

# Ответы на викторину

## "Тактирование микроконтроллеров"

("Радио", 2018, № 6, с. 62, 63)

С. РЮМИК, г. Чернигов, Украина

**1** Ответ — 1. Наиболее распространённая схема внутреннего устройства тактового генератора микроконтроллера с внешним кварцевым резонатором изображена на рис. 1. Подобную схему можно найти в [1]. Транзисторы VT1 и VT2 образуют двухтактный инвертирующий усилитель, охваченный отрицательной обратной связью через резистор  $R_{oc}$ . Кварцевый резонатор включён между его выходом и входом. Здесь он представлен эквивалентным последовательным колебательным контуром  $L_3C_3$  и сопротивлением потерь  $R_{пот}$ . Паразитная ёмкость,

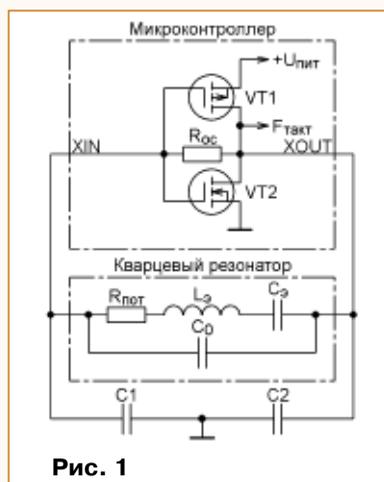


Рис. 1

параллельная резонатору, в том числе и ёмкость его держателя представлены конденсатором  $C_0$ . Конденсаторы C1 и C2 образуют делитель напряжения, действующего между электродами резонатора. Причём напряжение, поступающее с конденсатора C1 на вход усилителя, противофазно напряжению, поступающему на конденсатор C2 с выхода усилителя. Таким образом, обратная связь через своеобразный П-контур, образованный кварцевым резонатором и конденсаторами C1 и C2, положительная. Благодаря ей генератор самовозбуждается на частоте, близкой к частоте последовательного резонанса кварцевого кристалла. Такой генератор — разновидность ёмкостной трёхточки.

**2** Ответ — 1. Назначение резистора R1 — облегчить самовозбуждение

кварцевого генератора, выведя рабочую точку усилителя на линейный участок передаточной характеристики. Его устанавливают в тех случаях, когда внутренний резистор  $R_{oc}$  (рис. 1) в микроконтроллере отсутствует. Причина отсутствия внутреннего резистора чаще всего в том, что для того чтобы не шунтировать резонатор (особенно низкочастотный), его сопротивление должно быть очень большим. А высокоомные резисторы занимают на кристалле микросхемы слишком много места. О необходимости установки резистора R1 и его рекомендованном сопротивлении обычно сказано в документации на микроконтроллер конкретного типа.

**3** Ответ — 0. Резистор R1 уменьшает напряжение, поступающее с выхода XOUT на кварцевый резонатор, и этим уменьшает рассеиваемую на резонаторе мощность. Это становится всё более актуальным в связи с миниатюризацией резонаторов. Для многих из них даже напряжение с размахом 5 В избыточно. Иногда последовательный резистор R1 выполняет ещё одну функцию. Он предотвращает возбуждение генератора на частотах паразитных резонансов кварцевого кристалла.

**4** Ответ — 1. Сопротивление резистора R2 обычно во много раз меньше сопротивления резистора R1. Поэтому, если случайно поменять их местами, усилитель, на основе которого построен генератор, будет охвачен сильной отрицательной обратной связью, а положительная обратная связь через кварцевый резонатор будет чрезвычайно ослаблена высокоомным резистором. Генератор работать не будет.

