



Рис. 3

BODLEVEL — 1
BODEN — 1
SUT1 — 1
SUT0 — 0

CKSEL3 — 0
CKSEL2 — 1
CKSEL1 — 0
CKSEL0 — 0

Ответы на викторину "Микроконтроллеры и интерфейс I²C"

("Радио", 2019, № 1, с. 60, 61)

С. РЮМИК, г. Чернигов, Украина

1. Ответ — 1. Согласно [1], для работы интерфейса I²C в режиме Fast Plus ток замыкания интерфейсной линии (SDA или SCL) на общий провод должен быть не менее 20 мА, иначе безошибочная передача информации со скоростью 1 Мбит/с не гарантирована. Этот ток зависит от сопротивления резисторов R1 и R2. При их номиналах, указанных на схеме, он равен 3,3 В/300 Ом = 11 мА, что для полного использования возможностей режима Fast Plus недостаточно. Однако этого с избытком хватит для работы в режиме Standard или Fast, где требуется всего 3 мА. Но следует иметь в виду, что адаптеры I²C, встроенные в некоторые микросхемы старых типов, ток больше 3 мА не выдержат.

2. Ответ — 1. Микросхема DA1 — сборка из двух аналоговых электронных переключателей, состоянием которых управляет сигнал с выхода Dxx микроконтроллера. При его низком уровне в микросхеме DA1 вывод 3 соединён с выводом 5, а вывод 9 — с выводом 7. При высоком уровне вывод 3 — с выводом 2, а вывод 9 — с выводом 10. Никакого повышения нагрузочной способности линий SDA и SCL микроконтроллера при этом не происходит. Он будет лишь временно отключён от других устройств, объединённых интерфейсом I²C.

3. Ответ — 1. Резисторы R1, R2 подавляют "звон" на перепадах импульсов SCL и SDA, возникающий при большой длине линий связи и приводящий к сбоям. Сопротивление этих резисторов выбирают в 10...50 раз меньшим, чем резисторов R3 и R4. В большинстве случаев устанавливать резисторы R1 и R2 не обязательно. Но если перепутать подготовленные к монтажу резисторы и установить резисторы меньшего сопротивления вместо резисторов большего сопротивления, то при передаче логического нуля левым по схеме устройством напряжение на соответствующем входе правого устройства останется соответствующим логической единице. А при передаче нуля правым устройством через открытый выходной транзистор последнего потечёт ток почти 100 мА, что небезопасно для транзистора. Интерфейс работать не будет.

4. Ответ — 0. Интерфейс I²C был разработан для организации информационной связи на небольшие расстояния внутри платы или блока. Если требуется передать интерфейсные сигналы на большее расстояние, используют кабель, как правило, с витыми парами проводов. Если свить провод SDA с проводом SCL, взаимные помехи, проникающие через ёмкость

между ними, могут нарушить связь. Если же свить один из этих проводов с проводом питания, а другой с общим проводом, то это увеличит, конечно, ёмкостную нагрузку на информационные линии, что может потребовать уменьшить скорость передачи, но послужит дополнительной защитой от помех.

На практике при передаче по I²C информации через сетевой кабель UTP категории 5 с низкой скоростью и с применением алгоритма коррекции ошибок удавалось достичь дальности связи 25...100 м [2].

5. Ответ — 0. В большинстве микроконтроллеров встроенный аппаратный адаптер интерфейса I²C имеется. Инициализировав его, можно побайтно отправлять и принимать информацию. Управление обменом происходит автоматически. Однако некоторые микроконтроллеры, в том числе ATtiny13, такого адаптера всё же не имеют. В этом случае можно формировать и принимать сигналы SCL и SDA программно, используя любые свободные линии портов микроконтроллера, в рассматриваемом случае линии — PB0 и PB1. Такой способ можно использовать и в случаях, когда выводы микроконтроллера, с которыми может работать встроенный в него аппаратный адаптер I²C, заняты другими задачами или требуется организовать дополнительный канал обмена информацией.

