

Ответы на викторину "Микроконтроллеры и датчики температуры"

("Радио", 2019, № 3, с. 60, 61)

С. РЮМИК, г. Чернигов, Украина

1. Ответ — 0. Терморезисторы бывают с отрицательным (NTC) и положительным (PTC) температурным коэффициентом сопротивления (ТКС). В первом случае сопротивление уменьшается с повышением температуры, а во втором — увеличивается. На схеме принято указывать сопротивление терморезистора при температуре +25 °С. Определить знак и значение ТКС терморезистора конкретного типа можно, найдя, например, в Интернете его подробное описание. В рассматриваемом случае тип терморезистора не указан, но перед буквой Т в его условном графическом обозначении стоит знак минус. Это означает, что должен быть применён терморезистор с отрицательным ТКС. Следовательно, напряжение на выходе делителя R1RK1 с повышением температуры будет уменьшаться. Нужно отметить, что зависимость напряжения на терморезисторе от температуры нелинейна и требуется её программная или аппаратная линеаризация. Подробнее о программной линеаризации можно прочитать в [1].

2. Ответ — 1. У большинства микроконтроллеров с встроенным АЦП имеется вывод AREF (он может называться и иначе). На него выведено образцовое напряжение АЦП, если оно внутреннее, на него же его подают от внешнего источника. Питание датчика температуры с терморезистором напряжением с вывода AREF обеспечивает независимость результатов измерения температуры от образцового напряжения. Естественно, при его изменении в допустимых для АЦП пределах.

3. Ответ — 0. Питание делителя напряжения из терморезистора RK1 и резистора R1 от дискретного выхода микроконтроллера применяют в случаях, когда датчик необходимо временно отключать. Например, в приборах с автономным питанием так делают для экономии энергии батареи. Когда на выходе установлен высокий логический уровень, датчик работает как обычно. Когда низкий — не работает и не потребляет ток.

4. Ответ — 0. Существуют два метода аппаратной линеаризации характеристики терморезистора

[2]. В первом случае параллельно терморезистору подключают резистор, во втором — резистор включают последовательно, как в рассматриваемой схеме. При равенстве сопротивлений терморезистора RK1 и резистора R1 область линеаризации получается симметричной относительно точки +25 °С, поскольку именно при такой температуре калибруют сопротивление терморезистора на заводе-изготовителе. Если, как в рассматриваемом случае, сопротивление резистора R1 (15 кОм) больше сопротивления терморезистора при температуре +25 °С (10 кОм), они станут равными при меньшей температуре. Следовательно, как видно из рис. 1, построенного по данным [2], макси-

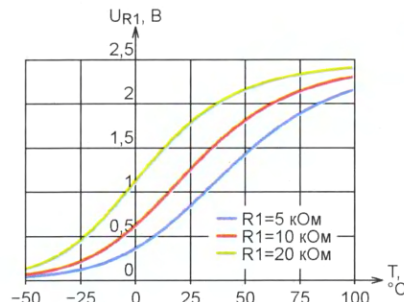


Рис. 1

мально линейный участок зависимости напряжения от температуры тоже сместится в более холодную область.

5. Ответ — 0. В дифференциальном режиме АЦП преобразует в код не абсолютные значения, а разность напряжений, подаваемых на его входы. Благодаря этому синфазные помехи (они одинаковы на обоих входах) взаимно компенсируются. Это преимущество дифференциального режима проявляется при большой длине проводов, соединяющих источник сигнала с входами АЦП, т. е. при большом расстоянии между терморезистором и микроконтроллером. Если соединение выполнено экранированной витой парой проводов с заземлением экрана на стороне микроконтроллера, то подавление помех достигает 60 дБ, а конденсатор С1 дополнительно их снижает. В дифференци-

альном режиме менее жестки и требования к стабильности и уровню пульсаций питающего напряжения.

