

Рис. 4

пользовать курсор, проходя им повторно по нарисованному в режиме "НЕ РИСУЕТ" и "ПИКСЕЛЬ". Для стирания большого числа пикселей курсор используется аналогично, но вместо режима "ПИКСЕЛЬ" выбирают режим "ПОЛОСА". Для быстрого получения навыка рисования удобно потренироваться на отдельных скетчах-режимах (сначала удобнее пользоваться только

ру значения переменной t в интервале от 10 до 100, для адекватной реакции клавиш на темп работы оператора.

Примеры выполненных рисунков представлены на рис. 5. Приобретая навыки и ознакомившись с рекомендуемой литературой, можно модернизировать "рисовалку", предусмотрев смену палитры рисования, фигур-шаблонов, возможность сохранения рисунков.



Рис. 5

зелёным и красным цветами). В них клавиша SB5 не активна. На сайте журнала выложены три подварианта скетча. Настройка работы скетча сводится к подбо-

ЛИТЕРАТУРА

1. Arduino Uno output to VGA monitor. — URL: <http://www.gammon.com.au/forum/?id=11608> (16.06.22).
2. VGAX Library for Arduino UNO and MEGA. — URL: <https://github.com/smaffer/vgax> (16.06.22).
3. Arduino VGA Console With Five Games. — URL: <https://www.instructables.com/VGA-Tetris-With-Arduino-Uno/> (16.06.22).

От редакции. На нашем FTP-сервере по адресу <http://ftp.radio.ru/pub/2022/08/ris.zip> находятся файлы проекта.

Ответы на викторину "Arduino: программная часть-11"

("Радио", 2022, № 7, с. 63, 64)

Р. СЕРГЕЕНКО, г. Гомель, Беларусь

1 Ответ — 1. К плате Arduino подключается модуль аналогового датчика тока A1, который содержит микросхему ACS712ELCTR-05B. На выходе S модуля формируется напряжение 1,5...3,5 В, прямо пропорциональное току ± 5 А, через выводы IPP, IPM.

Принцип работы микросхем серии ACS712 описан в [1], там же приведена формула для выходного напряжения: $V_s = 2,47 \text{ В} + I_x \cdot K$, где 2,47 В — это напряжение при нулевом токе; I_x — ток через выводы IPP и IPM; $K = 185 \text{ мВ/А}$ — коэффициент пропорциональности. Однако в официальной

документации [2] указано, что при нулевом токе выходное напряжение составляет половину напряжения питания VCC.

Другими словами, формула, указанная в [1], является частным случаем при питании устройства от источника напряжением $VCC = 2,47 \cdot 2 = 4,94 \text{ В}$, а формула $V_s = VCC/2 + I_x \cdot K$ — это универсальный вариант для всего интервала питающих напряжений 4,5...5,5 В. Именно последнюю формулу и следует использовать в схеме с Arduino, где напряжение в цепи 5В может изменяться в широких пределах, особенно при питании от компьютера.

2 Ответ — 1. Назначение скетча — измерить амплитуду тока, протекающего через выводы IPP, IPM датчика A1. В строках 7—9 на печать выводится постоянная составляющая, а в строках 10—12 — переменная.

Зависимость измеряемого тока I_x от напряжения V_s на выходе S модуля A1 показана на **рис. 1** [2]. Напряжение V_s поступает на вход A0 Arduino, после чего оно переводится в цифровой код десятиразрядным АЦП. Единица младшего разряда кода в пересчёте на амперы рассчитывается по формуле

$$I_{x0}[A] = V_{CC}[mB] / 1024 / 185[mB/A] = 5000 / 1024 / 185 = 0,0264 A.$$

Вывод. Устройство, собранное по этой схеме, не может измерять токи с шагом меньше 26,4 мА. Следовательно, десятки миллиампер в операторе **Serial.print** в строке 8 не являются достоверными несмотря на усреднение. Реальный результат измерения — сотни миллиампер с округлением до ближайшего целого числа единиц. Чтобы повысить точность, надо переходить на платы Arduino с 12-разрядным АЦП.

