

Разработка цифрового устройства на примере электронных часов

Расов Д.Д.
ГПОУ «СЦБТ»

Разработка принципиальной схемы часов

При разработке принципиальной схемы чрезвычайно важен выбор серии микросхем, на основе которой будет реализована эта схема. Для часов самым важным параметром является ток, потребляемый ими, т. к. в большинстве случаев или все часы, или часть схемы часов питается от элементов питания. Поэтому при разработке схемы будем выбирать микросхемы, реализованные по КМОП-технологии.

Разработка схемы генератора эталонных интервалов времени

Разработку схемы часов начнем с кварцевого генератора. Как уже обсуждалось при разработке структурной схемы, в составе генератора будет применен часовой кварцевый резонатор. Для уменьшения стоимости всего устройства в целом применим простейшую схему генератора — емкостную трехточку, а т. к. генератор предназначен для синхронизации цифрового устройства, то генератор выполним на логическом инверторе. Принципиальная схема такого кварцевого генератора приведена на рис. 10.8.



Рис. 10.8. Схема кварцевого генератора, выполненная на логическом инверторе

В качестве микросхемы, содержащей инверторы, выберем микросхему SN74LVC2G04DRLR. В этой микросхеме, построенной по КМОП-технологии, содержится два инвертора. О том, что в микросхеме содержится два элемента, говорит обозначение 2G. То, что это инверторы, обозначается цифрой 04, а то, что в микросхеме использован корпус с шагом выводов 0,5 мм — буквы DRL. Размеры корпуса этой микросхемы не превышают $1,6 \times 1,6$ мм (у корпуса всего шесть выводов). Микросхема способна работать в диапазоне напряжений от 1,5 до 5,5 В.

Напомним, что резистор R1 в схеме, приведенной на рис. 10.6, предназначен для автоматического запуска генератора при включении питания. С точки зрения запуска генератора при включении питания стоит выбирать этот резистор не слишком большого номинала.

Этот же элемент определяет коэффициент усиления инвертора, и чем больше будет этот коэффициент усиления, тем более прямоугольные колебания будут формироваться на его выходе, а это, в свою очередь, приведет к снижению тока, потребляемого кварцевым генератором. С этой точки зрения желательно увеличивать номинал резистора R1.

Рассчитаем мощность, потребляемую логическим элементом на частоте 32 768 Гц. Для этого воспользуемся формулой, приведенной в [15]. Номинал внутренней динамической емкости для микросхемы SN74LVC2G04DRLR равен $C_{pd} = 14$ пФ. Тогда:

$$P_T = C_{pd} \times V_{CC}^2 \times f \times N_{SW} = 14 \times 10^{-12} \times 3,3^2 \times 32768 \times 1 = 5 \text{ мкВт}$$

Ему соответствует ток потребления микросхемы, равный:

$$I_{CC} = \frac{P_T}{V_{CC}} = \frac{5}{3,3} = 1,5 \text{ мкА}$$

Выберем ток, потребляемый цепью смещения, в пять раз меньше. Тогда по закону Ома сопротивление резистора R1 получится равным:

$$I_L = \frac{I_{CC}}{5} = \frac{1,5 \text{ мкА}}{5} = 0,3 \text{ мкА}$$

$$R1 = \frac{V_{CC}}{I_L} = \frac{3,3 \text{ В}}{0,3 \text{ мкА}} = 10 \text{ МОм}$$

Это очень большое значение номинала резистора, поэтому следует позаботиться о конструктивном исполнении устройства. При неправильной конструкции или технологии изготовления устройства сопротивление поверхности печатной платы может оказаться меньше номинала резистора, и в результате схема генератора будет потреблять ток, намного превышающий расчетное значение. Это может привести к необходимости применения элементов питания слишком большой емкости, а значит, к увеличению габаритов и массы всего устройства в целом.

Номинал емкости конденсаторов $C1$ и $C2$ определяется величиной паразитных емкостей схемы. Выберем конденсаторы с емкостью 20 пФ. Такой номинал емкостей позволяет уменьшить влияние емкостей печатной платы и входной емкости инвертора на коэффициент обратной связи генератора. Кроме того, этот номинал соответствует рекомендуемому производителями кварцевых резонаторов значению емкости нагрузки.

Равное значение емкостей этих конденсаторов позволяет обеспечить коэффициент передачи колебательной системы, построенной на кварцевом резонаторе $Z1$ и конденсаторах $C1$ и $C2$, равный 0,5.