6. Ответ — 0. Иногда ведущему требуется по очереди обмениваться информацией с двумя ведомыми, имеющими одинаковые адреса. Для этого достаточно переключателем SA1 коммутировать между ними линию SDA, оставляя линию SCL подключённой к обоим. Резисторы R3 и R4 поддерживают на входе SDA отключённого устройства высокий уровень напряжения, что предотвращает

От редакции. Чертеж печатной платы в формате Sprint-Layout, программа микроконтроллера и hex-файл для его прошивки имеются по адресу <http://ftp.radio.ru/pub/2019/02/krest.zip> на нашем FTP-сервере.

ошибочный переход этого устройства в активное состояние.

7. Ответ — 1. Те, кто эксплуатирует • различного рода информационные сети, знают, что больше всего проблем доставляет "зависание" или "падение" сети. На шине I²C такое тоже случается. Например, если от ведомого устройства длительное время нет никакого ответа. Восстановить работоспособность помогает принудительный перевод ведомого в исходное состояние, который происходит путём кратковременного отключения его питания импульсом низкого логического уровня на выводе Dxx. Необходимую длительность отключения определяют экспериментально.

При таком питании ток, потребляемый ведомым устройством, не должен превышать допустимого для вывода микроконтроллера (обычно 20 мА). Исходя из этого, выбирают и сопротивление резистора R1.

8. Ответ — 0. В виде конденсаторов C1 и C2 на иллюстрирующей вопрос схеме изображены суммы входных ёмкостей всех подключённых устройств и паразитных ёмкостей монтажа на каждой линии интерфейса. В [1] приведена формула

$$C_{\text{max}} = \frac{t_f}{0.8473 \cdot R},$$

где C_{max} — максимальная ёмкость нагрузки линии интерфейса, пФ; t_f — допустимая длительность нарастающего перепада импульса, нс; R — сопротивление резистора, соединяющего линию с плюсом питания, кОм. При $t_f=1000$ нс и $R=4,7$ кОм расчёт даёт $C_{\text{max}}=251$ пФ. Следовательно, с ёмкостной нагрузкой 400 пФ гарантировать работу со скоростью 100 кбит/с нельзя.

9. Ответ — 0. Согласно [1], при • мене информацией по шине I²C в режимах Fast и Fast Plus необходима фильтрация коротких импульсных помех длительностью менее 50 нс. Это предотвращает сбои синхронизации. В режиме Standard, где скорость передачи ниже, необходимости в фильтрах нет.

В рекомендации [3] рассмотрены аналоговые и цифровые фильтры коротких помех. Можно, например, использовать цифровые фильтры, имеющиеся на входах микроконтроллеров (например, Spike Suppression в некоторых микроконтроллерах семейства Atmega). Если их нет, рекомендовано вводить в линию SDA аналоговый ФНЧ C1R4, как показано на сопровож-

дающем вопросе рисунке. Резисторы R1 и R2 — "антизвонные". При напряжении питания 3,3 В элементы фильтра выбирают согласно таблице. Такие фильтры устанавливают не только у ведущего, но и у ведомых, причём как на линии SDA так и на линии SCL [3].

10. Ответ — 0. Передача информации по линии SDA может идти в двух направлениях. Светодиод HL1 будет включаться каждый раз при логически низком уровне напряжения на ней независимо от того, каким из подключённых к шине I²C устройств он установлен. Следовательно, независимо от направления передачи. Резистор R3 снижает дополнительную нагрузку на линию. Конденсатор C1 сглаживает пульсации яркости свечения светодиода HL1.

11. Ответ — 1. Если устройства • подключены к шине I²C длинными кабелями, не исключены наводки на провода этих кабелей статического электричества и электромагнитных, в том числе импульсных помех, напряжение которых может достигать опасных значений. Для защиты от опасных наводок обычно применяют диоды-супрессоры VD1 и VD2. Вместе с резисторами R3, R4 они эффективно ограничивают наводки до безопасного уровня. Чтобы максимальная скорость передачи информации не снижалась, собственная ёмкость супрессоров должна быть малой.