6. Ответ — 1. Известно, что прямое падение напряжения на полупроводниковом диоде при неизменном токе через него теоретически линейно зависит от температуры. Считается, что кремниевые диоды обеспечивают приемлемую линейность этой зависимости в температурном интервале от 0 до +100 °С. Датчик обычно достаточно откалибровать в воде с тающим льдом и в кипящей дистиллированной воде. Важно, чтобы ток, протекающий через диод, был невелик. Иначе разогрев кристалла протекающим током исказит показания. Поскольку крутизна зависимости напряжения на диоде от температуры всего около 2 мВ/°С, то даже при напряжении питания 3,3 В резистор R1 обеспечивает в достаточной мере не зависящий от температуры ток через диод VD1.

Микроконтроллер вычисляет температуру T_x в градусах Цельсия по формуле

$$T_x = 100 \cdot \frac{U_0 - U_x}{U_0 - U_{100}},$$

где U_x — измеренное напряжение на диоде, В; U_0 — напряжение на диоде при 0 °С, В; U_{100} — напряжение на диоде при +100 °С, В.

7. Ответ — 1. LM335А — это прецизионный аналоговый датчик, имеющий крутизну преобразования температуры в напряжение 10 мВ/К в интервале 233,2...373,2 К (-40...+100 °С). Крутизна остаётся практически неизменной при заданном резисторе R1 тока через датчик 0,4...5 мА. С помощью подстроечного резистора R2 характеристику преобразования смещают по оси напряжения, добиваясь точных показаний при заданной температуре. Например, 2,982 В при температуре +25 °С.

8. Ответ — 0. Аналоговые датчики температуры серии LM35 с крутизной преобразования 10 мВ/°С по своим свойствам похожи на LM335А. Однако внутри датчика имеется стабилизатор тока, поэтому питать его можно нестабилизированным напряжением 4...30 В без добавочного резистора. При питании однополярным напряжением он измеряет температуру в интервале +2...+150 °С. Соединив выход (вывод 2) через резистор с источником отрицательного относительно вывода 3 напряжения, можно расширить этот интервал вплоть до -55 °С.

Поскольку датчик подвержен воздействию электромагнитных помех, его разработчики рекомендуют применять для их подавления демпфирующую цепь R1C1. Минимальная ёмкость конденсатора С1 — 0,2 мкФ. Подобные цепи устанавливают на

входах АЦП и при работе с другими аналоговыми датчиками и терморезисторами. В простейших случаях обходятся одним конденсатором ёмкостью 0,01...0,1 мкФ без последовательного резистора.

9. Ответ — 1. Вольт-амперные характеристики аналоговых датчиков температуры, подобных IL135Z или LM335A, аналогичны характеристикам полупроводниковых стабилизаторов, отличаясь от них нормированной зависимостью напряжения стабилизации от температуры. Поэтому напряжение, снимаемое с группы таких датчиков, соединённых параллельно, равно напряжению стабилизации того из них, у которого оно меньше. Если датчики идентичны, это будет датчик, находящийся при более низкой температуре.

10. Ответ — 0. Напряжение между эмиттером и коллектором любого биполярного транзистора при режиме работы, заданном резисторами R1—R3, зависит от температуры его кристалла. При малой рассеиваемой на нём мощности она практически равна температуре окружающей среды.

Поскольку транзисторы серии KT816 выпускают в плоских корпусах KT-27 (ТО-126), их удобно крепить к плоскостям предметов, температуру которых нужно контролировать. Металлическая площадка, окружающая крепёжное отверстие, соединена с коллектором транзистора, что нужно учитывать при монтаже.

Что касается инерционности, то она зависит от габаритных размеров и теплоёмкости корпуса. Поэтому время стабилизации показаний датчика температуры на транзисторе KT816B после скачка температуры довольно велико. Если нужно фиксировать быстрые изменения температуры, примените аналоговые датчики как можно меньших размеров.

