

ПРАКТИЧЕСКАЯ МИКРОЭЛЕКТРОНИКА

Характеризуя молодежь на современном этапе эволюции общества, можно отметить такие опасные тенденции, как: потеря интереса к науке, потеря интереса к труду, отсутствие навыков изобретения, прототипирования и создания изделий своими руками. В то же время, с каждым днем программирование становится всё проще и проще. Размывается граница между системным/прикладным программированием, администрированием, программированием карманных ПК и даже встраиваемых ЭВМ (микроконтроллеров).

Чтобы стимулировать школьников к интеллектуальному развитию, творческой и производственной деятельности, появилась идея создания курса под девизом «Сделай Сам».

Курс «Практическая микроэлектроника» будет состоять из нескольких занятий.



Чтобы стимулировать школьников к ...творческой и производственной деятельности, появилась идея создания данного проекта «Сделай Сам».

Первое занятие – вводное, в нем описываются основы микроэлектроники. Эта статья основана на материалах популярного сайта <http://easyelectronics.ru>.

Затем мы познакомимся с платформой Arduino, рассмотрим среду программирования и популярные платы, их устройство и отличия. Вы увидите список деталей, которые нам понадобятся для выполнения лабораторных работ на протяжении цикла статей. Узнаем, из чего состоит скетч, напишем простейшую программу Hello, World! с использованием цифрового входа.

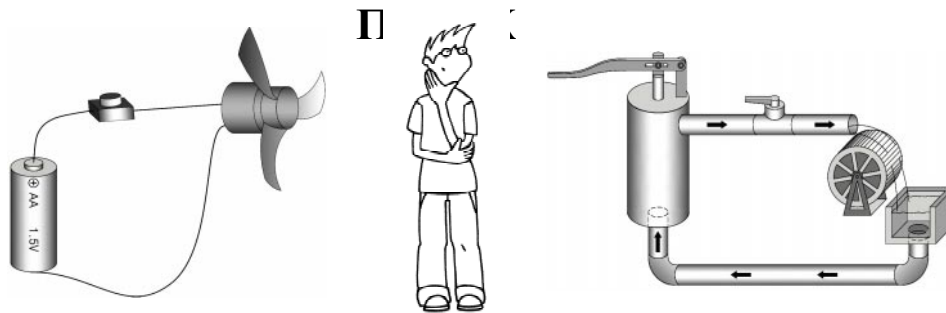
На следующем занятии мы закрепим полученные знания, написав программу-светофор. Добавим кнопку для пешехода и будем считывать показания с использованием цифрового входа.

На четвертом занятии мы познакомимся с аналоговыми портами ввода-вывода, узнаем, что такое ШИМ, сделаем программную эмуляцию и узнаем, как Arduino поддерживает ШИМ на аппаратном уровне. С помощью потенциометра мы научимся плавно менять яркость светодиода, а также сделаем «бегущую волну» из нескольких светодиодов.

Начиная с пятого занятия мы будем собирать готовые устройства: велосипедный костюм с поворотниками, умный горшок для цветов, оригинальную шкатулку-подарок и т. д.

Итак перейдем к первому занятию, в котором познакомимся с основами создания электрических цепей.

ЗАНЯТИЕ 1. ОСНОВЫ ЭЛЕКТРИЧЕСТВА НА



ТОК, НАПРЯЖЕНИЕ, СОПРОТИВЛЕНИЕ

Перед тем как рассказать про электричество, давайте представим себе канализацию в доме. Канализация состоит из приподнятого над землей сливного бачка, системы труб, воды и нечистот, которые несутся по этим трубам (рис. 1). Вода под действием силы тяжести течет из зоны более высокого потенциала в зону более низкого – к земле. Движению воды мешает сопротивление труб. Чем меньше сечение трубы, тем больше сопротивление. И, наоборот, чем больше сечение трубы, тем меньше сопротивление.

Вы можете проверить это экспериментально: возьмите бутылку с водой, открутите пробку, переверните и вылейте всю воду. Повторите опыт, только на этот раз пробку не откручивайте, а проделайте в ней маленькую дырочку. Сравните время

в первом и втором случае – разница будет очевидна. Чтобы «почувствовать» сопротивление воды самим, возьмите шприц с водой и быстро надавите на поршень. Проведите эксперимент с иглой и без иглы.

Кроме сопротивления труб, есть еще и нечистоты, которые тоже создают сопротивление. При большом сопротивлении можно увеличить поток, подняв давление – разность потенциалов.

