

Ответы на викторину

"Arduino: программная часть-3"

("Радио", 2021, № 3, с. 63, 64)

С. РЮМИК, г. Чернигов, Украина

1 Ответ — 1. Сервопривод SG90 во время работы при напряжении 5 В потребляет ток около 180 мА. Если на вал надет якорь (самоделушки называют его качалкой), под нагрузкой ток возрастает до 300 мА, а при заклинивании — до 600...700 мА. Такие броски тока могут значительно просаживать питание устройств, подключённых параллельно цепям питания сервопривода. Например, в микроконтроллере платы Arduino может сработать узел защиты BOD (Brown-Out Detection), что приведёт к принудительному перезапуску программы.

Чтобы не было сбоев в работе электроники, питание сервопривода и Arduino стараются разделять, а если питание совместное, то применять мощный стабилизатор. В простейшем случае берут разные батареи, например, от "Кроны", напряжение 9 В поступает на Arduino, а четыре элемента типоразмера АА по 1,5 В обеспечивают напряжением 6 В сервопривод.

2 Ответ — 0. Назначение скетча — удержание качалки сервопривода в неподвижном состоянии на время, необходимое для индикации одной буквы алфавитного тренажёра. Известно, что у любого аналогового сервопривода есть три провода: VCC — плюс питания, GND — общий, PWM — вход импульсов управления. Поворот качалки обеспечивается разной шириной управляющих импульсов при постоянной частоте повторения 50 Гц (рис. 1). Метод является разновидностью ШИМ и носит название PDM (Pulse-Density Modulation). Период 20 мс заимствован из стандарта для аналоговых радиоуправляемых моделей PPM (Pulse Position Modulation). В нём используются импульсы управления: 1 мс (влево), 1,5 мс (середина), 2 мс (вправо). В современных сервоприводах интервал длительностей расширен, поэтому в программах Arduino импульсы могут быть 544...2400 мкс.

В рассматриваемом скетче генерация управляющих импульсов PWM производится "вручную" с помощью интервалов времени `delayMicroseconds()` при установке лог. 0 и лог. 1 на цифровом выходе 7 Arduino. Суммарное время задержки в строках 8 и 10 будет одинаковым — 10000 мкс (10 мс = 0,01 с) вне зависимости от содержимого массива данных `tabl[x][y]`. Время выполнения оператора в строке 9 меньше микросекунды, им можно пренебречь.

3 Ответ — 1. Назначение скетча — плавное изменение угла поворота качалки вызовом процедуры `SerPovorot()`. В программе используется библиотека функций `Servo.h` (строка 2) с указателем на сервопривод, который подключается к линии 7 Arduino (строки 3, 5, 7). Изменение угла поворота производится функцией

ей `servo1.write(a)`, где переменная `a` определяет угол в градусах. В строке 13 эта переменная уменьшается с 128 до 28, обеспечивая плавность движения.

Замена сервопривода SG90 серводвигателем постоянного вращения SG90-HV [1] приведёт к неработоспособности устройства. Дело в том, что в SG90 качалка поворачивается на 180 градусов, а в SG90-HV — на 360 градусов. Импульсы управления нужны в обоих случаях, но в SG90 функция `servo1.write()` задаёт угол поворота, а в SG90-HV — скорость и направление вращения вала.

На заметку. В настоящее время название SG90 стало нарицательным для обозначения множества однотипных микросервоприводов массой около 9 г. Исходная разработка тайваньской фирмы Tower Pro была быстро растиражирована в Китае под разными брендами: SG90R, HWAYEH SG90, NHYTECH SG90, Feetech FC90R, K-Power Sg90, AS-SG90, Racerstar SG90. В каждом конкретном случае надо внимательно изучать документацию, чтобы вместо аналогового SG90 не приобрести цифровой SG90 или SG90 с непрерывным вращением. А на будущее имеет смысл присмотреться к другим, более выносливым моделям, например TGY-9025MG [2].

4 Ответ — 1. Назначение скетча — выбор очередной точки для рисования изображения фломастером, управляемым через сервопривод. Образ рисуемой картинке полик-