11. Ответ — 1. Датчик DS1821 имеет два режима работы — измеритель температуры с интерфейсом 1-Wire и термостат. Для их переключения предусмотрена процедура, заключающаяся во временном отключении питания прибора и подаче последовательности из шестнадцати импульсов на его вывод 2 (DQ). В режиме термостата этот вывод становится обычным дискретным выходом с открытым стоком, который переходит в активное состояние, если температура достигла заданной максимальной (TH), и возвращается в пассивное состояние, как только температура опустится ниже заданной минимальной (TL).

Логические уровни на выходе, соответствующие его активному и пассивному состоянию, зависят от значения

разряда POL в регистре конфигурации датчика. Если POL=1, активный уровень высокий, а пассивный — низкий, при POL=0 — наоборот. Микроконтроллер лишь принимает логический сигнал, поэтому линия порта, к которой подключён датчик-термостат, должна быть сконфигурирована как вход.

Значения TH, TL и POL задают по интерфейсу 1-Wire в обычном режиме датчика температуры. Переведённый в режим термостата прибор не требует дополнительной настройки и способен работать автономно в течение любого времени, в том числе после выключения и повторного включения питания.

12. Ответ — 0. При отпущенной кнопке SB1 к входу АЦП микроконтроллера подключён термометр сопротивления RK1, питаемый стабилизированным током 1 мА. Такой термометр представляет собой катушку из тонкого металлического провода. Как известно, сопротивление чистых металлов имеет положительный ТКС.

Термометры сопротивления отечественного производства носят названия ТСП (платиновые, способны работать в интервале температуры до -200...+500 °C) и ТСМ (медные, до -50...+120 °C). Указанное на схеме обозначение Pt100 — это тип одной из стандартизованных градуировочных кривых термометра сопротивления. Оно означает, что термометр — платиновый, и его сопротивление при температуре 0 °C равно 100 Ом. Нажатием на кнопку SB1 резистор R1 именно такого сопротивления подключают к входу АЦП вместо термометра RK1 для проверки измерителя температуры. Он должен показывать 0 °C.

13. Ответ — 0. Согласно ГОСТ 31516-2012, абсолютная погрешность медицинского термометра не должна выходить за пределы от +0,1 °C до -0,15 °C. Казалось бы, цифровой датчик температуры LM75AD обеспечивает такую точность, имея дискретность (шаг изменения) показаний 0,125 °C. Однако это всего лишь цена младшего разряда выдаваемого датчиком двоичного кода температуры. Абсолютная точность показаний датчика LM75AD намного хуже, погрешность доходит до ±2 °C. Такой датчик может показать повышенную температуру тела +38,6 °C или пониженную +34,6 °C, когда в действительности она вполне нормальная — +36,6 °C. Чтобы устранить эту погрешность, нужно хранить в памяти микроконтроллера таблицу поправок, индивидуальную для каждого экземпляра датчика. Причём нет никакой гарантии, что со старением датчика эти поправки не потеряют силу.

14. Ответ — 1. Датчик DS18B20, фрагмент внутренней схемы которого изображён на рис. 2, содер-

жит узел VD1VD2C1. Благодаря ему напряжение на внутреннюю шину питания датчика может поступать двумя путями. Во-первых, с вывода 3 (VCC) через диод VD1. Во-вторых, с вывода 2 (DQ) через диод VD2. В последнем случае питание называют "паразитным", так как энергия отбирается от источника управляющего датчиком сигнала при его логически высоком уровне.

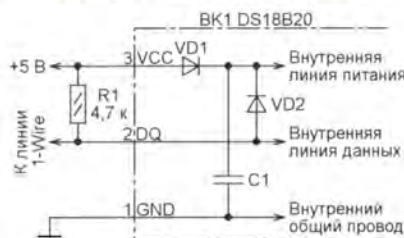


Рис. 2

Когда уровень на линии данных логически низкий, узлы датчика питают напряжение, до которого заряжен конденсатор C1. При высоком уровне он заряжается через резистор R1. В режиме паразитного питания вывод 3 (VCC) датчика во избежание проникновения через него помех рекомендуется соединить с выводом 1 (GND).