Если сравнить электроцепь с канализацией, то источник питания – это сливной бачок, текущая вода – ток, давление воды – напряжение, а несущиеся по трубам нечистоты – полезная нагрузка. Когда мы говорим о текущей воде, мы подразумеваем перенос вещества, то есть движение молекул H_2O . Когда мы говорим об электрическом токе в металле, движения вещества не происходит. Ведь в крис-

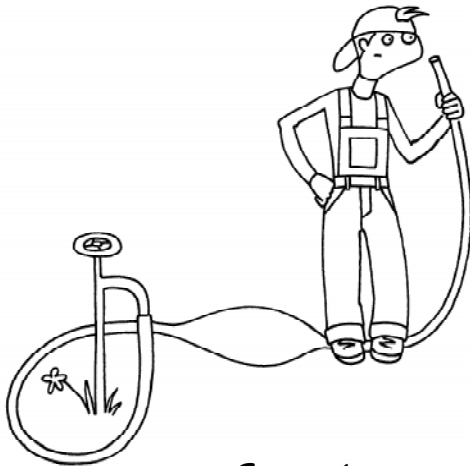


Высота жидкости подобна напряжению. Другое название напряжения – разность потенциалов.



Повторите опыт... пробку не откручивайте, а проделайте в ней маленькую дырочку. Сравните – разница будет очевидна.

Рис. 1. Канализация как пример электрической



Если же возникнет засор, то поток воды практически остановится...

таллической решетке молекулы не двигаются, они лишь немного колеблются, вибрируют. Носителями тока в металле являются свободные электроны.

По аналогии с трубами: чем тоньше провод, тем больше сопротивление тока. Чем больше разность потенциалов, тем больше может быть полезная нагрузка.

ЗАКОН ОМА

Давайте пренебрежем сопротивлением труб. Можно заметить одну интересную особенность: как только мы добавляем полезную нагрузку, поток воды ослабевает на всем протяжении трубы как до полезной нагрузки, так и после. Если же возникнет засор, то поток воды прак-

тически остановится как до, так и после засора. При большом сопротивлении можно увеличить поток, подняв давление – разность потенциалов.

Для тока существует аналогичный закон – закон Ома, который звучит так:

Сила тока в цепи прямо пропорциональна напряжению и обратно пропорциональна полному сопротивлению цепи.

$$I = \frac{U}{R},$$

где U – величина напряжения в вольтах, R – сумма всех сопротивлений в омах, I – протекающий по цепи ток в амперах.

ЗАКОН ОМА НА ПРАКТИКЕ

Просчитаем простейшую цепь, состоящую из двух сопротивлений и одного источника питания (см. рис. 2). В принципиальной схеме за точку нулевого потенциала принимают минус питания, а плюсом считается точка с потенциалом равным напряжению питания. Принято считать, что ток течет из точки с более высоким потенциалом в точку с более низким. Нам известно напряжение источника питания и сопротивление двух резисторов, нужно найти ток. Сложим все сопротивления, чтобы получить общую нагрузку, и применим закон Ома – ток найден.

А теперь давайте посмотрим, как распределяется напряжение на каждом из резисторов. Применяем закон Ома следующим образом:

$$U = I * R.$$

В нашем случае ток будет постоянен, поскольку ток в цепи един для всех последовательных сопротивлений (рис. 3).

Получили, что

$$U_{\text{источника}} = U_1 + U_2.$$

Исходя из этого принципа, можно, например, соединить последовательно 22 лампочки, рассчитанные на 10 В, и запитать их от розетки 220 В – ни одна лампочка не перегорит.

