напряжение на базе транзистора, уменьшая его ток коллектора (на рис. 3.1 таким сопротивлением может быть R7).

Конденсатор со стрелкой означает, что это конденсатор переменной ёмкости. Когда-то подобные конденсаторы были безальтернативным элементом входного резонансного контура любого радиоприёмника. Как правило, такой конденсатор изготавливался из набора пластин, одна группа которых крепилась к поворачивающейся оси, а другая была неподвижна. При вращении ручки менялось перекрытие пластин конденсатора, что приводило к изменению ёмкости и позволяло настроить приёмник на разные несущие частоты радиостанций. С повышением рабочей частоты радиовещательных радиостанций и появлением полупроводниковых элементов, у которых обнаруживаются свойства конденсатора (переход между двумя типами полупроводника, вспомните, очень похож на заряженный конденсатор), полупроводниковые конденсаторы, варикапы, всё больше вытесняют механические конденсаторы переменной ёмкости.

Один из представителей полупроводниковых диодов, похожий на обычный диод в графическом представлении, но с небольшим дополнением у катода, это стабилитрон или диод Зенера. У любого диода есть такой параметр как допустимое обратное напряжение. Это связано с тем, что при напряжении, превышающем это значение, происходит «пробой» диода: ток через диод резко возрастает, совместно с падением напряжения на диоде (почти равном этому предельно допустимому напряжению) происходит резкий рост рассеиваемой мощности, то есть, резкое возрастание температуры, которое диод не может выдержать, он сгорает. Но...

Соединим последовательно с диодом резистор.



Когда начинается «пробой», когда резко возрастает ток через диод (стабилитрон), увеличивается падение напряжения на резисторе R1, а, вспомните законы Кирхгофа, на диоде падение напряжения уменьшается, что приводит к уменьшению тока через диод.

Так устанавливается некое равновесие между током, протекающим через диод и падением напряжения на нём.

На верхнем рисунке питающее напряжение V1 вдвое ниже, чем на нижнем рисунке, но падение напряжения на диоде почти не изменилось.

Таким образом, если нам нужно сохранить напряжение в электрической цепи при изменении питающего напряжения, мы можем применить стабилитрон – стабилизатор напряжения. Продумывая конструкцию диода, можно получить разные диоды с разными значениями стабилизированного напряжения, что и имеет место. Есть стабилитроны на напряжения от единиц вольт до сотен вольт.

Рис. 4.3. Включение стабилитрона

Последний незнакомец, как вы догадались, это трансформатор. Две катушки индуктивности, расположенные рядом, оказываются связанными между собой взаимной индукцией. Эта связь тем крепче, чем ближе расположены катушки. Ещё она зависит от наличия и материала сердечника катушки. Трансформаторы часто изготавливают так, что катушки намотаны одна поверх другой, а в качестве сердечника используют замкнутый железный «О» или «Ш» образный элемент. Изготавливают сердечник для низких частот, например, силовые трансформаторы работают на частоте 50 Гц, из пластин, которые собирают вместе. Пластинчатая структура сердечника улучшает

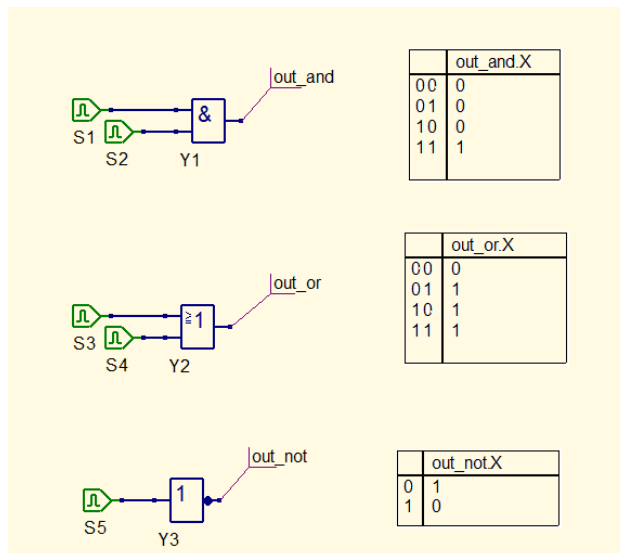
ряд его параметров. А на высоких частотах для сердечников трансформаторов часто применяют ферриты, специально приготовленные метало-порошковые материалы.

Одним важным свойством трансформатора является то, что напряжение на взаимосвязанных катушках, зависит от числа витков катушек. Подавая переменное напряжение на первичную катушку, мы можем вторичные катушки делать с меньшим числом витков, тогда напряжение на них будет меньше, или с большим числом витков, если нам нужно получить напряжение больше, чем напряжение на первичной катушке.

Из того, о чём мы не говорили, следует упомянуть выключатели и переключатели, включая реле. Хотя их тоже теснят полупроводниковые приборы, однако они пока остаются незаменимыми компонентами любых сложных электронных устройств. Ваш сотовый телефон, даже в виде самого крутого смартфона, не обходится без кнопок (выключателей). А реле во многих случаях оказывается удобнее, чем другие способы включения нагрузки и переключения режимов работы, скажем, двигателей. Но всё это определяется в каждом конкретном случае, и для каждого конкретного случая рассматриваются и просчитываются все варианты.

