

Разработка цифрового устройства на примере электронных часов

Расов Д.Д.
ГПОУ «СЦБТ»

Проектирование любого устройства начинается с анализа технического задания. В зависимости от предъявляемых требований для реализации устройства может потребоваться различная элементная база. В ряде случаев подходят готовые микросхемы, ведь обычно решаются однотипные задачи с небольшими изменениями параметров. Иногда, особенно при решении новых уникальных задач, приходится использовать универсальные микросхемы.

В данном случае это действительно распространенная задача и поэтому имеется огромное количество готовых микросхем, выполняющих функции электронных часов. Однако мы собираемся использовать часы как один из примеров разработки цифрового устройства, поэтому не будем пользоваться готовыми микросхемами электронных часов.

Разработка часов, как и любого другого устройства, как аналогового, так и цифрового, начинается с разработки структурной схемы. Это позволяет сократить время разработки всего устройства в целом, за счет исключения системных ошибок на этапе проработки связей между блоками.

Разработка структурной схемы часов

Проанализируем, как должно работать разрабатываемое устройство. Часы обязательно должны содержать устройство измерения времени, которое в свою очередь всегда состоит из генератора эталонных интервалов времени и счетчика этих интервалов. Структурная схема устройства измерения времени приведена на рис. 10.1.

В качестве генератора эталонных импульсов в разное время использовали различные устройства. Это и вытекание воды или песка из какой-либо емкости, и движение тени от солнца по циферблату, и даже горение нити в огненных китайских часах.



Для реализации часов в простейшем случае генератор импульсов эталонной длительности должен вырабатывать минутные импульсы, однако реализовать стабильный генератор такой длительности достаточно сложно. Даже в механических часах в качестве генератора импульсов эталонной длительности используется маятник с периодом колебаний от одной до нескольких секунд.

При использовании цифровых КМОП-микросхем можно реализовать такой генератор. Для этого потребуется RC-генератор, описанный в предыдущей части книги. Если использовать в качестве времязадающей цепочки резистор номиналом 1 МОм и конденсатор емкостью 30 мкФ, то мы реализуем период повторения импульсов 1 мин. Однако стабильность такого генератора будет невысока, т. к. на сопротивление резистора будет влиять сопротивление печатной платы, а оно в свою очередь будет зависеть от влажности воздуха.

Особенно нестабильными в этой схеме будут конденсаторы, т. к. номиналы большой емкости доступны только при применении электролитических конденсаторов, а производители допускают разброс их параметров до +500, -200%. Как вам понравятся часы, которые вместо одной минуты будут отсчитывать три?

В качестве генератора эталонных импульсов мог бы подойти кварцевый генератор, т. к. этот тип генераторов, как это мы уже обсуждали в предыдущих главах, обладает высокой стабильностью колебаний. Однако кварцевые генераторы вырабатывают колебания в диапазоне частот от 1 до 30 МГц. Это соответствует временным интервалам от 0,03 до 1 мкс.

Тем не менее, если к выходу кварцевого генератора подключить цифровой делитель частоты, то на его выходе можно получить импульсы с периодом повторения 1 минута. Так как цифровой делитель частоты достаточно легко реализовать, и он дешев, то именно это решение обычно используется в электронных часах в качестве генератора импульсов эталонной длительности.

Выберем рабочую частоту кварцевого генератора. В составе генератора можно применить кварцевый резонатор с частотой 32 768 Гц. Этот резонатор специально разрабатывался для применения в часах, поэтому частота его резонанса кратна степени двойки ($2^{15} = 32\,768$). Здесь мы не будем усложнять себе задачу, и используем именно этот резонатор. В результате выбора такого номинала тактовой частоты в составе генератора минутных импульсов можно применить простейшую схему двоичного делителя.