А что будет, если одно сопротивление сделать много больше (на не-

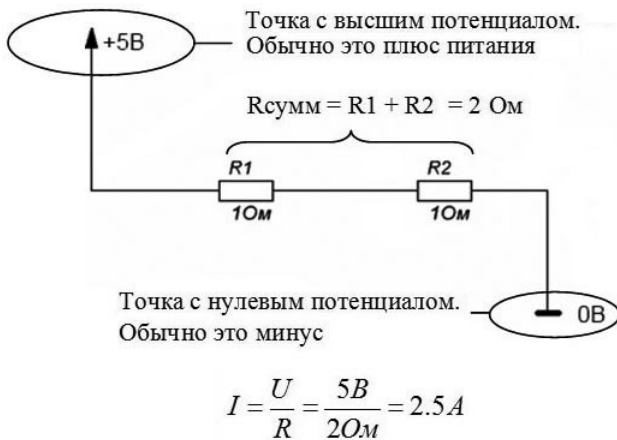


Рис. 2

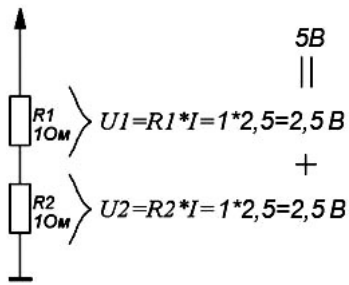


Рис. 3. Падение напряжения

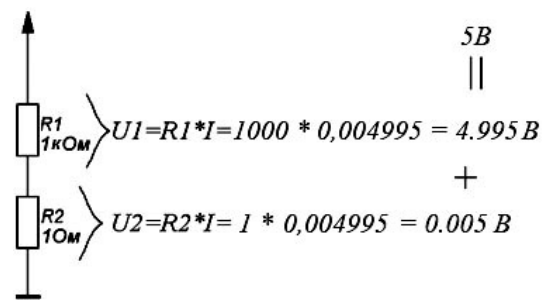


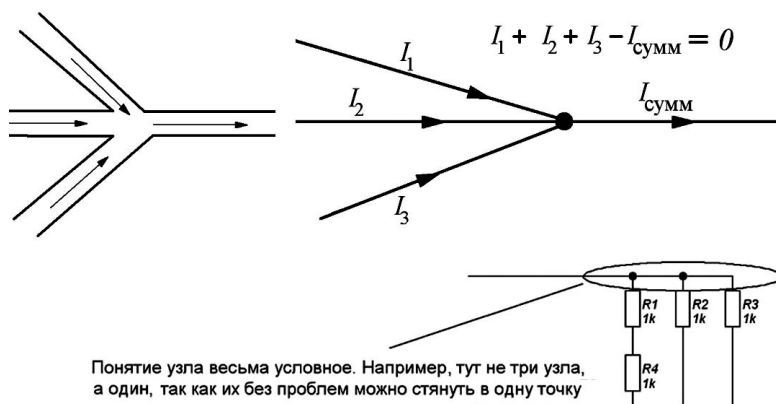
Рис. 4. Падение напряжения

сколько порядков) другого? Возьмем, например, 1 кОм и 1 Ом, тогда ток будет очень маленьким, так как 5 вольт делится на 1001 Ом. Из расчетов станет ясно, что почти все напряжение выпадет на большом сопротивлении (рис. 4).

ЗАКОН КИРХГОФА

Представьте себе систему, состоящую из четырех труб, соединенных вместе в одной точке – узле (рис. 5). В три трубы вода вытекает, а из одной вытекает. Внимательный наблюдатель может заметить, что поток, вытекающий из узла, равен сумме трех потоков, втекающих в узел. Вода в трубах не может взяться ниоткуда, поэтому исходящий поток равен сумме входящих. Так же и в электрической цепи. Токи в узле суммируются согласно их направлению: к узлу или от узла. Математически он записывается так:

$$\sum_{j=1}^n I_j = 0.$$



Понятие узла весьма условное. Например, тут не три узла, а один, так как их без проблем можно стянуть в одну точку

Рис. 5. Закон Кирхгофа на примере

РЕЗИСТОР

Резистор переводится как сопротивление. На схеме обозначается узким прямоугольником или угловатой пружинкой. В нем происходит превращение энергии из электрической в тепловую: резистор потребляет ток и греется при этом. Чаще всего он используется в качестве токоограничителя или делителя напряжения.

Сначала рассмотрим резистор в качестве токоограничителя (рис. 6). Возьмем, к примеру, светодиод. Сопротивление светодиода зависит от тока, проходящего через него (нелинейный элемент). Чем больше напряжение, тем меньше его сопротивление, а значит, растет ток (закон Ома). Если ток никак не ограничить, то светодиод сгорит.

У светодиода бывают несколько характеристик, основные из них – типовой (рабочий) ток и типовое падение напряжения. Зная разность потенциалов у источника тока и падение напряжения на

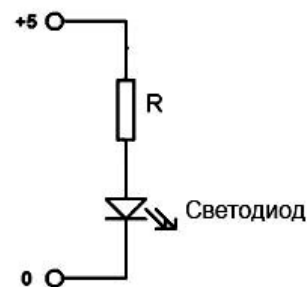


Рис. 6. Резистор как токоограничитель для светодиода

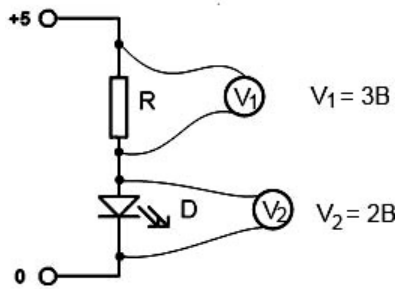


Рис. 7. Падение напряжения на разных участках цепи

светодиоде, можно рассчитать требуемое падение напряжения (разность потенциалов) у резистора. Так как ток во всей последовательной цепи постоянен, то рассчитываем сопротивление по закону Ома.