Глава 5. Цифровые схемы

Цифровые схемы, даже простые, из-за обилия элементов, пожалуй, сложнее читать, чем простые аналоговые схемы. Хотя напряжений, участвующих в работе цифровых устройств, в основном два: высокий и низкий уровень, - количество этих напряжений, путешествующих по схеме, очень велико. Вспомним простые элементы: это схемы «И», «ИЛИ», «НЕ».



Таблицы истинности показывают состояние выхода элемента при разных значениях напряжений на входах.

Так для элемента «И» единица на выходе будет только тогда, когда И на первом, И на втором входе единица.

Для элемента «ИЛИ» справедливо, что единица на выходе тогда, когда единица ИЛИ на первом, ИЛИ на втором, ИЛИ на обоих входах элемента.

Рис. 5.1. Базовые элементы цифровых схем и их таблицы истинности

Последний базовый элемент – это инвертор. Он меняет значение выходного сигнала на обратное.

Используя базовые элементы, можно создавать более сложные элементы цифровых устройств. Возьмём несколько базовых элементов и соединим их вместе.

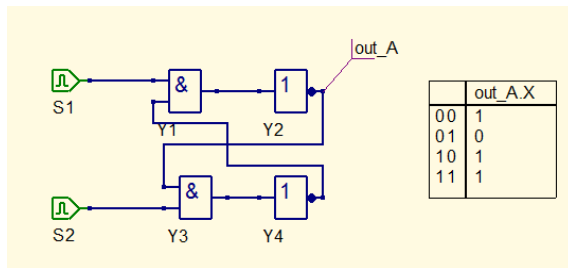


Рис. 5.2. RS-триггер

Эта конструкция состоит из двух двухвходовых элементов «И» и двух инверторов. Как видно из таблицы истинности, единица на одном из входов, когда на другом ноль, устанавливает выход в единицу, и сбрасывает выход в ноль, когда значения напряжения на входах меняются местами.

Используя более сложные элементы, можно получить триггер, значение на выходе которого «переписывается» с входа фронтом импульса на другом входе триггера.

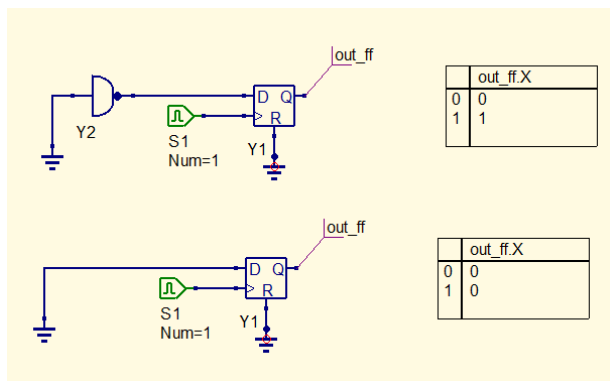


Рис. 5.3. Триггер-защёлка

На верхнем рисунке на входе D триггера единица, поскольку Y2 – это инвертор. С приходом фронта импульса от генератора S1 эта единица переписывается на выход триггера. На нижнем рисунке на входе D ноль, он и переписывается на выход.

При создании сложных цифровых микросхем используют уже готовые цифровые решения и базовые элементы. Есть математический аппарат, который позволяет минимизировать количество базовых элементов для получения заданной функции. Его активно используют при разработке новых цифровых микросхем.

Например, используя триггеры-защёлки, показанные на рисунке выше, мы можем собрать новый цифровой элемент:

