

Рис. 5

элементов двух массивов на совпадение с точностью dP (75 мс). При совпадении происходит переключение сигнала светодиода на 13-м выводе в противоположное состояние. Светодиод имитирует включение—выключение управляемого устройства. В заданных значениях переменных звуковой пароль может иметь комбинацию до 51 удара.

После включения питания следует "настучать" исходную секретную комбинацию ударов. Спустя 2 с излучатель её повторит, и устройство перейдёт в режим ожидания подтверждающей комбинации. Наборы фальшивых комбинаций должны приводить лишь к их звуковому повтору, светодиод на плате не должен включаться. После приёма ключевой комбинации светодиод должен включиться. С этого момента его можно переключать одним коротким ударом. Если в устройстве нужно акти-

визировать пароль, достаточно "выстучать" любую фальшивую комбинацию. Светодиод останется в текущем состоянии и перестанет реагировать на одиночные управляющие стуки. Чтобы вернуть управление, нужно вновь ввести ключевую комбинацию. Для её смены достаточно перезагрузить плату. Следует отметить, что перед выстукиванием любой новой комбинации, кроме ключевой при её первоначальной записи, нужно сделать одиночный удар, а затем с паузой не более 2 с — желаемую комбинацию.

Если чувствительность микрофона увеличить, устройство перейдёт в "генераторный" режим, и последний звук излучателя датчиком будет восприниматься как управляющий одиночный удар. Текущий записанный пароль будет всё время воспроизводиться, а устройство переключаться, если пароль верный.

После налаживания конструкции и скетча, приобретения навыков для выстукивания сложных паролей можно приступить к разработке различных устройств с таким замком. Автор решил переделать светодиодный фонарь (рис. 4) на дежурный светильник. Схема этого устройства показана на рис. 5. Из корпуса фонаря были извлечены элементы питания (4,5 В). Внутри батарейного отсека установлены модуль FC-04 и плата Arduino Pro Mini. Как её запрограммировать, подробно изложено в [4]. В качестве источника питания фонаря применено сетевое ЗУ сотового телефона с выходным напряжением 5 В и током до 0,7 А. Светодиоды, выключатель и токоограничивающий резистор R2 остались штатными.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Secret Knock Detecting Door Lock. — URL: [http://grathio.com/2009/11/secret\\_knock\\_detecting\\_door\\_lock/](http://grathio.com/2009/11/secret_knock_detecting_door_lock/) (16.05.19).
2. Замок с "секретным стуком" на Arduino. — URL: <https://alexgyver.ru/secretknocklock/> (16.05.19).
3. Кодовый замок "Тук-тук". — URL: <http://wiki.amperka.ru/projects:knocklock> (16.05.19).
4. Мамичев Д. Светодиодный куб 6х6х6 на Arduino. — Радио, 2018, № 1 с. 61—64.

**От редакции.** Скетчи для Arduino и видеоролик, иллюстрирующий работу устройства, находятся по адресу <http://ftp.radio.ru/pub/2020/03/stuk.zip> на нашем сервере.

## Ответы на викторину

### "Микроконтроллеры и оптроны"

("Радио", 2020, № 2, с. 63, 64)

С. РЮМИК, г. Чернигов, Украина

**1** Ответ — 0. Оптрон K10101E, как и большинство других подобных приборов, имеет внутри один излучающий диод, испускающий ИК-излучение только при одной полярности поданного на него напряжения. Оптрон K30101A имеет аналогичные электрические параметры, но внутри него два излучающих диода, соединённых встречно-параллельно (рис. 1). В зависимости от полярности напряжения, поданного на выво-

ды 1 и 2 оптрона, излучение испускает один или другой. Следовательно, на

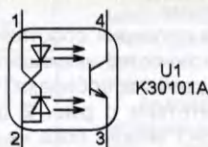


Рис. 1

вход оптрона K30101A можно подавать знакопеременное напряжение. Это его свойство используют, например, в

датчиках перехода мгновенного значения входного напряжения через ноль.

Тип корпуса и назначение выводов рассматриваемых оптронов одинаковы, поэтому замена K10101E на K30101A вполне допустима, хотя один из излучающих диодов последнего при этом будет "простаивать". Но в устройстве, где изначально установлен оптрон K30101A, заменять его на K10101E или другой однодиодный оптрон не следует. Функционирование этого устройства будет нарушено тем, что такой оптрон станет реагировать лишь на полупериоды управляющего напряжения одной полярности.

**2** Ответ — 1. Хотя первичная цепь оптрона электрически изолирована от вторичной, в нём всё-таки остаётся путь для проникновения помех. Это паразитная ёмкость между источником ИК-излучения и фотоприёмником. Она не превышает 1 пФ, однако не служит препятствием для нередко присутствующих в общем проводе и в цепях питания помеховых импульсов длительностью менее



1 мкс — так называемых наносекундных помех. Их основной источник — срабатывание мощных реле, контактов, выключателей.