Пример:

$$U_{\text{светодиода}} = 2\text{В}, \quad I_{\text{светодиода}} = 20\text{мА}.$$

$$U_{\text{резистора}} = U_{\text{питания}} - U_{\text{светодиода}} = 5\text{В} - 2\text{В} = 3\text{В}.$$

$$R_{\text{резистора}} = \frac{U_{\text{резистора}}}{I_{\text{светодиода}}} = \frac{3\text{В}}{0.02\text{А}} = 150\text{ Ом}.$$

Получили нужное значение сопротивления: 150 Ом. Теперь, если мы поднесем вольтметр к резистору, мы увидим падение напряжения 3 В, у светодиода падение составит 2 В (рис. 7).

Другое популярное применение – это делитель напряжения. Делитель представляет из себя два последовательно соединенных резистора (рис. 8). Один из них подсоединен к точке нулевого потенциала, а второй к напряжению, которое нужно поделить. Средняя точка между резисторами это выход деленного напряжения. Напряжение разделится на резисто-

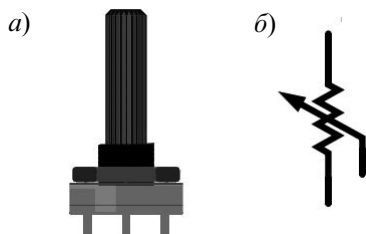


Рис. 9. Настоящий потенциометр (а) и на принципиальной схеме (б)

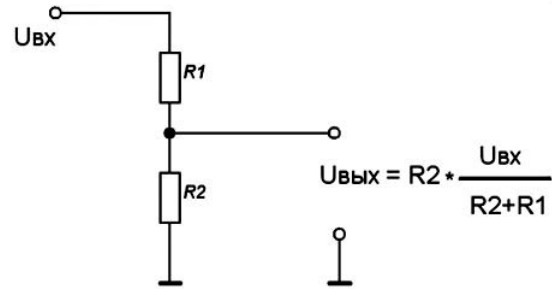


Рис. 8. Резистор как делитель напряжения

рах пропорционально их сопротивлениям. Подробный пример был рассмотрен в разделе «Закон Ома на практике».

$$U_{\text{вых}} = R_2 * I_{\text{общ}} = R_2 * \frac{U_{\text{вх}}}{R_{\text{общ}}} = R_2 * \frac{U_{\text{вх}}}{R_1 + R_2} = U_{\text{вх}} * \frac{R_2}{R_1 + R_2}.$$

Меняя сопротивления R_1 , R_2 , мы можем менять соотношение $\frac{R_2}{R_1 + R_2}$ в пределах от нуля до единицы:

– если $R_1 = 0$, то дробь равна 1 и выходящее напряжение равно входящему (номинальному),

– если $R_2 = 0$, то дробь равна 0 и выходящее напряжение равно нулю,

– если $R_1 = R_2$, то дробь равна 1/2.

Для плавного изменения напряжения от нуля до номинального существует специальное устройство – потенциометр, который изображен на рис. 9 а. У него 3 ножки-вывода, к крайним выводам подключается земля и $U_{\text{вх}}$, а с центрального вывода и земли снимается $U_{\text{вых}}$. На принципиальных схемах потенциометр обозначается угловатой пружинкой со стрелкой (рис. 9 б).

Еще один вариант использования резистора – подтяжка выводов микроконтроллера.

ПОДТЯЖКА ВЫВОДОВ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА

Микроконтроллер – цифровое устройство, которое общается с внешним миром посредством своих интерфейсов взаимо-

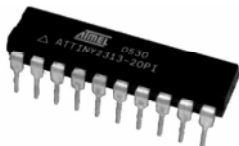


Рис. 10. Выводы (ноги) микроконтроллера

действия. Одним из таких интерфейсов является порт ввода-вывода (Input/Output port), часто обозначаемый как I/O. Механически порт I/O – это нога (Pin) микроконтроллера, которая подключается к датчикам, схемам, другим МК, моторам, сервоприводам и т. д. (рис. 10), создавая или считывая разность потенциалов относительно нулевого потенциала (земли).

Такой порт может быть только портом ввода, только портом вывода или портом ввода/вывода одновременно.