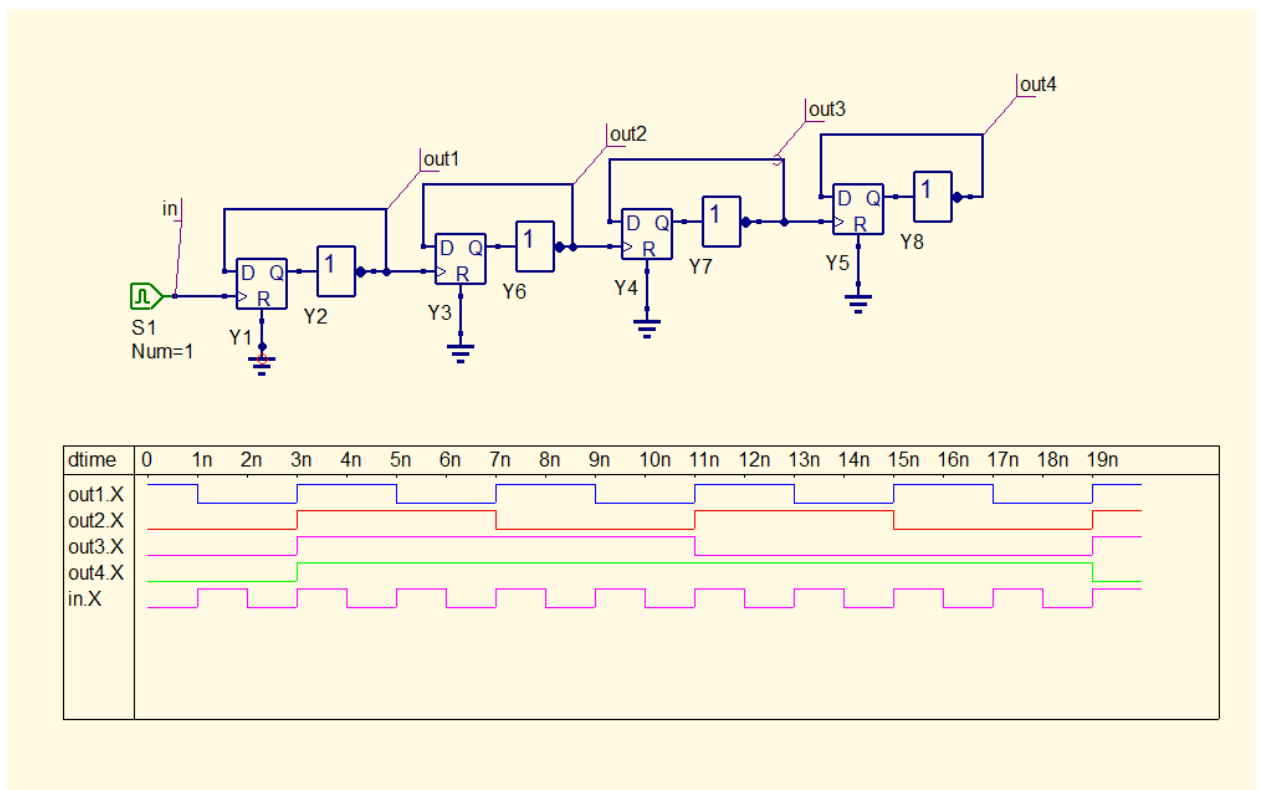


Рис. 5.4. Простейший счётчик на триггерах

Рассмотрим элементы Y1 и Y2. Положим, что в самом начале на выходе Q ноль, то есть, на выходе элемента Y2 единица. С приходом импульса от S1 эта единица переписывается на выход Q. Что даёт на выходе инвертора Y2 ноль, который перепишется следующим импульсом от S1.

В итоге каждая пара из триггера и инвертора будет менять состояние с приходом импульсов на вход, который можно назвать входом стробирования или счётным входом. Иначе, каждый импульс, приходящий от генератора S1, будет менять состояния четырёх выходов. Если рассматривать эти четыре выхода как некий накопитель двоичного числа, то каждый приходящий импульс будет увеличивать это число на единицу. Иными словами, происходит счёт импульсов.

Но взгляните на диаграмму: для изменения состояния на выходе out1 требуется два импульса от генератора. При постоянной работе генератора на выходе out1 частота импульсов будет вдвое ниже. Поэтому двоичные счётчики ещё называют счётчиками-делителями. Если вы собрали простой генератор импульсов, вы можете добавить подходящий двоичный счётчик из цифровой серии микросхем K561, чтобы получить несколько частот, каждая из которых будет вдвое ниже предыдущей частоты.

Рассмотрим какую-нибудь схему реального цифрового устройства.

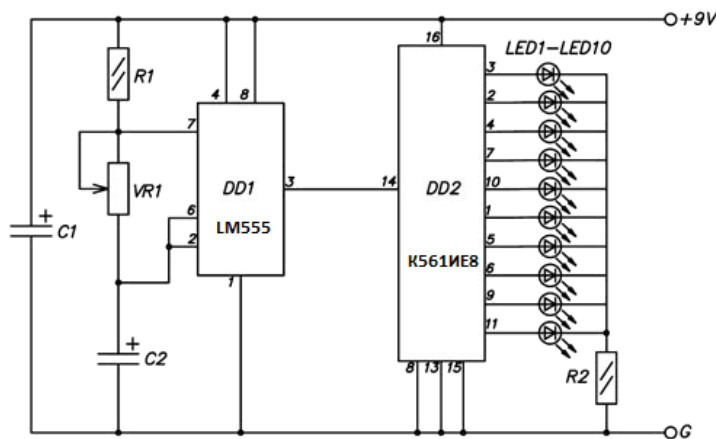


Рис. 5.5. Схема бегущих огней с сайта <http://radio-hobby.org/>

Можно начать чтение схемы со счётчика DD2. На его вход приходят импульсы от знакомого нам генератора на микросхеме таймера LM555. Счётчик K561IE8 двоично-десятичный. Чтобы понять, что происходит на выходах счётчика, следует обратиться к описанию этой микросхемы. Постарайтесь найти книгу В.Л. Шило «Популярные цифровые микросхемы». В книге подробно описывается, как работают цифровые микросхемы.

При указанном на схеме включении выходы счётчика меняют состояние с 0 на 1 (с низкого уровня напряжения на высокое) последовательно при каждом импульсе от генератора, показывая число от 1 до 10. При переполнении счётчика его выходы сбрасываются в 0. Затем всё повторяется сначала. Подобрать частоту генератора, вы увидите, как зажигается один из светодиодов, затем зажигается следующий, а предыдущий гаснет.