В [1] рекомендовано подавлять наносекундные помехи резисторами сопротивлением от сотен ом до единиц килоом, включаемыми последовательно в цепи, по которым они распространяются. В рассматриваемом случае микроконтроллер защищён от помех резистором R2, а цепь питания — резистором R1.

**3. Ответ — 0.** Если одновременно включить несколько излучающих диодов, соединённых по приведённой в вопросе схеме, то ток, ограниченный резистором R1, распределится между включёнными диодами приблизительно в равных долях. В результате он может стать недостаточным для срабатывания всех или некоторых оптронов. Конечно, этого можно избежать, увеличив суммарный ток в  $n$  раз, где  $n$  — общее число излучающих диодов. Но это приведёт не только к излишнему расходу электроэнергии, но и к тому, что при включении только одного диода ток через него превысит допустимое значение и оптрон выйдет из строя. Поэтому такую схему, экономящую резисторы, применяют только в случае, когда оптроны включают строго по одному.

**4. Ответ — 0.** При использовании оптрона для передачи информации с большой (десятки килобод и более) скоростью вместо транзисторных и диодных оптронов лучше использовать оптронные микросхемы (серий K249, K293 или зарубежные серий 6N137 и HCPL), имеющие встроенные усилители фототока. Формирователь входного сигнала для излучающего диода U1.1 быстродействующего оптрона может состоять из токоограничивающего резистора R1 и диода VD1, соединённых как показано на схеме в вопросе.

Когда на выходе микроконтроллера установлен низкий логический уровень, напряжение на излучающем диоде U1.1 меньше порога его открытия и ток через него не течёт. При высоком уровне на выходе микроконтроллера излучающий диод открыт, но напряжение в точке его соединения с анодом диода VD1 и резистором R1 почти не изменится, а ток через резистор R1 останется прежним. Это способствует высокому быстродействию. Недостаток — повышенный расход тока, который потребляется от источника питания и при включённом и при выключенном излучающем диоде.

**5. Ответ — 0.** PRAB30S — это оптореле, выходная цепь которого замыкается и размыкается в зависимости от тока, текущего через излуча-

ющий диод. Эту цепь образуют полевые транзисторы, каналы сток—исток которых соединены встречно-последовательно (рис. 2). Её сопротивление измеряется мегаомами, когда ток через излучающий диод не течёт, и омами, когда ток течёт. Следовательно, это оптореле эквивалентно электромеханическому реле с нормально разомкнутыми контактами.

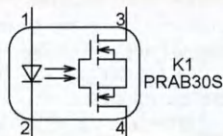


Рис. 2

В отличие от него, "контакты" оптореле PRAG71S нормально замкнуты. Поэтому при взаимной замене упомянутых реле для сохранения выполняемой функции необходимо проинвертировать управляющий сигнал, внося соответствующее изменение в программу его формирования.

Сопротивление резистора R1 должно быть таким, при котором через излучающий диод течёт ток не менее 3 мА, обеспечивающий уверенное срабатывание любого экземпляра упомянутого оптореле [2]. Указанное на схеме сопротивление 680 Ом удовлетворяет этому условию и уменьшать его нет смысла.

**6. Ответ — 1.** Рассматриваемый узел предназначен для противофазного управления двумя оптронами от одного выхода микроконтроллера. При низком логическом уровне напряжения на этом выходе работает излучающий диод U2.1. Ток в цепи U1.1VD1VD2 отсутствует, так как для его протекания через три соединённых последовательно диода требуется напряжение, значительно большее падения напряжения на одном диоде U2.1. При высоком логическом уровне на выходе напряжение на диоде U2.1 меняет полярность, закрывая его. Ток в этом случае течёт по цепи R1VD2VD1U1.1. Недостаток такого решения — входной ток оптрона U1 меньше входного тока оптрона U2.

**7. Ответ — 0.** Схемы подключения к микроконтроллерам излучающих диодов оптронов и обычных светодиодов очень похожи. Разница лишь в том, что падение напряжения на последних выше — 1,6...1,9 В против 1...1,3 В. В рассматриваемом узле излучающий диод U1.1 подключён анодом к источнику напряжения +5 В, значит, ток через него потечёт при низком логическом уровне напряжения на выходе микроконтроллера. Сопротивление добавочного резистора R1 рассчитывают по формуле

$$R1 = \frac{U_{пит} - U_d - U_L}{I_{пр}}$$

где  $U_{пит}$  — напряжение питания;  $U_d$  — прямое падение напряжения на излучающем диоде;  $U_L$  — напряжение логически низкого уровня на выходе микроконтроллера;  $I_{пр}$  — заданный прямой ток через излучающий диод. При  $U_{пит} = 5$  В,  $U_d = 1,1$  В,  $U_L = 0,2$  В и  $I_{пр} = 10$  мА расчётное значение сопротивления резистора R1 — 370 Ом. С учётом возможного разброса выбираем его с номинальным сопротивлением 330 Ом. Ток 10 мА вполне допустим для одиночных выходов общего назначения микроконтроллеров распространённых семейств AVR, PIC, STM.