Порт может быть цифровым или аналоговым. Чтобы почувствовать разницу, представьте выключатель, который включает или выключает воду. А теперь представьте регулятор, который может плавно регулировать напор воды. Так же и с портами: цифровой порт может работать только с двумя значениями – ноль или единица, в то время как аналоговый порт может работать с промежуточными значениями, плавно варьируя их.

Рассмотрим цифровой порт. Понятие нуля и единицы в аналоговой технике весьма условное, так как здесь фактически не существует никакого нуля и единицы, есть лишь значение напряжения.

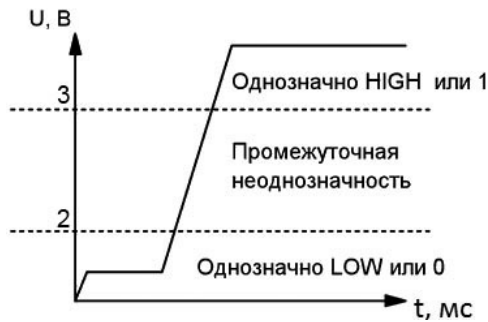


Рис. 11. Логические уровни напряжений

Люди договорились использовать два уровня напряжения: высокий и низкий, причем у каждого уровня установлена своя граница (рис. 11). На нашем примере нижней границей является значение 2 В; все, что находится ниже – низкое напряжение, то есть 0, а все что находится выше значения 3 В – высокое напряжение, то есть 1. Также возможны и промежуточные значения от 2 до 3 вольт. С точки зрения МК это неопределенное состояние, и поэтому такие состояния надо избегать.

На рис. 12 изображен фрагмент микроконтроллера с одним выводом (PIN).

Допустим, мы хотим оповестить внешний мир, подав на вывод 5 В. Для этого внутри микроконтроллера «подтянем» вывод к 5 вольтам через резистор. Задача выполнена. На выводе будет 5 В, через резистор ток не будет течь, ведь ток, как и вода, течет тогда, когда есть разность потенциалов. Такой резистор называется подтягивающий резистор (Pull-up) (рис. 13).

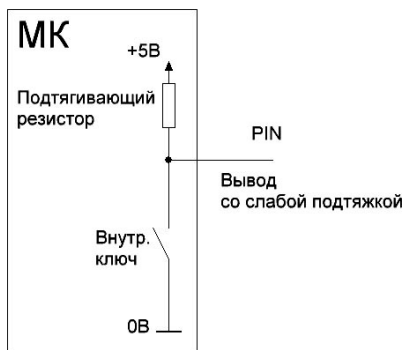


Рис. 12. Pull-Up (подтяжка)

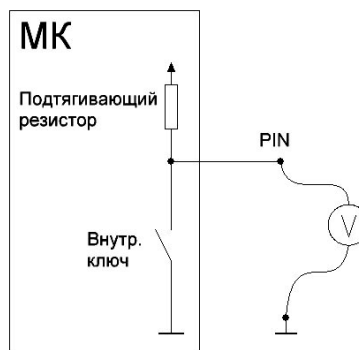


Рис. 13. Вольтметр показывает 5 В, когда ключ разомкнут, и 0 В, когда ключ замкнут

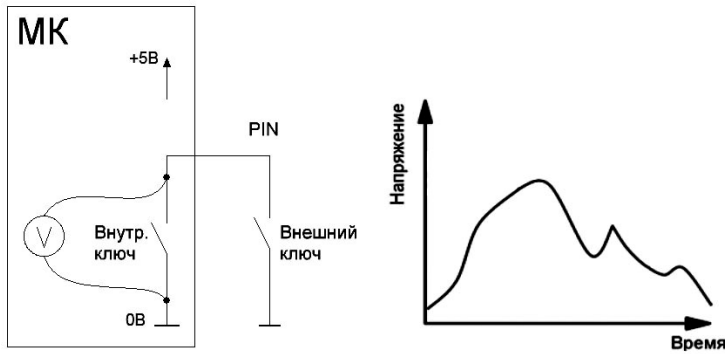


Рис. 14. Помехи, когда внешний ключ разомкнут

Теперь мы хотим оповестить внешний мир, подав на вывод 0 В. Для этого мы замыкаем ключ. Это значит, что мы «заземлили» ногу, теперь на выводе будет 0В. Цель достигнута. Ток через резистор будет течь, так как существует разность потенциалов. Для того чтобы ток был не очень большим, подбирают сопротивление порядка нескольких кОм. Рассчитаем этот ток:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{5В}{10000 \text{ Ом}} = 0,0005 \text{ А}$$

До этого мы оповещали внешний мир о нашем присутствии, подавая 0 В или 5 В. Теперь мы сами хотим узнать о каком-то внешнем событии. Например, о нажатии кнопки. Здесь нам снова пригодится подтяжка. Когда внешний ключ разомкнут, нам необходимо иметь устойчивый уровень напряжения (рис. 11). Если вывод не будет заземлен (либо притянут к 5 В), нога, словно антенна, будет ловить радиопомехи (рис. 14).