Для более сложных схем, чтение схемы следует начинать с её описания.

Как правило, цифровые схемы должны иметь задающий генератор, который называют генератором тактовых импульсов. В схеме выше этот генератор собран на таймере 555, но чаще для этой цели используют цифровые микросхемы. Частота импульсов тактового генератора может определять назначение схемы. Положим, что в приведённой схеме мы расположим светодиоды так, чтобы сверху был светодиод, который зажигается первым. Если тактовый генератор вырабатывает импульсы с частотой 1 Гц, то мы получим «песочные часы» на 10 секунд. Если генератор будет выдавать один импульс в минуту, то «песочные часы» будут рассчитаны на 10 минут.

Глава 6. Пробуем читать схему реального устройства

В предыдущем рассказе о первой сборке устройства была приведена схема таймера 555. Это одна из схем, которую мы попробуем прочитать. Я повторю и принципиальную схему, и функциональную схему, которая поможет нам прочитать то, что написано в электрической схеме.

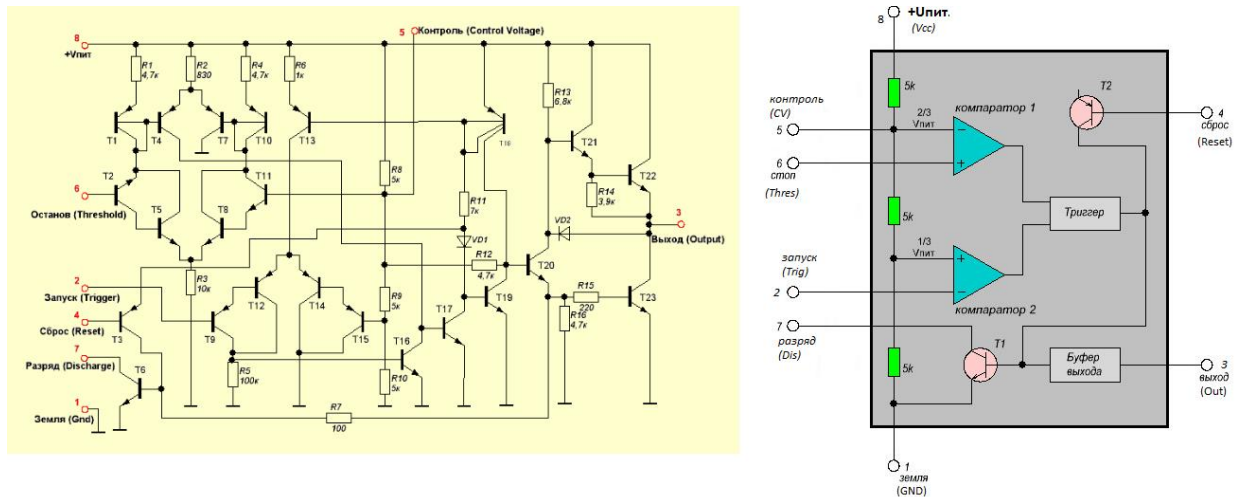


Рис. 6.1. Схема таймера 555

Перед тем, как начать «узнавать» знакомые нам слоги и складывать их в слова, отметим, что на схеме есть ошибка: транзистор T2 нарисован неверно. Вот правильный вид этого участка схемы:

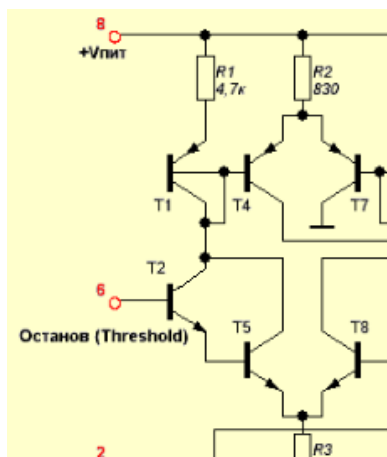


Рис. 6.2. Исправление схемы

Когда вы берёте готовые схемы из книг, журналов или как я из Интернета, следует учитывать то, что в схемах могут быть ошибки. Я бы назвал их, скорее, опечатками.

Тем не менее, собирая схему, вы столкнётесь с тем, что «оживить» её не получится. Поэтому и следует научиться читать схемы, поэтому и следует перед началом сборки обязательно разобраться с тем, как схема работает, зачем нужны те или иные элементы схемы. Пусть не в полной мере вы разберётесь с этим, но явные опечатки устранили.