**8. Ответ — 1.** Излучающие диоды U1.1, U2.1 соединены встречно-параллельно. Поэтому при высоком логическом уровне на линии 1 и низком логическом уровне на линии 2 ток течёт через излучающий диод U1.1, а диод U2.1 закрыт. Если проинвертировать эти уровни, ток потечёт через диод U2.1, а диод U1.1 закроется. При одинаковых (всё равно, низких или высоких) уровнях на обеих линиях ток не течёт через оба диода. Получается, что через два диода одновременно он течь не может.

**9. Ответ — 1.** Если напряжение питания излучающего диода оптрона изменяется, то вместе с ним изменяется и ток через него. Следовательно, меняется интенсивность ИК-облучения фотоприёмника оптрона, что может привести к нарушению его работы. Устранить это помогает стабилизация тока через излучающий диод узлом из резисторов R1 и R2, диодов VD1, VD2 и транзистора VT1.

При изменении напряжения питания от 3,3 В до 5 В падение напряжения на резисторе R2 остаётся практически неизменным и равным суммарному падению напряжения на диодах VD1 и VD2 (приблизительно 1,3 В) за вычетом падения напряжения на переходе база—эмиттер транзистора VT1 (около 0,6 В). Следовательно, через этот резистор, транзистор VT1 и излучающий диод течёт стабильный ток  $0,7$  В /  $47$  Ом  $\approx 0,015$  А.

Стабилизировать напряжение на излучающем диоде не имеет смысла, поскольку интенсивность его излучения зависит именно от тока, а он при неизменном напряжении, приложенном к диоду, сильно зависит от температуры его кристалла.

**10. Ответ — 0.** Ёмкость конденсатора C1 достаточно велика, чтобы накопленная в нём энергия могла повредить внутренние защитные диоды VD1 и VD2 на входе микроконтроллера. Они успешно ограничивают короткие всплески напряжения обратной полярности, но при длительном протекании через них сравнительно большого тока могут выйти из строя [3].



Если при полностью заряженном конденсаторе C1 произойдёт выключение напряжения питания 5 В, конденсатор станет разряжаться через резистор R2, диод VD1 и небольшое сопротивление цепи питания. Без этого резистора ток разрядки может превысить допустимое для диода значение. Ток через диод VD2 в рассматриваемой схеме течь не может, поскольку в цепи нет источника отрицательного напряжения.

**11. Ответ — 0.** Фототранзистор U1.2 и транзистор VT1 соединены по схеме составного транзистора, при этом их коэффициенты передачи тока  $h_{21\beta}$  перемножаются, в результате чего общий коэффициент передачи значительно возрастает. Если транзистор VT1 удалить, то фототранзистор U1.2 всё равно продолжит работать, поскольку резистор R2 соединяет его эмиттер с общим проводом, а резистор R1 — коллектор с цепью питания. При этом, естественно, несколько понизится чувствительность устройства, что можно иногда компенсировать увеличением тока через излучающий диод оптрона.

**12. Ответ — 1.** Практически в каждом микроконтроллере имеется один или несколько универсальных асинхронных последовательных приёмопередатчиков UART (Universal Asynchronous Series Receiver-Transceiver). Они предназначены для обмена информацией с внешними устройствами по интерфейсу RS-232. Однако этот интерфейс не предусматривает гальванической развязки между связываемыми устройствами. Но зачастую такая развязка становится необходимой для борьбы с помехами и для устранения влияния разности потенциалов между корпусами соединяемых устройств на работу интерфейса. Развязку реализуют, как правило, с помощью оптронов. Для этого фототранзистор U2.2 одного оптрона соединяют с входом RXD (Receiver Data — принимаемые данные) UART микроконтроллера, а излучающий диод U1.1 другого — с выходом TXD (Transmitter Data — передаваемые данные) того же UART. Вторые половины U1.2 и U2.1 этих оптронов должны быть соединены по такой же схеме с соответствующими выводами UART микроконтроллера внешнего устройства.

Следует иметь в виду, что на внешних разъёмах некоторых устройств (модемов, компьютерных мышей), предназначенных для соединения с компьютером или микроконтроллером по интерфейсу RS-232, назначенных контактов обратное: RXD — это выход, а TXD — вход. Будьте внимательны!