3. Ответ — 1. Назначение скетча — провести калибровку датчика A1 при нулевом измеряемом токе. В строках 7—10 напряжение V_s измеряется 500 раз через канал АЦП. Далее результат усредняется для фильтрации шумов и сравнивается с центром характеристики (строка 12). Центром служат не вольты, как на рис. 1, а безразмерное число 512, равное половине отсчётов десятиразрядного АЦП. Это число всегда будет эквивалентно половине напряжения питания V_{CC} , ведь цепи **V** модуля и **5V** Arduino соединены вместе.

Отклонение отсчётов от 512 единиц при нулевом токе возможно по разным причинам, например, из-за погрешности юстировки датчика тока на заводе, из-за температурного дрейфа и даже из-за влияния внешних магнитных полей. Последнее связано с использованием в микросхеме ACS712 датчика Холла, когда даже намагнитченная отвёртка сбивает его показания на расстоянии 10...15 см от корпуса.

Отклонение отсчётов непредсказуемое. Оно может быть как в плюс, так и в минус от середины, что и является ответом на вопрос.

4. Ответ — 1. К плате Arduino подключается модуль реле A2, в котором сделана доработка — добавлена цепь R1C1. При подаче с выхода D2 Arduino лог. 1 транзистор в модуле A2 открывается, на реле поступает напряжение, контакты COM и NO замыкаются, а COM и NC размыкаются.

Конденсатор C1 в начальный момент времени представляет собой

короткозамкнутую перемычку, поэтому включение реле происходит при номинальном напряжении 12 В. После того как конденсатор C1 зарядится, ток через реле снижается из-за резистора R1, что уменьшает потребляемую мощность.

Предел работоспособности реле определяется параметром $V_{drop-out}$ (**рис. 2**), который обычно составляет

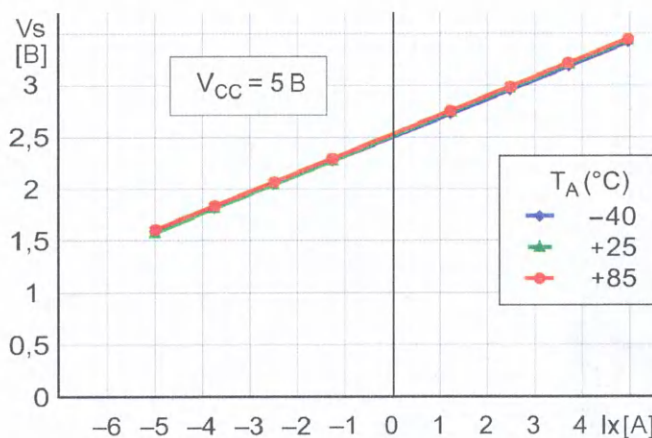


Рис. 1

10 % от номинального напряжения. Например, для реле HONGFA JQC-3FF/012-1Z напряжение включения $V_{pick-up} = 9$ В, номинальное напряжение



Рис. 2

$V_{nom} = 12$ В, максимально допустимое напряжение $V_{max} = 15,6$ В, напряжение отключения $V_{drop-out} = 1,2$ В.

В рассматриваемой схеме включение реле происходит штатно при напряжении 12 В, а выключение — нештатно при низком напряжении 4 В (точка "A" на рис. 2). Время выключения реле отличается от нормы, что надо учитывать, если оно критично.

5. Ответ — 0. Назначение скетча — включить реле в модуле A2 в момент совпадения логических уровней на входах D4—D7 Arduino с кодом, заданным в строке 4.

Логические уровни на входах определяются состоянием четырёх датчиков. В строках 9, 10 производится

перевод их двоичных уровней 0000—1111 в десятичное число 0—15. Число 12 в переменной **cod** эквивалентно двоичному числу 1100, следовательно, на входах D6, D7 должны быть лог. 1, а на входах D4, D5 — лог. 0.

6. Ответ — 0. Назначение скетча — снятие показаний с цифровых датчиков по входам D4—D7 Arduino и пропорциональная установка времени срабатывания реле 1...16 с (строка 13).

В скетче применяется библиотека функций **Cyber Lib**, которая отличается быстрым выполнением операций, в том числе по вводу и выводу сигналов. Библиотека использует свои собственные макроопределения, например, **D2_Out** (установка порта D2 в режим выхода), **D13_Inv** (инвертирование логического уровня порта D13). Указанные макроопределения универсальные, они автоматически подстраиваются под архитектуру разных плат Arduino. Как следствие, операторы в строках 11, 12 будут нормально функционировать с платами Arduino Uno и Arduino Mega2560.