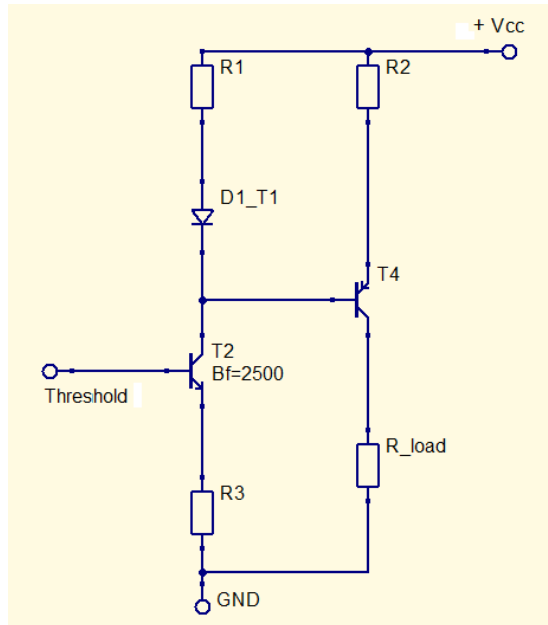
Поскольку начало этой главы пришлось на исправление опечатки, рассмотрим это место поподробнее. Транзисторы T2 и T5 включены так, что представляют собой некий «умощнённый» транзистор. Такое включение транзисторов называют составным транзистором или схемой (или парой) Дарлингтона. Схема даёт очень большой коэффициент усиления по току. Мы знаем, что ток коллектора и ток базы связаны соотношением $I_k = \beta \cdot I_b$. Но ток коллектора почти равен току эмиттера, который будет для второго транзистора током базы. И, в конечном счёте, коэффициент усиления по току будет равен произведению коэффициентов обоих транзисторов. Даже в случае небольшого значения этого коэффициента, скажем, 50 результат будет впечатляющим 2500!

Мы можем заменить на схеме эти пары составных транзисторов T2-T5 и T11-T8 обычными транзисторами, но помнить об их «необычных» свойствах.

Рассмотрим включение транзистора T1. Его база соединена с коллектором. Таким образом, у транзистора используется только один переход база-эмиттер, что свойственно диодам. То есть, этот транзистор «превращён» в диод (как и транзистор T10). И обратите внимание на

непривычное изображение транзистора T1, непривычное изображение его базы, сделанное для упрощения рисунка.

Я уже говорил ранее, что для лучшего понимания схемы её можно перерисовать так, как вам понятнее. Что и сделаю для части схемы, оставив обозначения:



Если мы добавим резистор между базой транзистора T2 и плюсом питания Vcc, то узнаем в каскаде на транзисторе T2 усилитель на транзисторе с общим эмиттером.

А заменив транзистор T2 резистором, узнаем в каскаде на транзисторе T4 усилитель на транзисторе с общим эмиттером.

То есть, мы видим двухкаскадный усилитель на транзисторах с разным типом проводимости и непосредственной связью. Вы можете в программе моделирования проверить его работу.

Рис. 6.3. Часть схемы в более привычном виде

Сопротивление, обозначенное как R_load – это некое сопротивление на которое нагружен транзистор T4, и пока мы не будем разбирать, что это за сопротивление.

Повторив эти операции с транзисторами T7-T8 и T10-T11, мы получим похожий результат, то есть, и в этом случае будут знакомые нам усилители. Но...

Забудем на некоторое время о том, что имеем дело с двухкаскадными усилителями, и рассмотрим схему на транзисторах T2 и T11 (которыми мы заменили составные транзисторы):

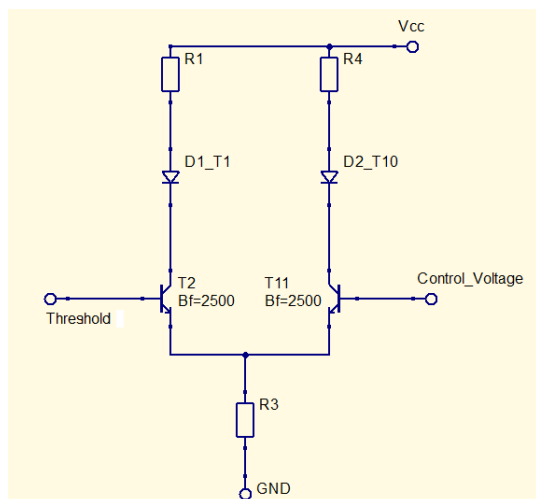


Рис. 6.4. Выделение преобразованной схемы

В таком виде можно узнать схему усилителя с двумя входами, о которой мы говорили раньше.

Мы говорили, что она похожа на ОУ самого простого вида.

А теперь взглянем на функциональную схему, ориентируясь на два входа: Thresh и CV.

Это входы компаратора 1.

Действительно, операционный усилитель вполне может работать как компаратор. Что мы и наблюдаем, разобрав эту часть схемы. Если на один из входов подать фиксированное напряжение, а второй вход, положим, будет на «земле» в начальный момент, то на выходе получится полное выходное напряжение. Затем, если на втором ранее «заземлённом» входе будет увеличиваться напряжение, то в тот момент, когда оно превысит напряжение на первом входе, напряжение на выходе будет меняться. При большом усилении по напряжению этот процесс пройдёт быстро, пока на выходе не окажется полное обратное напряжение (при однополярном питании на выходе будет ноль).

Повторив рассмотрение вышеизложенного для части схемы с транзисторами T9, T12, T13, T14 и T15, мы можем сказать, что имеем дело с компаратором 2.

Теперь обратимся к той части схемы, что выполнена на транзисторах T20-T23. С ней мы поступим следующим образом: мы промоделируем её в программе QucsStudio. Хотя сразу можно сказать, что мы имеем дело с усилителем, что транзисторы T21 и T22 образуют составной транзистор, а транзисторы T22 и T23 – это выходной каскад.