Основное достоинство паразитного питания — уменьшение с трёх до двух числа проводов, идущих к датчику, что важно при большой длине проводов или при большом числе датчиков, соединённых параллельно. Напомню, что микроконтроллер способен различать такие датчики по уникальным кодам, хранящимся в их постоянной памяти.

Во время выполнения датчиком большинства команд потребляемый им ток невелик, падение напряжения на резисторе R1 за счёт этого тока незначительно и не нарушает работу датчика. Однако ток сильно увеличивается при выполнении таких операций, как преобразование температуры в двоичный код или запись информации во внутреннюю энергонезависимую память датчика. Поэтому изготовитель рекомендует при паразитном питании подключать параллельно резистору R1 полевой транзистор и открывать его во время выполнения энергоёмких операций, а при большом числе параллельных датчиков — открывать при каждой установке на линии напряжения высокого уровня.

Однако в случае, если источник управляющего сигнала микроконтроллер, задачу можно решить проще [3]. Достаточно, чтобы в режиме выхода линия микроконтроллера, используемая для связи с датчиком, была с открытым стоком, а имела обычный двухтактный драйвер с низким выходным сопротивлением для вытекающего тока. Максимальное значение этого

тока — 20 мА у микроконтроллеров PICmicro и AVR, 25 мА — у микроконтроллеров STM32. Этого более чем достаточно для паразитного питания нескольких датчиков.

Датчик DS18B20 имеет модификацию DS18B20-PAR, предназначенную исключительно для паразитного питания. Она отличается лишь тем, что её вывод 3 ни с чем внутри датчика не соединён, а диод VD1 отсутствует.

15. Ответ — 1. Элементы R1, R2, VT1 и HL1 образуют стабилизатор тока, текущего через терморезистор RK1. Если светодиод заменить ещё одним терморезистором с номинальным сопротивлением 10 кОм, этот ток станет зависеть от температуры. Поэтому крутизна преобразования температуры в напряжение значительно возрастёт [4].

16. Ответ — 0. Микросхема MAX6675ISA — преобразователь термоЭДС термопары в 16-разрядный двоичный код, передаваемый в микроконтроллер по интерфейсу SPI. Чтобы получить линейную зависимость кода от температуры, приходится в процессе преобразования решать уравнения высокого порядка, набор коэффициентов которых неодинаков для разных пар металлов, из которых изготавливают термопары.

Микросхема MAX6675ISA специализирована для работы с термопарой типа K (из хромеля — сплава хрома с никелем и алюминия — сплава никеля с алюминием, кремнием и марганцем). С термопарами из других металлов (их стандартные типы обозначают латинскими буквами) погрешность преобразования получается слишком большой.

Один из универсальных преобразователей — LTC2983. Он способен работать не только с термопарами разных типов, но и с термометрами сопротивления, диодными и транзисторными датчиками, таблицы преобразования для которых пользователь может ввести в память микросхемы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Погребняк Д. Измерение температуры при помощи NTC термистора и микроконтроллера AVR. — URL: <https://aterlux.ru/article/ntcresistor> (19.01.2019).

2. Davis N. Введение в температурные датчики: терморезисторы, термопары, термометры сопротивления и микросхемы термометров. Пер. с англ. — URL: <https://radiopro.ru/post/279> (19.01.2019).

3. Ещё раз о STM32 и DS18B20 (подправлено). — URL: <http://we.easyelectronics.ru/STM32/esche-raz-o-stm32-i-ds18b20-podpravleno.html> (20.01.2019).

4. Pros R. NTC-gevoeligheid opdrijven. — URL: <http://prosje.be/Projects/NtcGevoeligheidOpdrijven.html> (20.01.2019).

Arduino Uno помогает играть в шашки

Д. МАМИЧЕВ, п. Шаталово Смоленской обл.

