

записи на карту, нажав кратковременно и одновременно на левую и правую кнопки мыши. После этого просмотр разработанного эффекта уже невозможен, и можно приступить к рисованию следующего или перейти в режим исполнения эффектов.

Не менее интересно управление светодиодами кубом, реализованном на модулях с микросхемами MAX7219 [4]. Схема варианта подключения этого куба показана на рис. 5. Использование аппаратного интерфейса SPI позволило существенно увеличить скорость переключения кадров различных эффектов. Подробно об этом интерфейсе можно узнать в [5]. Для управления светодиодами куба в работе скетча mouse_cubdrSPI_RI

использована библиотека LedControlSPI. Алгоритм действий при создании эффектов ничем не отличается от предыдущего варианта. В режиме исполнения отсутствуют регулировки яркости и цвета свечения светодиодов, остальные опции сохранены.

Несколько эффектов записано в файле DANMAS.TXT.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мамичев Д. Управляемый RGB-куб 5x5x5 на Arduino Uno. — Радио, 2018, № 5, с. 59—62.
2. Практическое программирование Arduino/CraftDuino, подключаем мышь PS/2. — URL: <http://robocraft.ru/blog/arduino/101.html> (15.05.19).

3. Подключение sd карты к ардуино — URL: <https://arduinomaster.ru/datchiki-arduino/podklyuchenie-sd-karty-k-arduino/> (15.05.19).

4. Мамичев Д. Светодиодный куб 6x6x6 на Arduino. — Радио, 2018, № 1, с. 61—64.

5. Последовательный интерфейс SPI (3-wire) — URL: <http://www.gaw.ru/html.cgi/txt/interface/spi> (15.05.19).

От редакции. Скетчи для Arduino Uno и видеоролики, иллюстрирующие работу устройства, находятся по адресу <http://ftp.radio.ru/pub/2019/09/progcub5.zip> (для куба 5x5x5) или <http://ftp.radio.ru/pub/2019/09/progcub6.zip> (для куба 6x6x6) на нашем сервере.

Ответы на викторину "Микроконтроллеры и USB"

("Радио", 2019, № 8, с. 63, 64)

С. РЮМИК, г. Чернигов, Украина

1. Ответ — 1. Витая пара проводов была изобретена в 1881 г. А. Беллом. Применительно к USB витую пару используют для передачи дифференциальных сигналов D+ и D-. Свитые в пару провода менее чувствительны к внешним электромагнитным наводкам, поскольку наводимые ими токи имеют в проводах пары равные амплитуды и одинаковые фазы, а токи полезных сигналов противофазны. Поэтому разность потенциалов между свитыми проводами D+ и D- под действием наводок не изменяется, дифференциальный приёмник успешно её выделяет.

Согласно спецификации USB-2.0 [1], свивать провода обязательно при работе в скоростных режимах FS и HS, а для режима LS это лишь рекомендовано. Практический вывод — при работе микроконтроллера с низкоскоростными устройствами (клавиатурой, мышью, игровым манипулятором) можно обойтись плоским ленточным кабелем или одиночными проводами, не используя покупной USB-кабель и разъёмы. В любом случае чем короче провода, тем лучше.

2. Ответ — 1. Как известно, ведомое устройство оповещает ведущее о том, что способно работать в режиме FS, соединив контакт 3 (D+) своего разъёма USB с источником напряжения 3,0...3,6 В через резистор сопротивлением $1,5 \text{ кОм} \pm 5\%$ [1]. В рассматриваемой схеме — это резистор R3, а напряжение 3,3 В микроконтроллер формирует, устанавливая высокий логический уровень на одном из своих цифровых выходов.

3. Ответ — 1. Чтобы подключить к одному ведущему несколько ве-

домых USB-устройств, используют специальные устройства — разветвители (хабы). Они транслируют передаваемые по шине информационные пакеты в нужных направлениях. Если просто соединить разъёмы ведомых параллельно, правильный обмен информацией будет нарушен. Учтите, к любому разъёму хаба, предназначенному для присоединения ведомого, можно подключить ещё один хаб и соединить таким образом с одним ведущим до 127 ведомых устройств. Следует иметь в виду, что если хабы не имеют собственных источников питания, то все они и подключённые к ним ведомые питаются от выхода V_{bus} ведущего, а максимальный ток нагрузки этого выхода, согласно спецификации [1], — 0,5 А.

4. Ответ — 1. Если напряжение питания микроконтроллера поступает не от шины USB, а от источника питания устройства, в котором он установлен, то контакт 1 (V_{bus}) разъёма USB остаётся свободным. В этом случае напряжение на нём может служить признаком электрического соединения микроконтроллера с компьютером. Если компьютер присоединён к разъёму USB устройства кабелем и работает, то напряжение на правом по схеме выводе резистора R2 имеет высокий логический уровень, в противном случае — низкий. Конденсатор C1 подавляет помехи, которые могут наводиться на кабель. Учтите, что этот признак не показывает, запущена ли на ведущем устройстве (компьютере) программа, обменивающаяся информацией с ведомым.

