



Рис. 5

вать такой кабель от компьютерной мыши, но за счёт большого сопротивления на нём будет падать существенная часть напряжения питания, что снизит общий КПД устройства. Поэтому такой кабель должен быть минимальной длины.

Пьезоизлучатель приклеивают в нижней части теплоотвода над платой так, чтобы он был основанием светильника (рис. 5). Таким образом, светильник размещается на столе непосредственно на пьезоизлучателе. Это обеспечивает максимальную чувствительность к негромкому стуку по столу. Но пользоваться таким светильником надо аккуратно, поскольку пьезоизлучатель

Рис. 6



очень чувствителен к механическим воздействиям. Для защиты от влаги плату после проверки и налаживания можно покрыть влагостойким лаком. Для защиты матрицы от механических воздействий её можно закрыть матовым прозрачным пластмассовым колпаком подходящего размера от светодиодной лампы (рис. 6).

Чувствительность устанавливают подстроечным резистором R2. Чем больше будет сопротивление между входами компаратора, тем меньше чувствительность. Для светодиодной матрицы мощностью более 3 Вт потребуются теплоотвод большего размера.

Как сказано выше, питать светильник можно от источника напряжением 5 В и с выходным током не менее 1 А, например, ЗУ смартфона или от аккумулятора (Power bank). Но следует учесть, что

некоторые слишком умные Power bank при малом потребляемом нагрузкой токе понижают выходное напряжение в несколько раз. С таким устройством светильник может просто не включиться.

ЛИТЕРАТУРА

1. PT4110. High Efficiency White LED Driver. — URL: <http://www.datasheet-pdf.com/PDF/PT4110-Datasheet-Powtech-826573> (29.05.20).

2. Нечаев И. Регулируемый светодиодный светильник с питанием от 5 В. — Радио, 2020, № 7, с. 59—61.

От редакции. Чертеж печатной платы в формате Sprint LayOut размещён по адресу <http://ftp.radio.ru/pub/2020/08/svet-3.zip> на нашем сервере.

Ответы на викторину "Микроконтроллеры и измерения"

("Радио", 2020, № 7, с. 57, 58)

С. РЮМИК, г. Чернигов, Украина

1. Ответ — 1. Излучающие диоды оптронов U1 и U2 соединены встречно-параллельно. Поэтому в полупериодах сетевого напряжения одной полярности ток течёт через излучающий диод оптрона U1, в полупериодах другой полярности — оптрона U2. Поэтому фототранзисторы этих оптронов открываются по очереди, и каждый из них генерирует импульсы низкого логического уровня длительностью чуть меньше "своего" полупериода. Поскольку участки

коллектор—эмиттер этих фототранзисторов соединены согласно-параллельно, в течение каждого периода сетевого напряжения на выходе А образуются два коротких импульса высокого логического уровня. Они следуют с частотой 100 Гц (вдвое выше сетевой) и совпадают по времени с моментами перехода мгновенного значения сетевого напряжения через ноль. Поэтому представленный на схеме узел называют "детектором нуля" и используют в устройствах,

работа которых должна быть синхронизирована с сетевым переменным напряжением. Например, в тиристорных регуляторах мощности нагрузки. Если стоит задача измерить частоту напряжения в сети, частоту следования импульсов "детектора нуля" следует разделить на два.

2. Ответ — 0. Передаточные характеристики многовходовых логических элементов структуры КМОП зависят от того, какие из их входов используются. На рисунке [1] для примера показаны зависимости выходного напряжения $U_{\text{вых}}$ от входного $U_{\text{вх}}$ для четырёх вариантов использования входов логических элементов микросхемы K561ЛЕ6.

"Голубой" и "красный" варианты применены в узле, схема которого приведена в вопросе. Здесь входные импульсы проходят параллельно через два элемента, имеющих разные пороги переключения. Вследствие этого перепады импульсов на выходах 1 и 2 сдвинуты по времени. Этот сдвиг пропорционален крутизне нарастания или спада входного напря-

жения. Длительность прохождения импульса через логический элемент этот узел определить не поможет.

3. Ответ — 1. Сеть переменного тока 230/400 В имеет три фазных провода, обозначаемых L1, L2, L3, и один общий нулевой провод N. Напряжения между любым из фазных проводов и нулевым проводом — 230 Вэфф и взаимно сдвинуты по фазе на 120° . Линейные напряжения (между любой парой фазных проводов) равны 400 Вэфф с таким же сдвигом фаз.