**5** Ответ — 0. На тактовую частоту микроконтроллера влияют параметры кварцевого резонатора ZQ1, ёмкость конденсаторов C2, C3, монтажа и выводов микроконтроллера. Учесть заранее их возможный разброс очень сложно. Поэтому, если требуется установить тактовую частоту с максимальной точностью, предусматривают её плавную подстройку конденсатором C1. На скважность генерируемых импульсов этот конденсатор практически не влияет, да она и не имеет никакого значения, так как для микроконтрол-

лера важен период повторения тактовых импульсов, а не их длительность.

**6. Ответ — 1.** Хотя кварцевый резонатор ABS25 имеет не два, а четыре вывода, внутри него конденсаторов нет [2]. Выводы 2 и 3 предназначены лишь для более надёжного крепления резонатора на печатной плате. Внутри корпуса они соединены перемычкой.

Тактовый генератор микроконтроллера серии ATmega162 имеет внутренние конденсаторы ёмкостью 10 пФ и может быть сконфигурирован так, чтобы эти конденсаторы были подключены к выводам XTAL1 и XTAL2 или отключены от них. Оптимальная для резонатора ABS25 ёмкость конденсаторов — 12,5 пФ, что достаточно близко к ёмкости внутренних конденсаторов микроконтроллера.

**7. Ответ — 1.** Трёхвыводной керамический резонатор CTSE имеет внутри два конденсатора ёмкостью по 15 пФ, один из них подключён между выводами 1 и 2, а второй — между выводами 2 и 3. В большинстве случаев дополнительных внешних конденсаторов не требуется.

**8. Ответ — 1.** Конденсатор C1 и резисторы R1, R2 образуют частотодающую цепь встроенного в микроконтроллер тактового RC-генератора. Преимущества такого генератора — простота, дешевизна и возможность перестройки частоты в широких пределах. Генерируемая частота зависит от постоянной времени внешней RC-цепи и тем выше, чем эта постоянная меньше. Поэтому с уменьшением введённого сопротивления подстроечного резистора R2 тактовая частота растёт. К сожалению, стабильность частоты у RC-генератора значительно хуже, чем у стабилизированного кварцем.

**9. Ответ — 0.** Известно, что кварцевые резонаторы способны возбуждаться не только на основной частоте механического резонанса кристалла, но и на её нечётных гармониках. Это свойство позволяет создавать высокочастотные стабилизированные кварцем генераторы, поскольку геометрические размеры кварцев, работающих на основной (первой) гармонике, на этих частотах становятся слишком маленькими, они сложны в изготовлении и недостаточно прочны.

В специальных "гармониковых" резонаторах конструктивными мерами основной резонанс частично подавлен. Однако условия возбуждения кварца на первой гармонике зачастую остаются достаточными для генерации, и если не принять специальных схемных мер, то на ней он и возбуждается. Одна из таких мер — подключить последовательный колебательный контур L1C1, настроенный на первую гармонику, параллельно входу генераторной секции

микроконтроллера. Сопротивление такого контура на частоте его резонанса (в данном случае 16 МГц) очень мало. Поэтому для сигнала этой частоты он шунтирует вход XIN. Возбуждению генератора на второй большей частоте (48 МГц) такой контур не препятствует.

**10. Ответ — 1.** Панель XS1 предназначена для сменного кварцевого резонатора. Желательно, чтобы её контакты были цанговыми, что обеспечит надёжный контакт и прочное удержание резонатора. Такое решение применяют на многих отладочных платах, что позволяет отлаживать с их помощью программы микроконтроллеров, рассчитанные на разную тактовую частоту. Наличие панели позволяет также оперативно проверить работоспособность кварцевых резонаторов, подключая их к заведомо исправному микроконтроллеру.

**11. Ответ — 1.** Замыкание контактов выключателя SA1 приводит к шунтированию входа XIN резистором R1 небольшого сопротивления. Это нарушает условия самовозбуждения генератора, поэтому работа микроконтроллера прекращается.