5. Ответ — 0. Керамические конденсаторы малой ёмкости под-

ключают к входам D+ и D- микроконтроллера при высокой скорости передачи информации, когда начинают проявляться искажения формы импульсов. Конденсаторы сглаживают "звон" на их перепадах, вызванный неоднородностями и плохим согласованием линии передачи. Совместно с резисторами R1 и R2 конденсаторы образуют ФНЧ. Кроме того, они сглаживают броски напряжения. Ёмкость этих конденсаторов не должна превышать 50 пФ, а располагать их нужно рядом с выводами микроконтроллера.

6. Ответ — 1. USB-разъёмы имеют специальные контакты, соединённые с их металлическими корпусами. К такому контакту кабельной части разъёма должна быть присоединена металлическая оплётка — экран кабеля. Этот экран не должен иметь непосредственного соединения с цепью GND. Их соединяют только через RC-цепь, показанную на схеме.

Резистор R1 выравнивает статические потенциалы общего провода и экрана, а конденсатор C1 соединяет их по переменному току. Начальная разность потенциалов между корпусами соединяемых устройств может быть довольно значительной. Поэтому номинальное напряжение конденсатора выбирают как можно большим.

7. Ответ — 0. Наличие на линиях D+ и D- USB-устройства резисторов R1 и R2 номиналом 15 кОм означает, что оно (в рассматриваемом случае микроконтроллер) — ведущее. Компьютер тоже, как правило, является ведущим, поэтому соединять с ним ещё одно ведущее устройство нельзя. А подключать к этому устройству USB-флэш-накопитель, мышь, клавиатуру или принтер можно. Они — ведомые.

8. Ответ — 0. В цепь V_{bus} от ведущего поступает напряжение 5 В, а для питания низковольтных микроконтроллеров требуется 3,3 В. Погасить избыток можно светодиодом HL1, на котором упадёт 1,7...1,8 В напряжения.

Заодно он будет светиться, сигнализируя о наличии питания. Однако средний ток, потребляемый микроконтроллером и другими узлами от цепи +3,3 В, не должен превышать допустимого для светодиода. В рассматриваемом случае — 20 мА. Конденсатор C1 поглощает скачки потребляемого тока, сглаживая этим поступающее в цепь +3,3 В напряжение.

9. Ответ — 1. Микроконтроллер ATmega168 не имеет встроенного аппаратного адаптера USB, поэтому применяют его программную реализацию, например, на основе библиотеки функций V-USB [2]. Поскольку микроконтроллер питается от линии V_{bus} напряжением 5 В, то сигналы, поступающие с его цифровых портов в линии D+ и D-, имеют амплитуду, превышающую допустимый по спецификации [1] максимум 3,6 В. Для уменьшения их амплитуды применены стабилитроны VD1 и VD2 с ограничивающими ток резисторами R1 и R2. Поскольку для низковольтных стабилитронов характерен значительный разброс напряжения стабилизации, может потребоваться их подборка, вплоть до замены на BZX79C3V6. То, что стабилитроны вносят дополнительную ёмкость между интерфейсной линией и общим проводом, не столь существенно, поскольку библиотека V-USB реализует лишь низкоскоростной режим LS, в котором допустима ёмкостная нагрузка на интерфейсные линии до 450 пФ [1].

10. Ответ — 1. Если микроконтроллер работает в режиме ведущего, то по линии V_{bus} ток должен течь в ведомое устройство. Простое соединение источника напряжения +5 В с этой линией не годится, поскольку замыкание в ведомом устройстве или соединительном кабеле приведёт к аварии. Кроме того, необходимо соблюдать требования спецификации USB в части ограничения тока нагрузки линии V_{bus} до 500 мА (в режиме зарядки батареи питания через разъём USB может быть и больше). Микросхема DA1 SY6280AAC [3] — управляемый ограничитель тока. Порог его ограничения I_{lim} задают в пределах 400...2000 мА резистором R1, сопротивление которого в килоомах определяют по формуле

$$R1 = \frac{6800}{I_{lim}}$$

В рассматриваемом случае резистором R1 сопротивлением 13,7 кОм установлен порог около 500 мА. Ключ микросхемы DA1 замыкают, подавая на её вывод 4 напряжение высокого логического уровня, и размыкают, подавая на него напряжение низкого уровня.

11. Ответ — 0. Если в микроконтроллере связь по шине USB как с ведущим устройством (компьютером), так и

с ведомым (например, флэш-накопителем), то режим работы адаптера USB микроконтроллера необходимо переключать. Для этого в нём предусмотрен вход ID (идентификация), выведенный на контакт 4 пятиконтактного USB-разъёма. Если на этот контакт подать напряжение высокого логического уровня, то его надо соединить с контактом 1 (V_{bus}) или оставить свободным, адаптер USB микроконтроллера будет ведомым. Если же подать на контакт 4 напряжение низкого логического уровня или соединить его с контактом 5 (GND), адаптер станет ведущим.