Рассматриваемый узел предназначен для контроля исправности фаз такой сети. Его основа — трёхфазный выпрямитель на диодах VD1—VD3 со сглаживающим конденсатором C1. Ввиду того что сопротивление ограничивающих ток в ветвях выпрямителя резисторов R1—R3 значительно больше сопротивления общей для них нагрузки (резистора R4), ветви можно считать независимыми, а постоянные составляющие протекающего через них тока (при равных фазных напряжениях) одинаковыми. Сумма этих составляющих, протекающая через резистор R4, создаёт на нём падение напряжения, поступающего на вход АЦП.

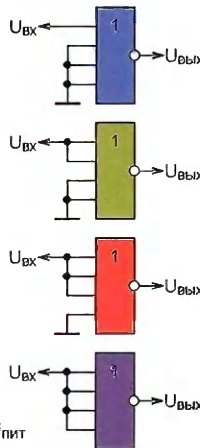
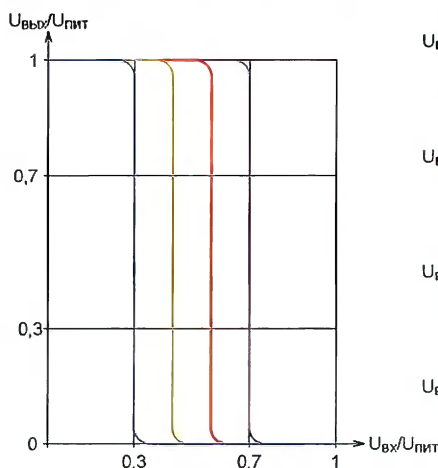
Обрыв одной из фаз практически не изменяет токи в ветвях выпрямителя, подключённых к исправным фазам. Но в резисторе R4 будут суммироваться уже не три, а только две составляющих. Следовательно, напряжение на входе АЦП уменьшится на одну треть.

Этот умозрительный вывод был проверен моделированием рассмотренного узла с помощью программы Micro-Cap 12.2.0.2. Оно показало, что при исправности всех фаз на вход АЦП поступает постоянное напряжение 3,37 В. При обрыве одной (любой) фазы оно уменьшается до 2,25 В, а при обрыве двух фаз — до 1,13 В.

4. Ответ — 0. Микросхема DA1 MAX9938F [2] совместно с измерительными шунтами (резисторами R1 и R3) служит датчиком тока. На её выходе OUT формируется постоянное напряжение, пропорциональное току I_x . Предел его измерения микроконтроллер может изменять программно. Если на его выходе, к которому подключён затвор полевого транзистора VT1, программа установила низкий уровень или перевела этот выход в режим высокоомного входа, р-канальный транзистор VT1 открыт, и ток через резистор R3 не течёт. Измерительным шунтом служит только резистор R2 плюс малое сопротивление открытого канала транзистора.

При высоком уровне напряжения на входе П транзистор VT1 закроется. Теперь сопротивление шунта определяется в основном резистором R2, поэтому предел измерения уменьшается приблизительно в 1000 раз.

5. Ответ — 0. Максимальное напряжение, которое может измерить АЦП, равно его образцовому напряжению, а последнее не может быть больше VCC — напряжения питания микроконтроллера. Поэтому "напрямую" измерить напряжение аккумулятора G1, питающего микроконтроллер, с помощью его АЦП нельзя. Предварительно это напряжение нужно уменьшить. Проще всего — с помощью резистивного делителя напряжения, заменив в схеме из вопроса параллельный интегральный стабилизатор DA1 TL431ACLP обычным резистором. Но в этом случае уменьшится и вызванное разрядкой элемента абсолютное изменение напряжения на входе АЦП, т. е. увеличится относительная по-



грешность его измерения. Именно для повышения точности измерения в верхнее плечо делителя установлен не резистор, а параллельный стабилизатор, который в рассматриваемом случае ведёт себя как стабилитрон, на котором независимо от напряжения элемента G1 падает 2,5 В $\pm 1\%$. Абсолютное изменение напряжения на входе АЦП теперь остаётся таким же, как на самом аккумуляторе G1, а относительное его изменение возрастает примерно в три раза.

Для экономии энергии нижний по схеме вывод резистора R1 микроконтроллер подключает к минусовому выводу аккумулятора G1 только на время измерения, устанавливая на своём выходе логически низкий уровень напряжения. При высоком уровне на этом выходе ток через стабилизатор DA1 и резистор R1 не течёт.

6. Ответ — 0. К магниточувствительным элементам относят та-
кие, параметры которых зависят от

направления и напряжённости магнитного поля, в котором они находятся. Это магниторезисторы, магнитодиоды, магнитотранзисторы, магнитотристоры. В микросхеме цифрового компаса HMC6352 в качестве датчиков магнитного поля Земли используются магниторезисторы. Под действием этого поля изменяется их сопротивление. Снимаемые с них сигналы усиливаются и преобразуются в цифровой код угла между направлением магнитного поля и условной осью микросхемы, передаваемый в микроконтроллер по интерфейсу I²C.