**12. Ответ — 1.** Конденсаторы C1, C2 обычно подключают к общему проводу микроконтроллера и всего устройства. Но по этому проводу течёт множество импульсных токов, которые могут создавать помехи работе генератора и даже "сбивать" его с ритма, нарушая работу узлов микроконтроллера. В некоторых микроконтроллерах (например, серии TMS570 [3]) для борьбы с этими помехами предусмотрен специальный вывод для подключения общего провода конденсаторов C1 и C2, который ведёт по кратчайшему пути. Никакие посторонние токи по этому проводу течь не



Рис. 2

должны. Поэтому соединять с упомянутым выводом что-либо, кроме конденсаторов C1 и C2, запрещено. Возможный вариант трассировки печатных проводников показан на рис. 2. В отсутствие специального вывода общий провод конденсаторов генератора должен соединяться с общим проводом всего устройства только в одной точке — на ближайшем выводе минуса питания микроконтроллера.

**13. Ответ — 0.** При низком логическом уровне сигнала OSC левый по схеме транзистор сборки VT1 закрыт, и генератор работает как обычно. Если же уровень этого сигнала высокий, транзистор будет открыт, а вход XIN микроконтроллера зашунти-

рован им. В результате генерация прекратится. Ёмкость коллектор—эмиттер постоянно закрытого правого транзистора сборки равна такой же ёмкости левого транзистора, что компенсирует её влияние на параметры генератора.

**14. Ответ — 1.** Кварцевый резонатор NX2520SG оснащён встроенным терморезистором с отрицательным ТКЕ [4]. Термистор находится на общей подложке с кварцевым кристаллом в общем герметичном корпусе. Это позволяет точно измерять температуру кристалла, чтобы иметь возможность учесть влияние её изменений на результаты работы микроконтроллера. Например, при точных измерениях частоты и времени. Терморезистор образует с резистором R1 делитель напряжения, с выхода которого зависящее от температуры резонатора напряжение поступает на вход ADC (АЦП) микроконтроллера, оцифровывается им и тем или иным способом используется в программе.

**15. Ответ — 0.** При перемещении движка переменного резистора R1 снизу вверх (по схеме) напряжение на варикапах VD1 и VD2 увеличивается от 0 до 5 В. Ёмкость варикапов 1SV101 при этом уменьшается приблизительно с 45 до 20 пФ [5]. Поскольку варикапы соединены последовательно с конденсаторами C1 и C3, уменьшается и суммарная ёмкость, присоединённая к кварцевому резонатору, а частота генерации увеличивается.

**16. Ответ — 1.** Резистор R1 служит для подавления "звона" на перепадах импульсов, поступающих от кварцевого генератора G1 на вход XIN микроконтроллера. Это стандартный приём демпфирования при подаче коротких импульсов на несогласованную нагрузку. Сопротивление резистора R1 выбирают в пределах 30...100 Ом. Снижение амплитуды тактового сигнала под влиянием этого резистора практически незаметно ввиду большого входного сопротивления входа XIN микроконтроллера.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. AN96103. X-tal oscillators on 8-bit microcontrollers. — URL: [http://www.elenota.pl/datasheet\\_download/154051/Application-Note](http://www.elenota.pl/datasheet_download/154051/Application-Note) (21.03.2018).
2. 32768 kHz Low Frequency SMD Crystal ABS25. — URL: <http://www.abracon.com/Resonators/abs25.pdf> (21.03.2018).
3. TMS570LS0714 16- and 32-Bit RISC Flash. — URL: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tms570ls0714.pdf> (21.03.2018).
4. Crystal Unit with built-in Thermistor NX2520SG (for Mobile Communications). — URL: [http://www.ndk.com/en/products/search/crystal/1190101\\_1494.html](http://www.ndk.com/en/products/search/crystal/1190101_1494.html) (21.03.2018).
5. Кремниевый эпитаксиальный плоскостной диод переменной ёмкости 1SV101. — URL: <http://wakamatsu.co.jp/waka/1SV101.pdf> (21.03.2018).