Ещё один интересный вариант практического использования манипулятора [1, 2] — это возможность перемещать небольшие предметы. На рис. 1 представлен внешний вид конструкции, позволяющей расставлять предметы на небольшом игровом поле или убирать их с него. Это открывает

широкие возможности для реализации различных игр. В предлагаемой вниманию читателей статье рассматривается игра в шашки на поле 8×8, где соперники обмениваются ходами, записывая и отсылая их на исполнительное устройство через монитор порта программы Arduino IDE.

Рис. 1

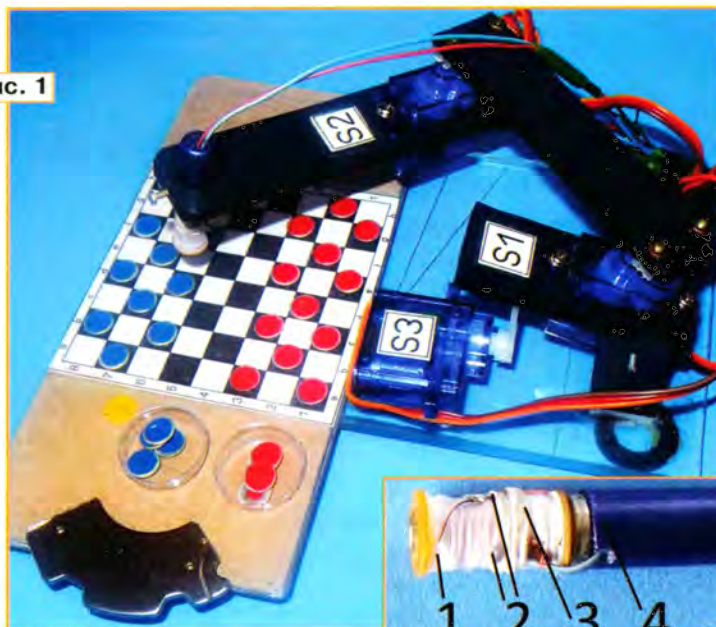


Рис. 3

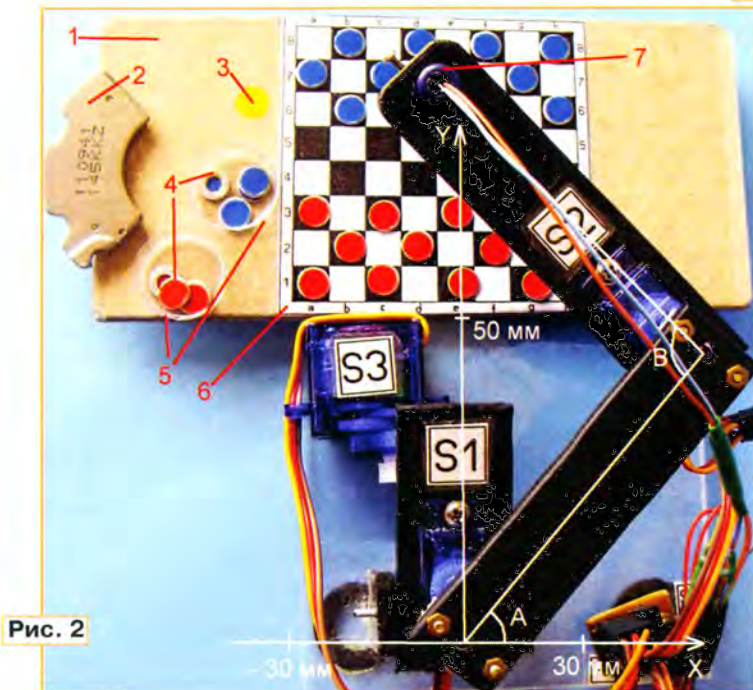


Рис. 2