7. Ответ — 1. Аналоговые датчики относительной влажности HIN-4000-004 [3] откалиброваны на заводе-изготовителе при напряжении питания +5 В. К каждому экземпляру такого датчика изготовитель прикладывает протокол калибровки, в котором указаны точные значения коэффициентов формулы, по которой измеренное значение выходного напряже-

ния датчика переводят в проценты относительной влажности без дополнительной калибровки. Использовать эти датчики при другом напряжении питания позволяет тот факт, что они логотметрические (gaugometric). Это означает, что показания такого датчика изменяются прямо пропорционально напряжению питания. Поэтому, если питать датчик и микроконтроллер от общего источника и использовать напряжение питания в качестве образцового напряжения АЦП (а такая возможность

предусмотрена в большинстве микроконтроллеров), результат измерения относительной влажности не будет зависеть от напряжения питания. К сожалению, допустимый интервал его изменения ограничен — 4,6...5,8 В. Напряжение 3,3 В находится за его пределами, поэтому питать датчик таким напряжением нельзя.

8. Ответ — 1. Напряжение, которое можно подавать на входы ОУ, обычно лишь немногим больше напряжения питания или меньше его. Однако входы специализированного ОУ LT1494CN8 выдерживают напряжение до 36 В без нарушения работоспособности ОУ. Это позволяет использовать его как усилитель слабых сигналов, действующих в цепях, находящихся под таким напряжением, питая сам ОУ значительно меньшим напряжением. В вопросе приведена схема датчика тока в цепи, находящейся под напряжением +U, в котором ОУ питается напряжением +5 В.

9 ● **Ответ — 0.** Одним из способов определить "подсевший" гальванический элемент или аккумулятор — измерить, как изменится напряжение между его зажимами при кратковременной нагрузке большим током. В рассматриваемом узле каждый из двух соединённых последовательно элементов G1 и G2 может быть отдельно нагружен низкоомным резистором R1 или R2 через открытые транзисторы VT1 или VT2. При этом АЦП микроконтроллера измеряет напряжение в точке соединения элементов. По характеру и степени его изменения программа микроконтроллера может сделать вывод о степени разряженности как одного, так и другого элемента и оценить оставшийся в них запас электроэнергии. Например, чтобы нагрузить элемент G2, следует подать на входы Y1 и Y2 высокие логические уровни напряжения. Это закроет р-канальный полевой транзистор VT1, но откроет n-канальный полевой транзистор VT2, который подключит резистор R2 к элементу G2, а элемент G1 останется без дополнительной нагрузки. При низких уровнях на обоих входах состояния транзисторов VT1 и VT2 сменятся противоположными. Дополнительно нагруженным окажется элемент G1. Чтобы разгрузить оба аккумулятора, на входе Y1 нужно установить высокий уровень, а на входе Y2 — низкий.

10 ● **Ответ — 0.** Мощность, отдаваемую в нагрузку, в рассматриваемом случае можно вычислить как произведение удвоенного значения напряжения на входе канала АЦП1 на ток I_x , который, в свою очередь, находят как удвоенную разность напряжений на входах каналов АЦП2 и АЦП1, делённую на сопротивление резистора R3. Следовательно, канал АЦП1 участвует как в измерении напряжения, так и тока, а следовательно, и мощности. Строго говоря, из вычисленной таким образом отдаваемой в нагрузку мощности нужно вычесть мощность, рассеиваемую на резисторах R4 и R5.

11 ● **Ответ — 0.** Контроллер сенсорного датчика — микросхема QT113 измеряет не ёмкость сенсорной площадки E1, не наведённое на неё напряжение, а перенесённый на эту площадку электрический заряд. В связи с этим датчик "чувствует" приближение к пластине E1 руки в перчатке через стекло толщиной до 100 мм, пластик толщиной до 20 мм, а также через камень, керамику или дерево. Датчик устойчив к повышенной влажности и каплям воды.

О прикосновении сигнализирует смена высокого уровня на выводе 2 микросхемы низким, который удерживается в течение всего прикосно-

вения, но не более установленного коммутацией выводов 3 и 4 времени. Если оба этих вывода соединены с источником питания, это время — 10 с.

12 ● **Ответ — 1.** Микросхема датчика тока INA198 преобразует разность потенциалов выводов 4 и 5 (падение напряжения на резисторе R1) в напряжение между выводом 1 и общим проводом. Коэффициент преобразования — 100.