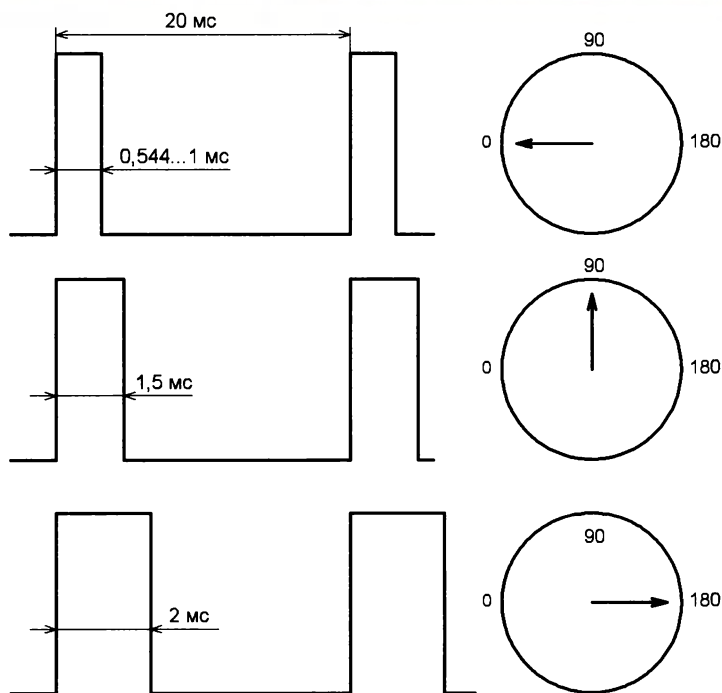


Рис. 1

сельно размещается в таблице **tabIB[38]**. Каждая из 38 строк таблицы содержит 64 бита, итого 304 байта. Можно ли увеличить размер изображения, добавив новые строки в массив? Теоретически можно, но надо знать меру, которая определяется объёмом памяти микроконтроллера. В рассматриваемом устройстве применяется плата Arduino UNO с микроконтроллером ATmega328 и объёмом памяти ОЗУ 2048 байт. Массив **tabIB[255]**, упоминаемый в вопросе, занимает место 2040 байт. Казалось бы, этого достаточно для работы, но в исходном скетче **pikseliA.ino** есть ещё переменные, занимающие место в памяти. Как следствие, попытка провести сборку полного авторского проекта с 255 строками массива **tabIB[]** приводит к ошибке компиляции.

5. Ответ — 0. История применения сервоприводов в любительских конструкциях берёт начало с дистанционно управляемых моделей (авиа, авто и т. д.), объединённых термином RC (Radio Controlled). Считается, что для изменения углов наклона элеронов, рулей высоты, колёс автомоделей интервала ± 90 градусов больше, чем достаточно. Соответственно, подавляющее большинство сервоприводов, к которым относится и SG90 (рис. 2), имеют стандартные углы $0...180$ градусов (класс Servo-180), без возможности их программной модификации.

Существуют также сервоприводы класса Servo-270. Их меньше по номенклатуре, и, как следует из названия, они обеспечивают углы поворота $0...270$ градусов. Пример — сервопривод DM-S0090D-300, который по массе, габаритным размерам и техническим параметрам очень похож на SG90. Именно его можно рекомендовать в качестве правильного ответа на вопрос.

6. Ответ — 1. Назначение скетча — обеспечить поворот качалки сервопривода A2 в такт с вращением движка переменного резистора R1. Напряжение со среднего вывода резистора R1 поступает в канал АЦП Arduino и оцифровывается в строке 11 скетча. Напряжению 0 В соответствует число 0, напряжению 5 В — число 1023. В строке 12 оператором **map** интервал $0...1023$ пропорционально сужается до $-20...+20$. Уравнение преобразования: $40X+1023Y=20460$ (рис. 3).

По условиям задания с АЦП Arduino выдаётся число 400, это по оси X. Координата по оси Y составляет 4,359 (точка A на рис. 2). Оператор **map** округляет результат до большего целого, следовательно, переменная **da3=5**. Если учесть начальный угол поворота в переменной **a03=105**

(строка 4), то сервопривод A2 повернётся в сумме на $105+5=110$ градусов (строка 13).

7. Ответ — 0. Назначение скетча — исследование функции **f_(byte k)** для подъёма и опускания "пера", которое механически связано с сервоприводом A2. Время подъёма и опускания зависит от начального и конечного углов поворота качалки, а также от паузы времени между приращениями углов. Анализ скетча показывает, что качалка сервопривода движется между углами 85 и 110 градусов. Нижнее значение непосредственно указано в строках 8 и 10 скетча, верхнее — в переменной **a03**. Разность углов — 25 градусов.

Интервал времени при каждой итерации угла поворота определяется функцией **delay(n)** 15 мс в строках 9 и 12. Но к этому надо ещё добавить задержку, связанную с инерционностью сервопривода. В справочных данных [3] приводится время поворота качалки на угол 60 градусов за $0,12 \pm 0,01$ с при питании 4,8 В, что в пересчёте составляет 2 мс на градус. Суммарное время задержки — $15+2=17$ мс, сле-



Рис. 2

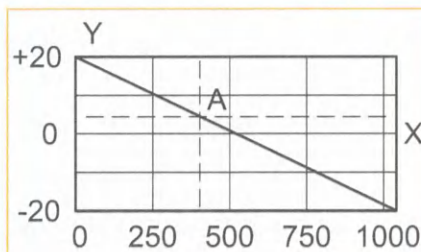


Рис. 3

довательно, переход в 25 градусов будет длиться 425 мс.