Другое дело, операторы в строках 9, 10. В них используются прямые обращения к регистрам микроконтроллера (МК) PORTD, PIND, отсутствующие в библиотеке **CyberLib**.

В плате Arduino Uno применяется МК ATmega168. Регистры PORTD, PIND относятся к выводам PD0—PD7 МК, которые в Arduino Uno соединяются с цифровыми портами D0—D7.

В плате Arduino Mega2560 применяется МК ATmega2560, в котором "ардуиновские" порты D0—D7 физически соответствуют его выводам: PE0, PE1, PE3—PE5, PH3, PH4, PG5. Следовательно, регистр PORTD в строке 9 неверно установит pull-up резисторы, а с регистра PIND в строке 10 будут считываться совершенно другие сигналы, не относящиеся к датчикам. Результат работы для Arduino Mega2560 будет ошибочным.

7. Ответ — 1. К плате Arduino подключается модуль A1, который через внешние электроды X1—X3 позволяет измерять биопотенциалы мышц человека. Строго говоря, модуль A1 с микросхемой AD8232 предназначен для снятия электрокардиограммы сердца, но в [3] его предлагается использовать нестандартно, как миограф, но только для определённого класса мышц, например, бицепсов (**рис. 3**).

Информация с миографа выводится на экран монитора через разъём

USB. Однако компьютер с сетевым питанием категорически запрещается применять в экспериментах, когда к телу человека присоединяются электроды без полной гальванической развязки. В модуле A1 такой развязки нет, поэтому нужен ноутбук, который питается от аккумулятора. Разумеется, зарядное устройство от ноутбука при этом должно быть отключено. Альтернативный вариант — подключить к Arduino модуль Bluetooth и через него передавать данные на компьютер.

8. Ответ — 0. Назначение скетча — проверка исправности оборудования миографа (строки 6—9), чтение аналоговой информации с порта A0 Arduino и рисование графика биопотенциалов (строка 12). Встроенный в

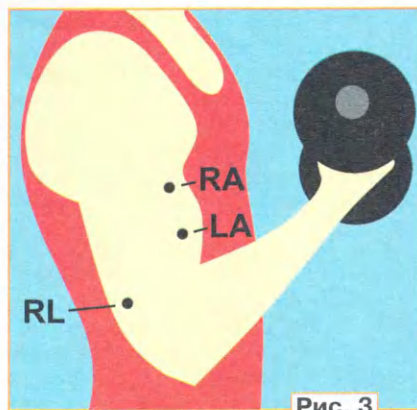


Рис. 3

плату Arduino светодиод LED включается при исправной работе (строка 11) и гаснет при аппаратной ошибке (строка 9).

Ответ на вопрос викторины можно получить методом исключения. Поскольку в строках 6, 7 используется операция "логическое ИЛИ", значит, результат действий будет одинаковым при любом варианте подключения сигналов LO-, LO+ к портам D4, D5 Arduino. Остаётся другой вариант ответа — надпись "Error!" в строке 8 появляется при обрыве контактов (плохом контакте) в электродах X1—X3, подключённых к мышце человека [3].

9. Ответ — 0. Назначение скетча — аналогично вопросу 8, но рисование графика производится свободно распространяемой программой **Serial Port Plotter**, которая обладает расширенным функционалом [3]. Формат печати отличается от принятого во встроенном плоттере Arduino IDE, а именно, начинать пакет должен с символа \$ (строка 10), а заканчиваться — символом ";" (строка 12).

Если закоментировать строки 10, 12, работать будет лишь оператор **Serial.print(analogRead(A0));** в строке 11. При этом встроенный в Arduino

IDE плоттер не нарисует никакого графика, поскольку массив данных идёт сплошным потоком без разделителя чисел в виде символа "перевод строки".

Чтобы плоттер заработал, нужно применить в строке 11 оператор **Serial.println(analogRead(A0));** или заменить строки 10, 12 операторами **Serial.print("\n");**, что одно и то же.