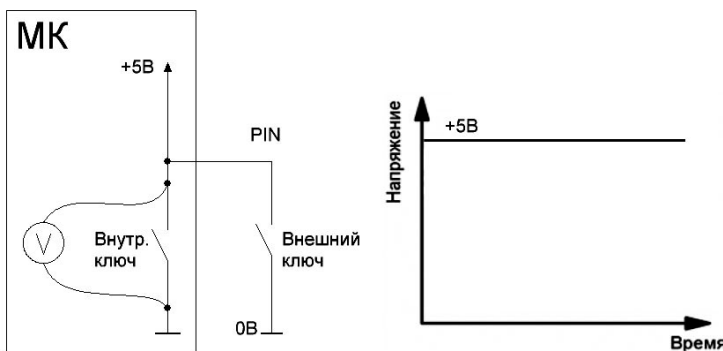


Рис. 15. Внешний ключ разомкнут, МК распознает логическую единицу

Поэтому давайте притянем вывод к 5 В. Теперь, когда внешний ключ разомкнут, у нас будет стабильно 5 В. Микроконтроллер интерпретирует это напряжение как логическую единицу (рис. 15).

Что произойдет, если кто-то решит нажать на кнопку, тем самым, замкнув внешний ключ? Произойдет КЗ (короткое замыкание), что приведет к выходу из строя данного вывода или в худшем случае всего МК. Вот тут-то и приходит на помощь резистор. Если мы соединим ногу к 5В через резистор, то короткого замыкания не будет. «И волки сыты, и овцы целы» (рис. 16).

КОНДЕНСАТОР

Представьте себе резиновый шарик, который заполняется водой. Сначала поток воды с легкостью заполняет шарик, но по мере наполнения водой упругие стенки растягиваются и начинают сопротивляться дальнейшему расширению. В какой-то момент давление воды сравняется с давлением упругих стенок, и поток воды остановится. Если ослабить внешнее давление воды, то поток хлынет в обратную сторону, то есть из области повышенного давления (шарика) в сторону пониженного давления.

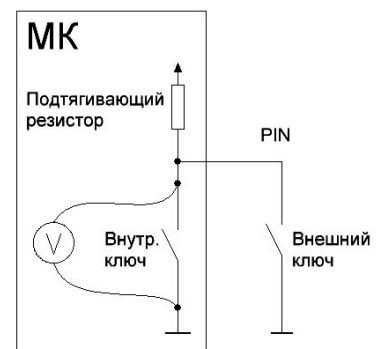
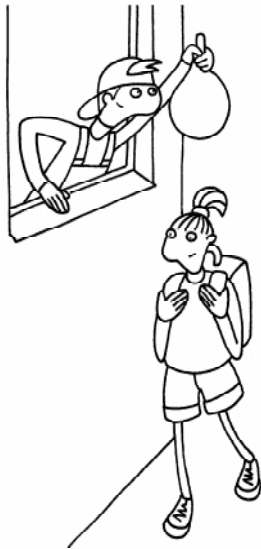


Рис. 16. Вольтметр показывает 5В, когда внешний ключ разомкнут, и 0В, когда ключ замкнут



Представьте себе резиновый шарик, который заполняется водой.

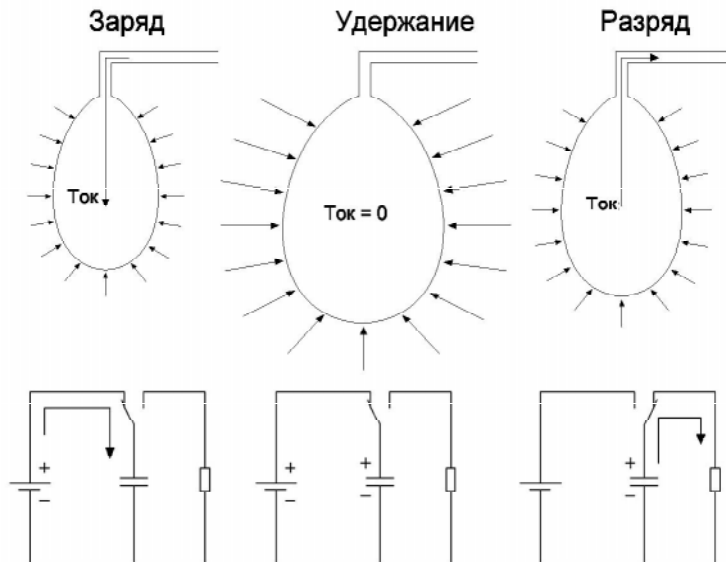


Рис. 17. Конденсатор (обозначен двумя параллельными отрезками одинаковой длины)