В специальных USB OTG-кабелях, предназначенных для подключения периферийных устройств, в разъёме, присоединяемом к планшету или смартфону, контакты 4 и 5 соединены перемычкой (иногда резистором). Разъём на другом конце такого кабеля — четырёхконтактная розетка типа A, контакт 4 которой — цепь GND. Заметим, что присоединённый таким кабелем флэш-накопитель (или другое периферийное устройство) будет питаться от аккумулятора смартфона, быстро разряжая его. Более сложные переходники позволяют питать периферийное устройство от другого источника, а также заряжать аккумулятор смартфона.

12. Ответ — 1. Супрессоры VD1 и VD2 защищают микроконтроллер от повреждения высокими электростатическими потенциалами и высоковольтными импульсами помех. Важный параметр супрессора — его собственная ёмкость. Чем она меньше, тем меньше будут завалены перепады информационных импульсов. В рассматриваемом случае информационные цепи D+ и D- защищены двояким супрессором VD2 (RCLAMP0502B), ёмкость составляющих которого 0,5...1,5 пФ, а цепь питания V_{bus} защищена супрессором VD1 (RSA5M) ёмкостью 300...400 пФ. Если супрессор RCLAMP0502B заменить двумя RSA5M, то допустимый предел ёмкостной нагрузки линий D+ и D- в режиме FS (75 пФ) будет превышен. Следовательно, такая замена недопустима.

13. Ответ — 1. Резистор в ведомом устройстве, соединяющий линию D- с источником напряжения +3,3 В, информирует ведущего, что ведомый может работать только в режиме LS. На первый взгляд, кажется, что сопротивление резистора R1 в рассматриваемом случае нужно уменьшить до стандартных 1,5 кОм. Однако микроконтроллеры семейства EFM32LG [4] имеют встроенный программно отключаемый резистор между выводами D- и USB_DMPU. Но его сопротивление завышено (2,2 кОм). Резистор R1 указанного на схеме номинала подключён параллельно внутреннему и уменьшает

их общее сопротивление до 1,5 кОм.

14. Ответ — 0. Согласно [3], цепь питания V_{bus} с целью снижения помех должна быть зашунтирована конденсатором ёмкостью от 1 до 10 мкФ. Энергия импульса зарядного тока конденсатора, возникающая в момент подачи в эту цепь напряжения 5 В, пропорциональна его ёмкости. Этот импульс может вызвать кратковременную "просадку" напряжения, что может повлечь за собой сбой и даже повреждение как ведущего, так и ведомого устройства.

Самовосстанавливающийся предохранитель FU1 с током срабатывания 0,5 А защищает цепь питания не от кратковременного импульса тока зарядки конденсатора, а от более длительных (более нескольких секунд) перегрузок.

15. Ответ — 0. Если к разъёму XS1 не подключён кабель или в разъёме этого кабеля нет перемычки между контактами 4 и 5, то на вход ID адаптера USB микроконтроллера через резистор R1 поступает напряжение высокого логического уровня. Адаптер работает в режиме ведомого. Если же к разъёму XS1 подключён так называемый OTG-кабель с перемычкой между контактами 4 и 5 своего разъёма, то уровень на входе ID благодаря малому падению напряжения на диоде с барьером Шоттки VD1 становится низким. Теперь адаптер USB микроконтроллера — ведущий.

Строго говоря, этот диод не обязателен, всё будет работать и без него. Но он спасёт микроконтроллер от повреждения при случайном появлении на контакте разъёма XS1 напряжения более 3,3 В.

Прим. ред. В некоторых кабелях OTG контакты 4 и 5 соединены не перемычкой, а резистором сопротивлением 100 кОм и более. С такими кабелями рассмотренный узел работать не будет. Адаптер USB микроконтроллера останется ведомым.

16. Ответ — 1. Микроконтроллеры PIC18F2455 имеют встроенный адаптер USB и могут работать в режимах LS и FS без внешних резисторов, соединяющих интерфейсные линии с цепью питания. Нужные резисторы сопротивлением 1,5 кОм имеются внутри микроконтроллера, их включают или выключают программно. Но допускается устанавливать и внешний резистор (в рассматриваемом случае R3), отключив внутренний.

ЛИТЕРАТУРА

1. Universal Serial Bus Specification. Revision 2.0. — URL: http://sdpha2.ucsd.edu/Lab-Equip_Manuals/usb_20.pdf (20.05.2019).
2. V-USB / Objective Development, 2019. — URL: <https://www.obdev.at/products/vusb/> (20.05.2019).
3. Application Note: SY6280/SY6280A. — URL: https://img.ozdisan.com/ETicaret_Dosya/470612_2154920.PDF (20.05.19).
4. AN0046 Application Note. — URL: <https://www.silabs.com/documents/public/application-notes/AN0046.pdf> (20.05.19).