Важный момент. Параметр быстродействия указывается без нагрузки на валу. Кроме того, в реальном экзем-

пляре сервопривода задержка может отличаться от паспортной, поэтому в ответе на вопрос фигурирует слово "примерно". Главное — в расчётах не ошибиться в порядке результата, ведь 425 мс и 125 мс — большое различие.

8. Ответ — 1. Назначение скетча — выполнить перемещение качалки сервопривода в секторе $20...140$ градусов, в зависимости от напряжения, снимаемого со среднего вывода резистора R1. Величина угла поворота хранится в переменной **pos** (строка 10). Если строку 11 изменить, как предлагается в вопросе, нижнему по схеме положению движка резистора R1 будет соответствовать угол 0, а верхнему — 180 градусов. Это полный размах для сервопривода SG90 согласно его документации.

Однако SG90 является аналоговым аппаратом с обратными связями, в котором электрическая и механическая части могут в сумме давать погрешность до $5...10\%$. Следовательно, работа вблизи 0 и 180 градусов может сопровождаться неприятными явлениями, характерными для заклинивания вала, — дребезгом, жужжанием или подёргиванием качалки. Таких примеров много на практике, особенно у начинающих. Долго находиться в таком положении сервоприводу нежелательно, механические элементы быстро исчерпают свой ресурс.

Опытные самодельщики рекомендуют проводить для каждого экземпляра сервопривода тестирование на предмет запаса по интервалу углов, для чего надо использовать скетч Knob.ino из каталога примеров библиотеки Servo среды Arduino IDE 1.8.13. В своих разработках желательно применять операторы **map** `pos=map(analogRead(A2), 0, 1023, 5, 175);` или **myservo.attach(7, 600, 2100);, ограничивая длительности управляющих импульсов.**

9. Ответ — 1. Как известно, в плате Arduino UNO имеются 14 цифровых и 6 аналоговых линий портов. Последние могут использоваться как обычные цифровые выходы GPIO, следовательно, общее число доступных выходов составляет 20 (линия PC6, совмещённая с контактом сброса RESET, не в счёт). К каждому цифровому выходу можно подключить один сервопривод, итого их тоже будет 20. Управляющие импульсы при этом необходимо формировать "вручную", через задержки времени, аналогично скетчу в вопросе 2, поскольку использование библиотеки функций **Servo.h** сразу уменьшает число доступных сервоприводов до 12.

10. Ответ — 0. Назначение скетча — начальный запуск двух сервоприводов A2 и A3. Здесь за-

дача от обратного — по имеющейся в скетче информации надо определить, какой сервопривод назначается как **myservoRT**, а какой как **myservoGL**. Для начала надо проанализировать строки 5, 9, 10, из которых следует, что сервопривод **myservoGL** повернётся на 90, а **myservoRT** — на 60 градусов. Вывод — искомым для ответа на вопрос является первый из них. Теперь внимание на строку 8, где указано, что сервопривод **myservoGL** соединяется с линией 6 Arduino. На электрической схеме из вопроса 9 видно, что к линии 6 подключается сервопривод A2.

11. Ответ — 1. Назначение сервоприводов A2 и A3 через 2 мин после начала работы. Время работы задаётся числом миллисекунд 120000 в строке 8, при этом учитывается, что переменная **Y3=0** (строка 5). По условиям вопроса **Y3=12000**, значит, количество миллисекунд, после которого условие в операторе **if** в строке 8 станет истинным, увеличится до 132000. Перевод миллисекунд в минуты даст искомым результат — 2,2.

12. Ответ — 0. Назначение скетча — начальная инициализация сервоприводов A2, A3 для дальнейшей работы. Как известно, в скетчах Arduino есть две стандартные функции: **setup()** — выполняется однократно, служит для начальных установок; **loop()** — выполняется в беско-

нечном цикле, служит для размещения "тела" программы. В рассматриваемом примере внутри функции **loop()** пусто, т. е. программа сначала выполняет операторы, находящиеся в функции **setup()**, а затем закидывается в функции **loop()** до нажатия на кнопку сброса или выключения питания.

Существует правило, согласно которому функции **setup()** и **loop()** являются обязательными для скетчей Arduino. Если одну из них удалить, переименовать или закомментировать, то компилятор выдаст ошибку **undefined reference to**.