В этом месте хотелось бы отметить, какая грандиозная задача была решена разработчиками кварцевых кристаллов. Дело в том, что если посчитать длину акустической волны в кварце, то кварцевый резонатор с частотой 32 768 Гц получился бы впечатляющих размеров. Толщину кристалла кварца можно определить по общеизвестной формуле для длины волны. Как известно, скорость распространения звуковой волны в кристалле кварца равна 5570 м/с, тогда длина волны будет равна:

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{5570}{32768} = 17 \text{ см},$$

где v — скорость звука в кристалле кварца;

f — резонансная частота.

То есть толщина кварцевого резонатора должна быть как минимум равна половине длины волны — 8,5 см. Длина кварцевого кристалла резонатора при этом должна быть, по крайней мере, в пять раз больше. Казалось бы, это неразрешимая проблема для малогабаритных и дешевых устройств, однако разработчики кварцевых резонаторов сумели решить ее.

Первым решением проблемы является то, что низкочастотные кварцевые резонаторы изготавливаются с использованием не объемных, а поверхностных волн. Точнее, крутильных колебаний. В результате в резонаторе используется не его толщина, а длина. Скорость распространения волны по поверхности кварца значительно ниже скорости распространения волны в его объеме и равна 3515 м/с. Однако даже в этом случае размеры кварцевого резонатора получаются значительными:

$$L = \frac{v}{f} = \frac{3515}{32768} = 10,7 \text{ см},$$

где v — скорость звука в кристалле кварца;

f — резонансная частота.

Решением проблемы оказалась разработка кварцевого резонатора, реализованного по принципу камертона. В таком резонаторе возбуждаются не объемные колебания, а колебания двух параллельно расположенных стержней, как это показано на рис. 10.2.

В такой конструкции частота резонанса уже не зависит от скорости распространения звуковой волны в кристалле. Она определяется упругостью кварца, длиной и толщиной зубьев получившейся вилки камертона. В то же самое время стабильность колебаний камертона при определенном угле среза относительно кристаллографических осей получается почти та же, что и у обычных кварцевых резонаторов. Угол среза кристалла для часовых резонаторов отличается от угла среза кристалла для радиотехнических резонаторов. В результате температурная зависимость частоты часового резонатора отличается от температурной зависимости радиотехнического резонатора. Она является параболической. Ориентация камертона часового кварцевого резонатора относительно кристаллографических осей кварцевого кристалла приведена на рис. 10.3, а внешний вид и кристаллографические оси кварцевого кристалла — на рис. 10.4.