10. Ответ — 1. К плате Arduino HL1, конструктивно выполненный в виде "задуваемой свечи". Имеется в виду, что если на светодиод подуть как на горящую свечу, он погаснет.

За образец взята конструкция [4], но с целью повышения чувствительности в канале АЦП используется низковольтный ИОН напряжением 3,3 В. Резистор R1 защищает вывод AREF при программных ошибках, резистор R2 определяет яркость свечения светодиода HL1.

Принцип работы. Светодиод включается низким уровнем на выходе порта D9, после чего в цикле измеряется напряжение на входе A0. Оно будет зависеть от падения напряжения на светодиоде. Если на светодиод подуть, температура его р-п перехода уменьшится и напряжение изменится. Программа Arduino фиксирует порог изменения и включает светодиод высоким уровнем порта D9.

Главным критерием при выборе светодиода служит не его цвет, а габариты. Чем они меньше, тем быстрее светодиод охлаждается (нагревается), тем динамичнее будет эффект "задувания". Лучшие результаты получаются с SMD-светодиодами типоразмера 0402 с габаритными размерами 1×0,5×0,4 мм.

11. Ответ — 0. Назначение скетча — включение "свечи" (строки 6, 7) и построение графика на экране монитора (строка 13) в виде суммы N-отсчётов АЦП, пропорциональных напряжению на резисторе R2 (строки 9—12). Наблюдая за графиком при "задувании свечи", можно определить числовой порог, ниже которого надо отключать светодиод. Это понадобится в рабочем (не тестовом) скетче.

Напряжение на входе A0 Arduino изменяется от температуры кристалла светодиода HL1. При включении светодиода происходит саморазогрев, температура повышается, напряжение на входе A0 становится больше. При задувании "свечи" поток воздуха охлаждает кристалл, температура и напряжение снижаются. Следовательно, переменная sum в строке 13 скетча будет меньше при "задувании свечи", т. е. при снижении температуры.

Для справки. ВАХ светодиода имеет температурную зависимость, характерную для диодов (рис. 4). Разница в том, что температурный коэффициент напряжения (ТКН) у кремниевых диодов составляет $-2,3 \text{ мВ/К}$, а у светодиодов — $-1,9...-3,1 \text{ мВ/К}$, что зависит от полупроводниковых мате-

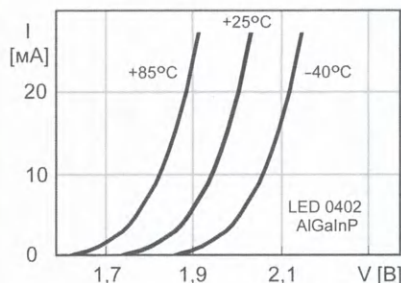


Рис. 4

риалов, применяемых при изготовлении: AlGaInP, InGaP и т. д.

12. Ответ — 0. Назначение скетча — изменение яркости свечения светодиода HL1 по случайному закону, подобно мерцанию настоящей свечи. Для большей достоверности рекомендуется закрыть светодиод внешним светорассеивателем.

Ответ на вопрос викторины лежит на поверхности — реальная свеча всё время светит, лишь периодически снижая яркость, следовательно, светодиод, имитирующий свечу, должен больше времени быть включённым, а не выключенным. Подтверждение догадки кроется в анализе строк 9—13 скетча. Для включённого светодиода время **delay** задаётся по случайному закону оператором **random** в интервале от 30...110 мс до 30...180 мс, а для выключенного — от 20...30 мс до 20...100 мс. Чем больше верхняя граница этого интервала, тем больше задержка времени в операторе **delay**, тем дольше светодиод находится во включённом состоянии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лазарев В. Защита по току на микросхеме ACS712. — Радио, 2022, № 3, с. 31.
2. ACS712. Datasheet. — URL: <https://www.allegromicro.com/~media/files/datasheets/acs712-datasheet.ashx> (05.05.22).
3. Яценков В. С. Здоровье, спорт и окружающая среда в проектах Arduino. — СПб.: БХВ-Петербург, 2020, 336 с.
4. Светодиод, который можно задуть как свечу! — URL: <https://robototekhnika.ru/content/article/svetodioid-kotoryyy-mozhno-zadut-kak-svechu/> (05.05.22).