12. Ответ — 1. LC-фильтр в цепи • питания устраняет искажения формы сигналов SCL и SDA помехами, проникающими из этой цепи [3]. В рассматриваемом случае он образован надетой на провод ферритовой "бусиной" L1 BLM31B601S и двумя конденсаторами C1 и C2. Конденсатор C2 большой ёмкости имеет большие по сравнению с конденсатором C1 паразитные параметры — индуктивность выводов и ЭПС. Поэтому он плохо подавляет высокочастотные составляющие помех. Конденсатор C1, практически не влияя на низкочастотные помехи, улучшает подавление высокочастотных.

13. Ответ — 0. Полевые транзисторы VT1 и VT2 служат преобразователями уровней сигналов на линиях SCL и SDA с 5 В в 3,3 В и обратно в соответствии с напряжением питания устройств, которые связаны этими линиями. Если понизить до 1,8 В напряжение питания устройства, находящегося на схеме справа, то оно, если рассчитано на такое напряжение, продолжит работать. А вот многие экземпляры транзисторов VT1 и VT2 (2N7002) открываться перестанут, поскольку типовое значение порогового напряжения затвор—исток таких транзисторов, согласно [4], — 2 В при температуре 25 °С. Для гарантированной работы

интерфейса в этих условиях следует подобрать полевые транзисторы с меньшим пороговым напряжением.

14. Ответ — 0. Ведомые устрой- • ства интерфейса I²C (например, датчики) нередко подключают к ведущему через разъём. Это позволяет присоединять их лишь по мере надобности и отсоединять для проверки или ремонта. Оставлять никогда не присоединёнными выводы SCL и SDA отключённого от шины I²C устройства не рекомендуется. В таком состоянии они чувствительны к наводкам, способным вызвать ложный старт ведомого устройства и даже привести к сбою программы его микроконтроллера. Поэтому в каждом из соединяемых через разъёмы устройств устанавливают нагрузочные резисторы, следя за тем, чтобы их общее сопротивление не стало меньше допустимого. Такое решение применено, например, в игровом джойстике Wii Nunchuck, имеющем кабель длиной 1,2 м [5].

Следует заметить, что напряжения $U_{\text{пит1}}$ и $U_{\text{пит2}}$ в соединяемых устройствах должны быть одинаковыми. Предусмотрев в разъёме X1 ещё одну пару контактов, можно подавать эти напряжения от общего источника.

15. Ответ — 1. Микроконтрол- • леры широкого применения обычно имеют от одного до четырёх встроенных аппаратных адаптеров I²C. Если этого недостаточно, создают дополнительные программные драйверы. Для каждой из шин I²C требуются свои нагрузочные резисторы. Их сопротивление выбирают в зависимости от скорости передачи информации по каждой шине и ёмкости нагрузки её линий. Поэтому резисторы могут иметь разное сопротивление.

ЛИТЕРАТУРА

1. UM10204. I²C-bus specification and user manual. Rev. 6 — 4 April 2014. — URL: <https://www.nxp.com/docs/en/user-guide/UM10204.pdf> (03.10.2018).
2. Maximum I²C Bus Length? — URL: <https://electronics.stackexchange.com/questions/106265/maximum-i2c-bus-length> (03.10.2018).
3. Improving Noise Immunity for Serial Interface. — URL: https://www.latticesemi.com/media/LatticeSemi/Documents/WhitePapers/HM/ImprovingNoiseImmunityforSerialInterface.ashx?document_id=50728 (03.10.2018).
4. 2N7002 60 V, 300 mA N-channel Trench MOSFET. — URL: <https://assets.nexperia.com/documents/data-sheet/2N7002.pdf> (03.10.2018).
5. Wii Nunchuk Interface. — URL: <https://bootlin.com/labs/doc/nunchuk.pdf> (03.10.2018).

R3, R5, кОм	R1, R2, Ом	R4, Ом	C1, пФ
1,8	51	130	180
2,0	51	150	150
2,2	56	160	150
2,4	62	180	130