Резистор R2 предназначен для предотвращения самовозбуждения генератора на частоте, определяемой емкостью кварцедержателя. В [16] сопротивление резистора R2 рекомендуется выбирать равным импедансу конденсатора C2. Рассчитаем это значение:

$$X_C = \frac{1}{j\omega C} = \frac{1}{2 \times 3,14 \times 32768 \times 20 \times 10^{-12}} = 243 \text{ кОм}$$

При таком номинале коэффициент обратной связи будет равным 0,5. Учитывая коэффициент передачи схемы на кварцевом резонаторе, общий коэффициент обратной связи будет равным 0,25. Для увеличения этого коэффициента передачи для более стабильного запуска генератора увеличим номинал резистора вдвое по сравнению с рассчитанным значением. Это, кроме того, приведет к более прямоугольной форме колебаний на выходе генератора, а значит, к меньшему току потребления схемы в целом. Выберем номинал резистора R2 равный 510 кОм.

Второй инвертор в схеме генератора предназначен для уменьшения длительности фронтов формируемого прямоугольного колебания. Это необходимо для уменьшения влияния последующей схемы на стабильность колебаний задающего генератора, а также для более надежной работы цифровых счетчиков делителя частоты.

Следующей реализуем схему делителя частоты опорного колебания до значения 1 Гц. Как это мы уже определили при разработке структурной схемы, его коэффициент деления должен быть равен 32 768. То есть для реализации делителя потребуется 15 счетных триггеров. Конечно, можно взять микросхему K176IE12, специально разработанную для применения в часах, но мы не ищем простых путей, поэтому используем универсальную микросхему SN74HC393PW. В ней есть два независимых четырехразрядных двоичных счетчика. Это означает, что для реализации нашего делителя будет достаточно всего двух микросхем.

Размеры корпуса выбранной микросхемы не превышают $5 \times 6,4$ мм. У корпуса этой микросхемы имеется 14 выводов. По сравнению с микросхемой К176ИЕ12 по занимаемым габаритам мы получили значительный выигрыш. Если к габаритам часов нет особых требований, то можно использовать и отечественную микросхему К1564ИЕ19. Ее корпус больше корпуса выбранной нами микросхемы более чем в два раза. Тем не менее, при такой замене микросхем будут совпадать даже номера выводов корпусов. Полученная в результате приведенных выше рассуждений принципиальная схема генератора секундных импульсов представлена на рис. 10.9.

Теперь вспомним, что в генераторе временных интервалов необходим еще один делитель частоты. Период импульсов на его выходе будет равен 1 минуте. Делитель на шестьдесят можно реализовать на точно такой же микросхеме SN74НС393PW, что мы использовали и ранее для построения делителя на 32 768.

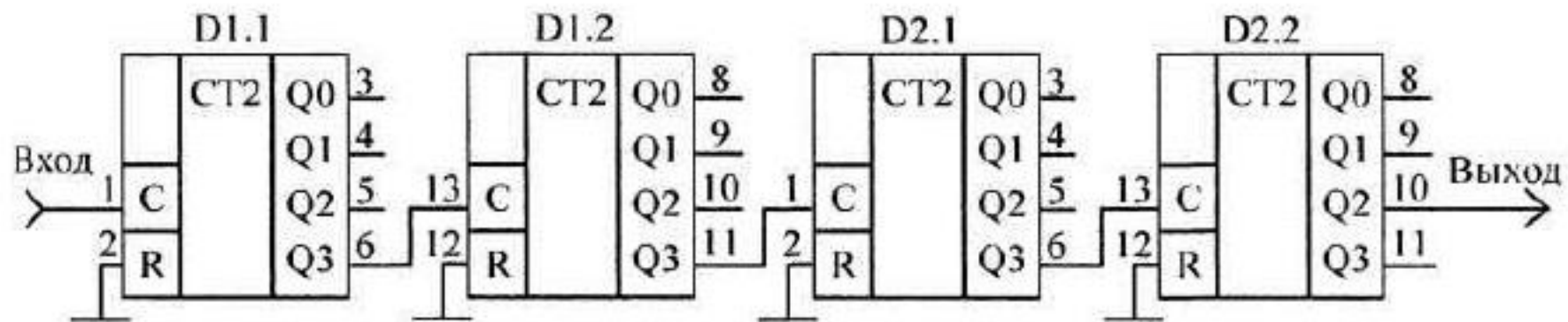


Рис. 10.9. Схема делителя на 32768

Коэффициент деления делителя на шестьдесят не кратен степени числа два, поэтому для его реализации потребуются обратная связь. Для упрощения схемы обратим внимание, что число 60 разбивается на числа 10 и 6. И то и другое число в двоичном представлении содержат только две единицы ($10_{10} = 1010_2$, $6_{10} = 0110_2$). Выводы 4-разрядных счетчиков выходят на разные стороны корпуса микросхемы. Поэтому будет удобно использовать два независимых логических элемента "2И" малой логики. Это позволит значительно упростить разводку печатной платы и сократить длину соединительных проводов, тем самым, уменьшив площадь печатной платы и возможные помехи от работающей схемы.