По аналогии с канализацией, конденсатор вначале пропускает через себя ток, напряжение (разность потенциалов на обкладках конденсатора) равно нулю. В этот момент он ведет себя как обычный проводник, ток течет без ограничений. По мере зарядки напряжение возрастает, а ток падает. В конце концов, ток перестает течь совсем, напряжение на обкладках конденсатора становится равным напряжению заряжающего источника (рис. 17).

Конденсатор чаще всего используется для фильтрации помех. Ведь конденсатор не пропускает постоянный ток, зато реагирует на скачки напряжения. Если вставить его параллельно микроконтроллеру, как показано на рис. 18, то при повышенном напряжении он будет заряжаться, отбирая часть напряжения на себя, а при пониженном – наоборот, разряжаться, поддерживая постоянный уровень напряжения.

КАТУШКА ИНДУКТИВНОСТИ

Представьте, что в канализацию встроена массивная турбина, обладающую большой инерцией.

Если турбина покоится, то при появлении потока она будет медленно раскручиваться, тормозя поток. Если турбина уже раскручена, то при уменьшении потока она будет подталкивать его еще некоторое время. Чем больше инерция, тем сильнее будет сопротивление изменению потока.

Катушка индуктивности в электрической цепи представляет собой проволоку, намотанную на каркас. Индуктивностью в большей или меньшей степени облада-