При токе 50 мА на резисторе R1 сопротивлением 1 Ом падает напряжение 50 мВ. Следовательно, на выходе микросхемы должно быть получено напряжение 5000 мВ = 5 В. Но при напряжении её питания 3,3 В это невозможно.

Исправить положение можно заменой микросхемы INA198 на INA197, у которой коэффициент преобразования в два раза меньше. Выходное напряжение при токе 50 мА станет равным 2,5 В. Такой же эффект даст уменьшение сопротивления резистора R1 до 0,5 Ом.

13 ● **Ответ — 0.** При измерении разности двух напряжений с использованием обычных входов АЦП приходится делать два цикла измерения и вычислять разность их результатов. Это плохо тем, что за время между измерениями одно или оба напряжения могут измениться, в том числе под действием помех, что приведёт к дополнительной погрешности измерения. При использовании дифференциального входа на собственно АЦП поступает уже определённая аналоговым способом разность потенциалов, для измерения которой достаточно одного цикла работы преобразователя. Это устраняет погрешности, связанные с неодновременным измерением уменьшаемого и вычитаемого, и подавляет синфазные помехи.

14 ● **Ответ — 0.** Микроконтроллер способен обрабатывать сигналы частотой не более единиц или десятков мегагерц. Если нужно регистрировать более высокочастотные сигналы, например, сантиметрового диапазона волн, их нужно сначала перенести в доступный микроконтроллеру диапазон. Например, с помощью простейшего амплитудного детектора, которым в устройстве, опубликованном в [4], служит СВЧ-диод VD1. Снятый с него уже низкочастотный сигнал (огibaющую принятого) усиливает ОУ DA1.1. Максимальная частота, на которую "откликается" устройство, зависит от свойств этого диода. Для диода ДЗБ5 — не более 5,5 ГГц (длина волны — 5,4 см).

Но, строго говоря, частотный диапазон эффективной работы прибора определяется конструкцией и свойствами его антенны WA1.

15 ● **Ответ — 1.** Многие транзисторы, выпускавшиеся в первые годы после освоения их производства, отличаются тем, что их кристаллы не имеют покрытий, защищающих от воздействия факторов окружающей среды. Эти функции выполняли герметичные металлические корпуса этих транзисторов. Если вскрыть корпус такого транзистора, можно обнаружить, что его коллекторный ток изменяется, например, под действием видимого света.

Пока специально разработанные фотодиоды и фототранзисторы не стали доступными радиолюбителям, они с успехом использовали в качестве датчиков освещённости обычные транзисторы, спиливая крышки их корпусов. Обратите внимание, что в приведённой в вопросе схеме самодельный фототранзистор включён инверсно — его коллектор и эмиттер поменяли местами, что несколько увеличило его чувствительность к свету.

К сожалению, такие датчики недолговечны. Содержащийся в воздухе водяной пар и другие химически активные примеси постепенно разрушают тонкую структуру ничем не защищённого полупроводникового кристалла, и прибор становится неработоспособным.

16 ● **Ответ — 1.** ОУ DA1.1 в рассматриваемом случае служит компаратором напряжения с программно регулируемым порогом. Входное напряжение U_{ex} он сравнивает с образцовым, формируемым микроконтроллером с помощью ШИМ. Фильтр R2R3C1 подавляет импульсную составляющую образцового напряжения, выделяя постоянную, равную напряжению питания микроконтроллера 5 В, умноженному на коэффициент заполнения импульсов К и на коэффициент передачи делителя напряжения R2R3. Поскольку напряжение на любом из входов ОУ LM358N не должно превышать значения, на 1,5 В меньшего напряжения на плюсовом выводе питания ОУ, максимально допустимый коэффициент заполнения импульсов ШИМ равен:

$$K_{max} = \frac{5 - 1,5}{5} \cdot \frac{R2 + R3}{R3} \cdot 100 \% = 84 \%$$

ЛИТЕРАТУРА

1. Борисевич К. Помехоустойчивость КМОП-элементов. — Схемотехника, 2007, № 5, с. 16—18.
2. MAX9938 nanoPower, 4-Bump UCSP/SOT23, Precision Current-Sense Amplifier. — URL: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX9938.pdf> (23.04.20).
3. HIH-4000 Series Humidity Sensors. — URL: <https://sensing.honeywell.com/honeywell-sensing-hih4000-series-product-sheet-009017-5-en.pdf> (23.04.20).
4. Концевич А. Индикатор излучения СВЧ-печи. — Радио, 2003, № 3, с. 43.