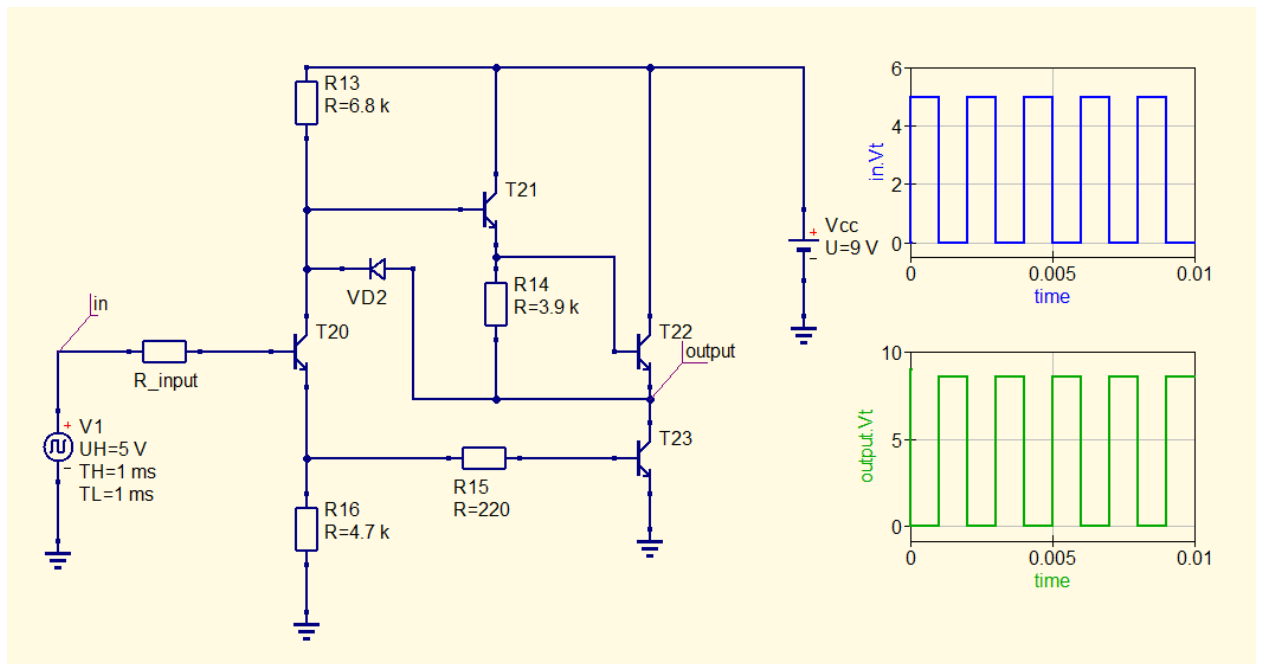


Рис. 6.5. Моделирование части схемы в программе QucsStudio

Если обратиться к функциональной схеме, то можно сказать, что это буфер выхода. Если обратиться к диаграммам, то можно сказать, что это цифровой инвертор. Если вспомнить то, что мы говорили об усилителях, то на транзисторе T22 собран усилитель с общим коллектором, а на T23 с общим эмиттером. Усилительный каскад на транзисторе T20 – это усилитель с общим эмиттером, но из-за большого сопротивления в цепи эмиттера, имеющий глубокую отрицательную обратную связь. Падение напряжения на этом резисторе используется как входное для каскада на транзисторе T23. И всё это справедливо.

Остальные транзисторы (кроме T3 и T6) вместе со связями с остальной частью схемы образуют, видимо, триггер с двумя входами: база T16 и база T4. Он меняет состояние выхода, зависящее от состояния входов.

Признаться, я не узнаю знакомых мне схем триггеров в том, что вижу на схеме. Поэтому предпочитаю, упростив схему, промоделировать ситуацию в программе.