**13. Ответ — 1.** Фототранзистор U1.2, база которого никуда не подключена, представляет собой двухполюсник. Ток его коллектора всегда равен току эмиттера. Поэтому при перемене мест фототранзистора и резистора амплитуда выходного сигнала не изменится. Однако при облучении фототранзистора в первом случае напряжение на эмиттере увеличивается, а во втором — напряжение на коллекторе уменьшается (относительно общего провода). Следовательно, выходной сигнал будет проинвертирован.

**14. Ответ — 1.** Если оба фототранзистора U1.2 и U2.2 закрыты, напряжение на входе микроконтроллера имеет низкий логический уровень, поскольку резистор R1 соединяет вход с общим проводом. Если хотя бы один из них открыт, через резистор течёт ток и уровень напряжения на цифровом входе микроконтроллера становится логически высоким. Ситуация не изменится, если откроется и второй фототранзистор. Конечно, падение напряжения на резисторе увеличится, но его логический уровень по-прежнему будет высоким.

Задачу определения числа открытых фотодиодов можно решить, подав напряжение с нагрузочного резистора не на цифровой, а на аналоговый вход микроконтроллера (вход его АЦП или компаратора напряжения). Однако вероятность ошибочного определения будет довольно большой, поскольку параметры фототранзисторов и излучающих диодов оптронов имеют значительный разброс и к тому же сильно зависят от температуры.

**15. Ответ — 0.** Фототранзистор оптрона не имеет, как правило, внешнего вывода базы, но у некоторых из них он всё-таки есть. Это позволяет подбирать оптимальный режим работы фототранзистора, организовывать обратную связь и т. п. Если этот вывод никак не используется, его рекомендуют соединить с общим проводом через резистор. Иначе он может стать своеобразной "антенной" для помех. При достаточно большом сопротивлении этого резистора (рекомендуется 50...100 кОм) его наличие или отсутствие не влияет на коэффициент передачи тока оптроном.

**16. Ответ — 1.** Транзисторный ключ устанавливают между выходом микроконтроллера и излучающим диодом оптрона в следующих случаях:

— если необходима амплитуда тока излучающего диода, превышающая нагрузочную способность выхода микроконтроллера;

— для защиты выхода микроконтроллера в аварийной ситуации, например, при пробое изоляции между излучателем и фотоприёмником оптрона или при мощных помехах;

— если напряжение питания излучающего диода выше напряжения питания микроконтроллера.

Последняя ситуация и показана на схеме в вопросе. Внутри оптосимистора AQG12112 имеется резистор, соединённый последовательно с излучающим диодом. Поэтому управляющее напряжение, открывающее этот оптосимистор, согласно его справочным данным, должно лежать в пределах 9,6...14,4 В (номинальное 12 В). Если понизить напряжение питания цепи управления до 5 В, питающих микроконтроллер, управляющее напряжение выйдет из этого интервала. Оптосимистор AQG12112 перестанет открываться. Выход из этого положения — замена оптосимистора на AQG12105.

**17. Ответ — 1.** Зависимость сопротивления внутреннего фоторезистора от прямого тока через излучающий диод у резисторного оптрона NSL-32SR3 практически обратно пропорциональная. Для регулировки этого сопротивления нужно изменять ток через излучающий диод. Последнее возможно, если генерировать на выходе микроконтроллера импульсы с ШИМ, программно регулировать их коэффициент заполнения и выделять постоянную составляющую с помощью ФНЧ, частота среза которого значительно ниже частоты следования импульсов. В рассматриваемом случае частота среза ФНЧ R1C1R2 — около 12 Гц, и импульсы должны следовать со значительно большей частотой. Чем она выше, тем меньше пульсации тока через излучающий диод и сопротивление фоторезистора.

Однако все фоторезисторы очень инерционные. Например, у оптрона NSL-32SR3S время нарастания проводимости фоторезистора 5 мс, а время её спада 10 мс. Поэтому при достаточно высокой (например, выше 1000 Гц) частоте следования импульсов можно отказаться от ФНЧ, удалив конденсатор C1 и объединив резисторы R1 и R2.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кузнецов А. Помехоустойчивые устройства. — URL: [http://caxapa.ru/lib/emc\\_immunity.html](http://caxapa.ru/lib/emc_immunity.html) (24.12.2019).

2. Серия оптоэлектронных реле в корпусах SOP. — URL: <http://www.proton-orel.ru/files/products/optorele/plastik/optorele-v-sop-korpusah/optorele-v-sop-korpusah-104.pdf> (24.12.19).

3. Рюмик С. Максимальный входной ток для портов "Arduino". — Радиоаматор, 2013, № 9, с. 49—51.