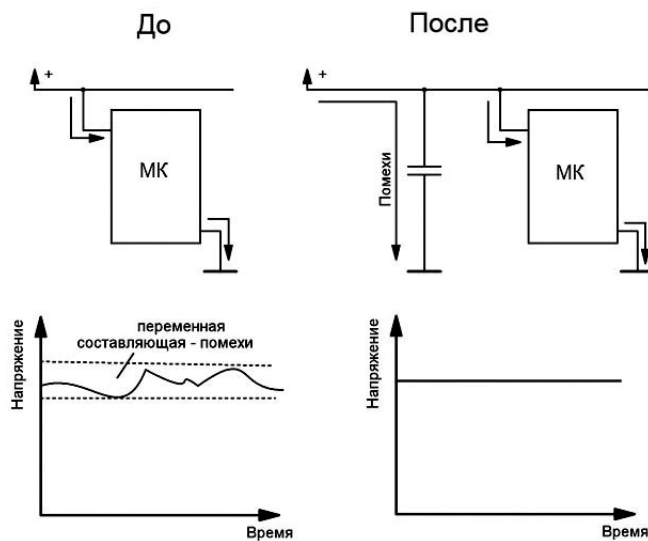


Рис. 18. Применение конденсатора: фильтрация помех

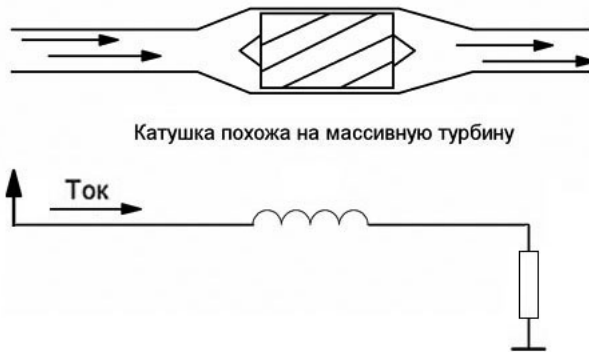


Рис. 19. Катушка индуктивности

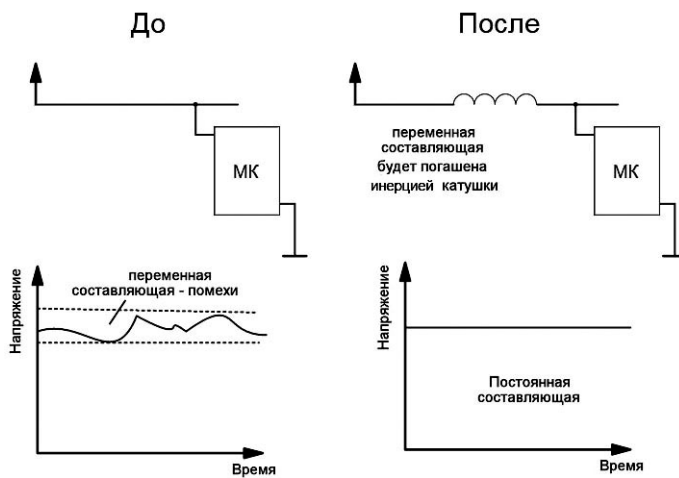


Рис. 20. Применение катушки индуктивности: фильтрация помех

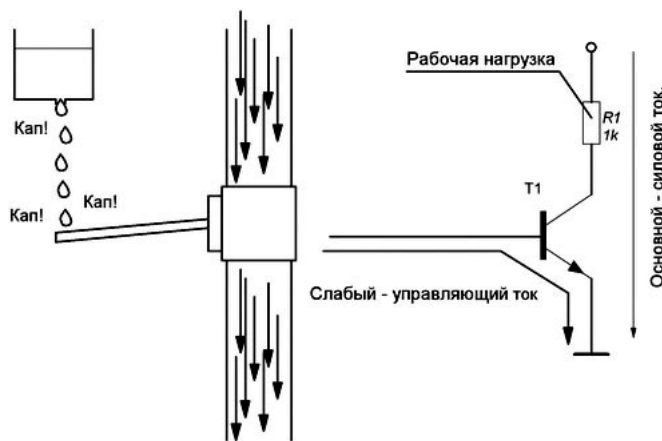


Рис. 21. Транзистор подобен вентилю, где крошечная сила может управлять потоком энергии,

ет все, что имеет обмотку (электромоторы, электромагниты). Аналогично турбине в канализации, катушка индуктивности препятствует изменению тока, протекающего через нее (рис. 19).

Основное применение катушки в колебательных контурах генераторов и в фильтрах, так как катушка имеет отличное свойство пропускать через себя постоянную составляющую и подавлять переменную (рис. 20). Как видно из примера, после применения катушки индуктивности на микроконтроллер будет приходиться постоянное напряжение.

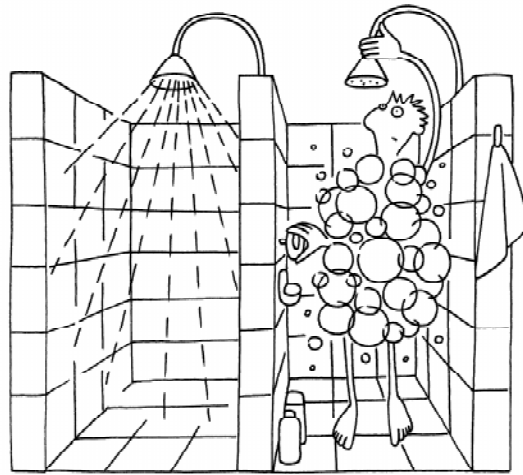
ТРАНЗИСТОР

Вспомните слова Архимеда: «Дайте мне точку опоры, и я переверну землю». Транзистор можно сравнить с управляемым вентилем, где крохотным усилием можно управлять мощнейшим потоком. Чуть надавил на рычаг, и мощный поток пришел в движение, открыл посылней, – и вот уже поток несётся, смывая все на своем пути. То есть выход пропорционален входу, умноженному на величину, называемую коэффициентом усиления.

Транзисторы делятся на полевые и биполярные. В биполярном транзисторе есть эмиттер, коллектор и база (рис. 21). Эмиттер со стрелочкой, база обозначается как прямая площадка между эмиттером и коллектором. Между эмиттером и коллектором идет большой ток полезной нагрузки, направление тока определяется стрелочкой на эмиттере. А вот между базой и эмиттером идет маленький управляющий ток. Грубо говоря,

величина управляющего тока влияет на сопротивление между коллектором и эмиттером.

Полевой транзистор отличается от биполярного тем, что в нем сопротивление канала между истоком и стоком определяется уже не током, а напряжением на затворе. Последнее время полевые транзисторы получили большую популярность (на них построены все микропроцессоры), так как токи в них протекают микроскопические, решающую роль играет напряжение, а значит потери и тепловыделение минимальны.



*Чуть надавил на рычаг, и мощный поток
пришел в движение...*

Литература

1. <http://easyelectronics.ru>
2. Болл Стюарт Р. Аналоговые интерфейсы микроконтроллеров. М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2007.
3. Сворень Р.А. Электроника шаг за шагом: Практическая энциклопедия юного радиолюбителя. Изд. 4-е, дополн. и исправл. М.: Горячая линия – Телеком, 2001.

**Яркоев Константин Евгеньевич,
разработчик фирмы SoftDev SPb.**



Наши авторы, 2011.
Our authors, 2011.