13. Ответ — 0. На рис. 4 приведена типовая структурная схема сервопривода, аналогичного SG90. Транзисторы VT1—VT4 образуют так называемый H-мост. Через него по сигналам от контроллера DD1 на двигатель постоянного тока M1 подаётся питание положительной или отрицательной полярности. Следовательно, вал двигателя крутится по или против часовой стрелки. В системе имеется датчик положения, выполненный на переменном резисторе R1, который физически связан с валом двигателя. Через него организуется обратная связь, позволяющая контроллеру формировать сигналы, перемещающие вал, а значит, и резистор, на строго определённый угол.

Избежать аварии можно, если первое включение сервопривода производить через диод Шоттки, аналогичный 1N5817, включённый анодом к плюсу источника питания. Вторая рекомендация — научиться правильно идентифицировать цветовую окраску проводов, выходящих из сервопривода, согласно таблице. Мнемоничес-

кая команды на установку скоростей производится в строках 10, 12, но конкретные числа задаются в строке 5. Именно здесь можно точно выставить состояние покоя устройства.

15. Ответ — 0. Назначение скетча — организация поворота гусениц танка по удалённой команде "3" (строка 10). Строки 11, 12 задают направление и скорость вращения соответственно правой и левой гусениц танка. Состояние покоя танка определяется специально подобранными "серединными" байтами **PR=65** и **LE=79**. В строках 11, 12 происходит их уменьшение **PR-dPR** и увеличение **LE+dLE**, в результате чего левая гусеница движется вперёд, а правая — назад. Танк поворачивает вправо, вплоть до отмены команды "3".

16. Ответ — 1. В самодвижущемся механизме, который управляется скетчем **TELEGKA_bb.ino**, применяются два мотора. Один из них — сервопривод SG90 с углом поворота 0...180 градусов, другой — переделанный сервопривод SG90 с непрерывным вращением вала, условно называемый "двигатель". По отрывку скетча, в котором отсутствуют авторские комментарии, можно лишь высказать, что моторы подключаются к выводам 7 и 8 Arduino. Однако со 100-процентной уверенностью определить, какой из объектов сервопривод, а какой двигатель, не представляется возможным, поскольку используется одна и та же библиотека

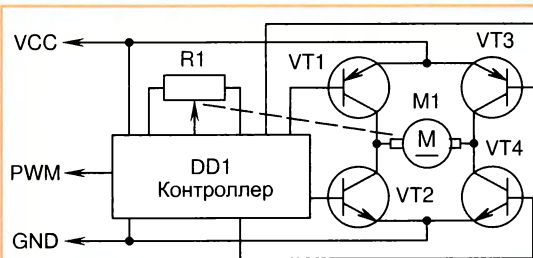


Рис. 4

Существует правило, согласно которому функции **setup()** и **loop()** являются обязательными для скетчей Arduino. Если одну из них удалить, переименовать или закомментировать, то компилятор выдаст ошибку **undefined reference to**.

13. Ответ — 0. На рис. 4 приведена типовая структурная

Изготовитель сервопривода	Цвет провода VCC	Цвет провода PWM	Цвет провода GND
Futaba, Cirrus	Красный	Белый	Чёрный
JR	Красный	Оранжевый	Коричневый
Hitec	Красный	Жёлтый	Чёрный
Airtronic-Z	Красный	Синий	Чёрный

кие правила для запоминания: общий провод GND — самый тёмный,

провод управления PWM — самый светлый; провод питания VCC ассоциируется с Международной организацией "Красный Крест": "красный" — цвет провода, "крест" — плюс питания.

14. Ответ — 0. Назначение скетча — начальная инициализация двух двигателей A2, A3, которые представляют собой доработанные версии сервоприводов SG90. Доработка заключается в устранении ограничений и упоров [5], после чего вал крутится непрерывно, но его скорость и направление движения зависят от длительности управляющих импульсов. В рассматриваемом скетче выда-

функций **Servo.h**, а начальные установки в строке 5 могут быть разными.

ЛИТЕРАТУРА

1. Micro Servo 5-10g. — URL: <http://www.towerpro.com.tw/product-category/servos-parts/micro-servo/> (09.01.21).
2. SG90 vs MG90S vs TGY-9025MG. — URL: https://www.youtube.com/watch?v=yk9gb_Oirfo (09.01.21).
3. NHYTECH SG90 9g 4.8-6V. — URL: <https://www.newegg.com/p/1SW-0121-00SR1> (09.01.21).
4. YT2462B. — URL: <https://data.sheetspdf.com/pdf-file/XianSwip/YT2462B.pdf> (09.01.21).
5. Мамичев Д. Тележка с дистанционным управлением на одном ведущем колесе. — Радио, 2019, № 7, с. 62—64.