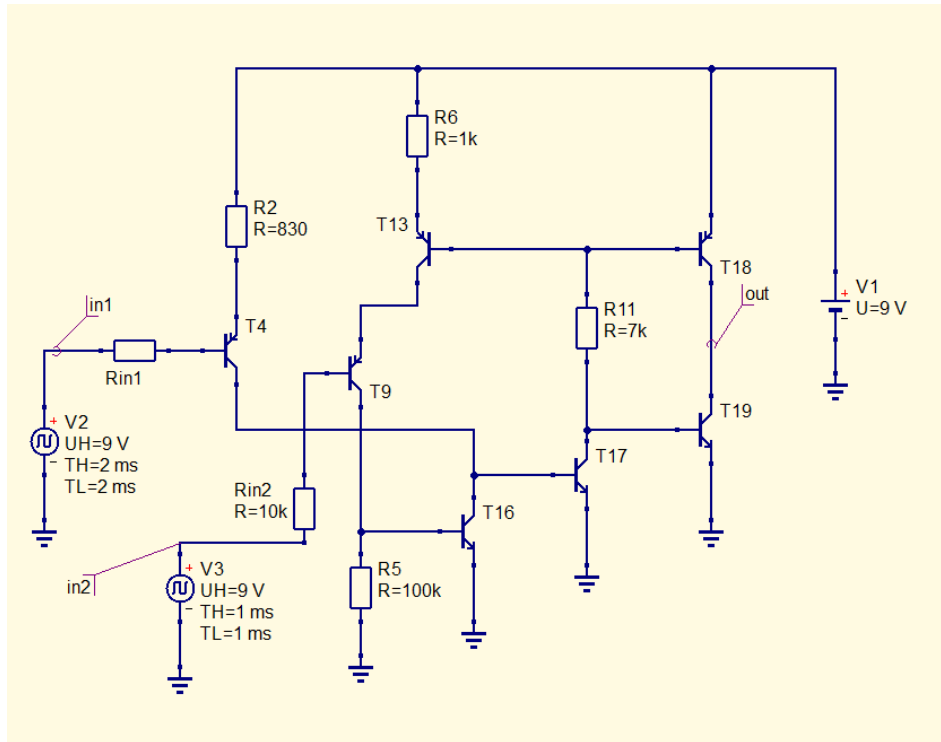


Рис. 6.6. Моделирование оставшейся части схемы таймера

И вот результаты моделирования:

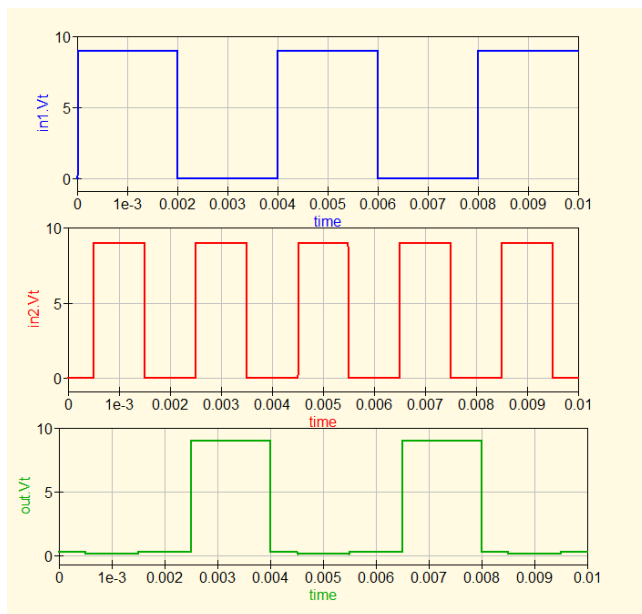


Рис. 6.7. Диаграммы моделирования

Возможно, мы не в полной мере пока разобрались со всей схемой, но согласитесь, узнали о ней многое. Хотя при первом взгляде на схему этого, вероятнее всего, не случилось.

Глава 7. Микросхемы

Мы рассмотрели устройство таймера 555, попытавшись прочесть его схему. Но сам таймер спрятан в микросхеме. И сегодня микросхемы, пожалуй, наиболее часто используемые компоненты электронных устройств. В этих микросхемах спрятаны целые узлы и сложные устройства, что значительно облегчает работу по созданию новых приборов, как бытовых, так и промышленных. Количество ежегодно выпускаемых новых микросхем так велико, что знакомство со всеми новинками требует даже от профессионалов больших усилий.

Графическое обозначение микросхем, как правило, выглядит несложно: прямоугольник с каким-то количеством входов и выходов. О назначении микросхем по графическому представлению можно догадываться, если количество этих входов и выходов невелико. Об остальном можно узнать только в справочных данных на микросхему. Отличить их по внешнему виду трудно, поскольку корпуса микросхем унифицированы. Так микросхема таймера 555 будет похожа на микросхему операционного усилителя или набора транзисторов. Опознавание микросхем по внешнему виду особенно затруднительно для компонентов, предназначенных для поверхностного монтажа. Из-за малой поверхности трудно наносить полное название микросхемы. Поэтому, если вы купили такую микросхему, но сразу не использовали, обязательно запишите её название и назначение и храните справку вместе с микросхемой.

Читать схемы, изобилующие микросхемами, иногда проще, чем схемы с привычными простыми элементами, а иногда гораздо труднее. Как правило, на схеме обозначают номера выводов, но не пишут назначение этих выводов. Если вы нашли интересующую вас схему, то перерисуйте её на бумаге (или распечатайте на принтере), а затем надпишите входы и выходы. Если у вас есть возможность найти схему в Интернете, то используйте графический редактор для того, чтобы сделать надписи. Потраченное время на эту процедуру окупится впоследствии, когда вы будете работать со схемой. Когда у вас будет достаточно опыта, вы, видимо, откажетесь от этой привычки в целях экономии времени, но и тогда я советую на рабочей схеме (или дополнительном листе бумаги) рисовать цоколёвку транзисторов и микросхем. Вот один из примеров:

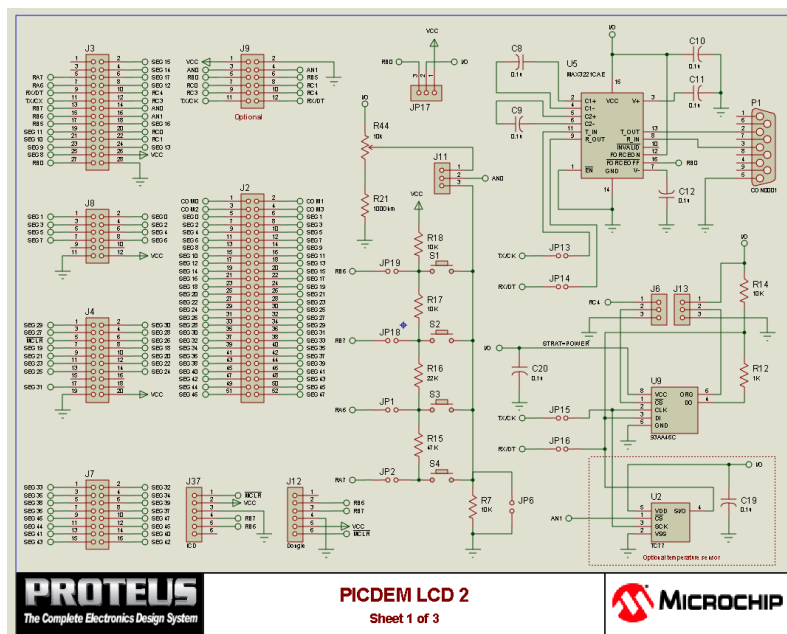


Рис. 7.1. Пример из набора, поставляемого вместе с программой Proteus

Даже наличие обозначений выводов у микросхем, как вы можете видеть, и наличие обозначений всех соединений не даёт лёгкого прочтения схемы. И представьте, что на схеме для всех выводов микросхем проведены соединения непосредственно от вывода до вывода. В такой паутине соединений запутаться ещё легче.

Чтобы избежать подобной графики на чертежах применяют шинное обозначение соединений. Все соединения обозначают одной линией, к которой подходят соединения от выводов микросхемы, каким-то образом промаркированные. В месте соединения с другой микросхемой эти соединения подключаются к выводу, имея ту же маркировку, что и в начале соединения.

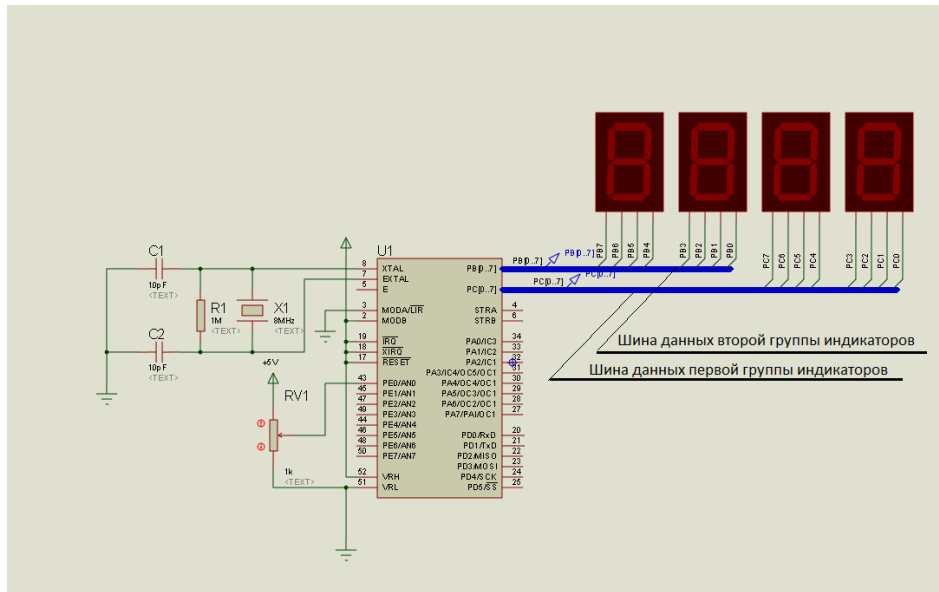


Рис. 7.2. Обозначения соединений на чертежах с микросхемами

Появление микросхем разного рода процессоров существенно упростило и облегчило разработку и создание новых электронных устройств, облегчило их совершенствование. Но теперь читать сложные схемы стало намного труднее. Чтобы понять, для чего служит устройство, схема которого приведена выше, нужно хотя бы бегло познакомиться с микроконтроллерами.

Так нужно знать, что у микроконтроллера есть встроенные преобразователи аналогового сигнала в цифровую форму, их называют АЦП. Нужно знать, что микроконтроллер может обрабатывать цифровые данные, формируя на выходах цифровые сигналы, предназначенные для работы с внешними устройствами.

На схеме выше показано, вероятно, что напряжение с потенциометра RV1 прочитывается микроконтроллером по аналоговому входу PE0/AN0. Микроконтроллер формирует цифровое представление значения напряжения на выходах портов В и С в формате, который управляет четырьмя семисегментными индикаторами, которые и показывают напряжение в привычном для нас виде.

И, если вам интересно, как это устроено, как работает эта схема, то давайте бегло познакомимся с микроконтроллером в следующем рассказе, где попробуем самостоятельно создать устройство, подобное тому, что изображено на схеме выше.