В качестве логических элементов "2И" используем две микросхемы SN74LVC1G08DRLR. То, что в микросхеме содержится только один логический элемент, мы определяем по символам 1G, а то, что это логический элемент "2И" — по цифрам 08. Размеры корпуса выбранной микросхемы не превышают $1,6 \times 1,6$ мм (при условии, что в названии микросхемы присутствуют буквы DRL).

Отечественные варианты подобной микросхемы, например К1554ЛИ1, содержат в одном корпусе сразу по четыре логических элемента, расстояние между выводами составляет минимум 1,25 мм. В результате схема, собранная на таких микросхемах, будет идентична по электрическим параметрам, но проиграет по размерам.

Полученная принципиальная схема делителя частоты на 60 приведена на рис. 10.10. Эта схема вырабатывает импульсы с периодом 1 мин и состоит из последовательно включенных делителей на 10 и на 6. Схема делителя на 60 реализована всего на трех микросхемах. Использование обратной связи с выводов Q1 и Q3 превращает двоичный счетчик D1.1 в десятичный, а применение обратной связи с выводов Q1 и Q2 микросхемы D1.2 реализует счетчик по модулю 6.

Итак, мы закончили разработку генератора минутных импульсов. Всего нам потребовалось шесть микросхем, при этом три из них относятся к микросхемам малой логики и занимают минимум места на печатной плате цифрового устройства.

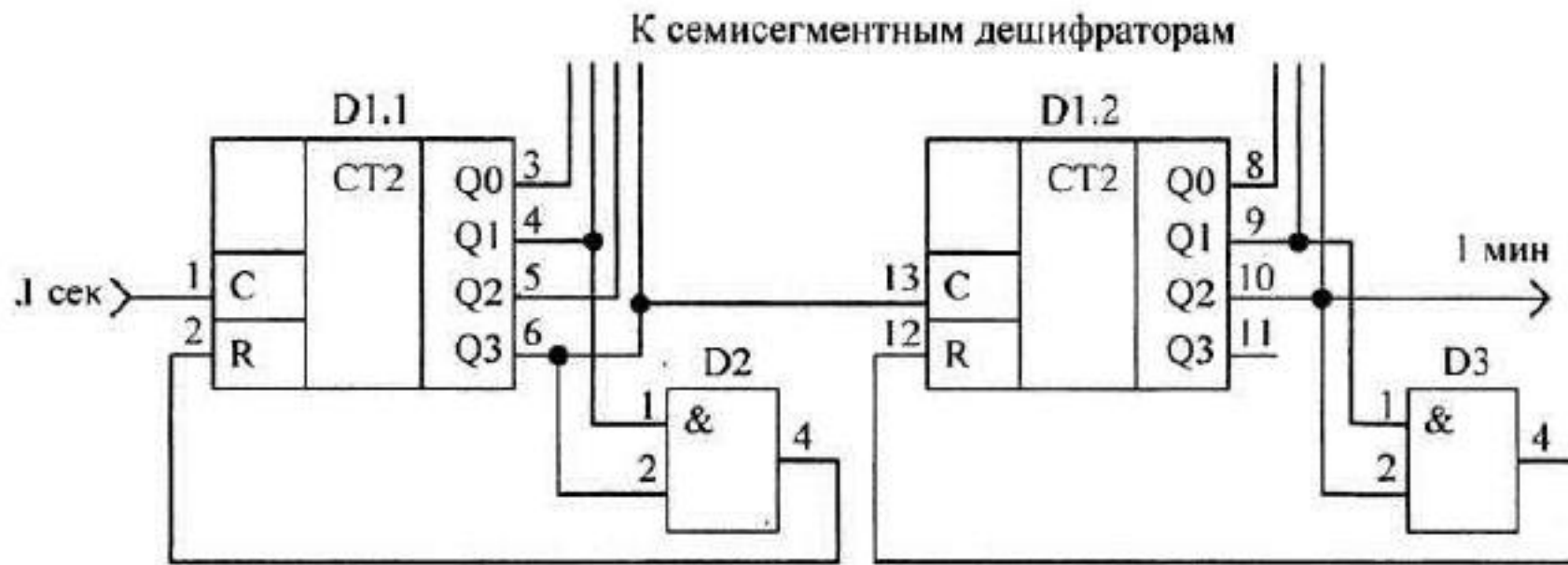


Рис. 10.10. Принципиальная схема делителя на 60 генератора минутных импульсов