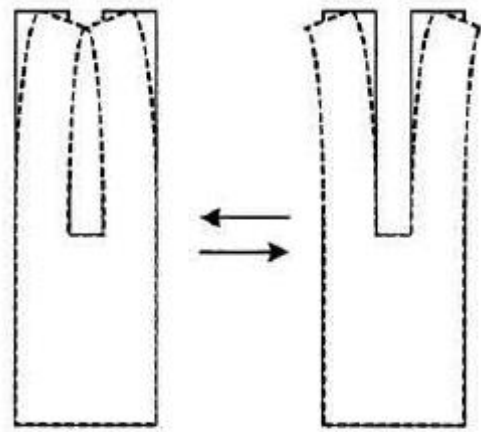


Рис. 10.2. Кристалл часового кварцевого резонатора в режиме колебаний камертона

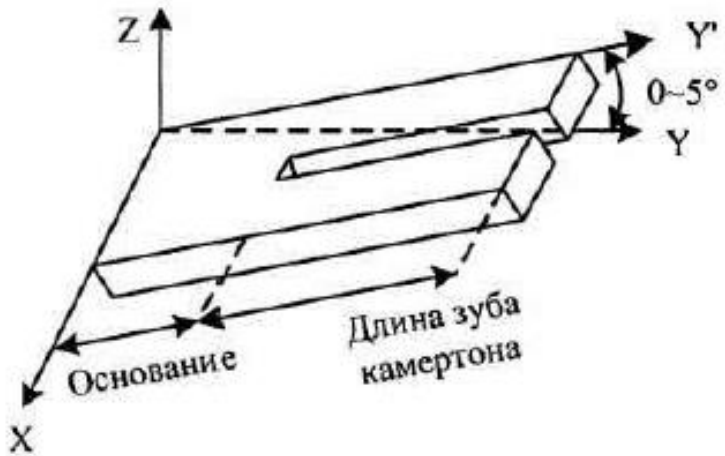


Рис. 10.3. Кристаллографическая ориентация камертона

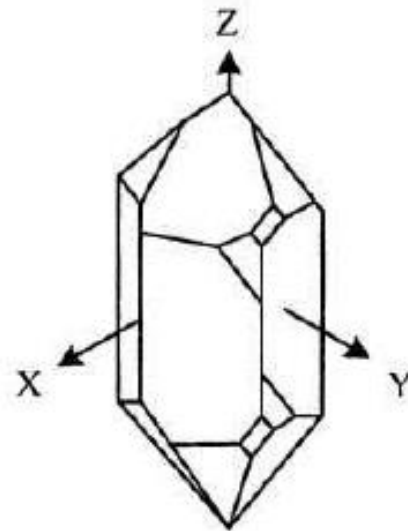


Рис. 10.4. Внешний вид и кристаллографические оси кварцевого кристалла

Естественно, что стоимость разработки часового кварцевого резонатора была огромнейшей. Однако и количество таких резонаторов, ежегодно потребляемых часовой промышленностью, тоже огромно. В результате стоимость часовых кварцевых резонаторов оказалась минимальной из всех представленных на рынке на данный момент кварцевых резонаторов. Благодаря своей распространенности, малой цене, габаритам и малой рабочей частоте, часовые кварцевые резонаторы начинают применяться практически во всех цифровых устройствах, т. к. при помощи делителей и умножителей частоты мы можем получить любую нужную нам тактовую частоту.

Для решения поставленной перед нами задачи полезными свойствами часового кварцевого резонатора является малая цена, габариты, кратность частоты одному герцу и относительно низкая частота резонанса примененного в нем кристалла. Последнее свойство определяет частоту выходного колебания задающего генератора и, как следствие, малое значение тока потребления этим генератором от источника питания.

Итак, для формирования секундных импульсов (частота 1 Гц) потребуется делитель частоты с коэффициентом деления равным 32 768. Для формирования из секундных импульсов минутных потребуется еще один делитель частоты. Так как в минуте содержится 60 секунд, то его коэффициент деления тоже будет равен 60. Уточненная структурная схема разрабатываемого цифрового устройства приведена на рис. 10.5.



Теперь займемся структурной схемой второго блока часов — счетчика интервалов времени. Он будет состоять из счетчика минут и счетчика часов. Мы знаем, что счетчик минут должен работать по основанию 60. В то же самое время мы привыкли воспринимать числа в десятичной системе счисления. Поэтому будет удобно разбить счетчик минут на два счетчика: на десятичный счетчик и счетчик, считающий до шести.

Счетчик часов можно выполнить по основанию 12 и по основанию 24. И то и другое решение, по традиции, допустимо при отображении показаний часов. Пусть в нашем устройстве счетчик часов будет считать до 24-х. При этом, для упрощения схемы отображения информации, так же как и в счетчике минут, реализуем его на двух десятичных счетчиках.

Следующий блок, который обязательно должен входить в состав часов, — это устройство индикации. Ведь никого не устроят часы, которые будут точно отсчитывать время, но при этом мы не сможем увидеть результат!

Выберем в качестве устройства отображения времени светодиодные семи-
сегментные индикаторы. В этом случае мы получим устройство, способное
работать при отрицательной температуре окружающего воздуха и обладаю-
щее наиболее простой схемой.

Для преобразования кода, в котором работает счетчик минутных импульсов,
в семисегментный код нам потребуется дешифратор. В результате блок ин-
дикации будет состоять из семисегментных дешифраторов и светодиодных
индикаторов. Получившаяся структурная схема электронных часов приведе-
на на рис. 10.6.

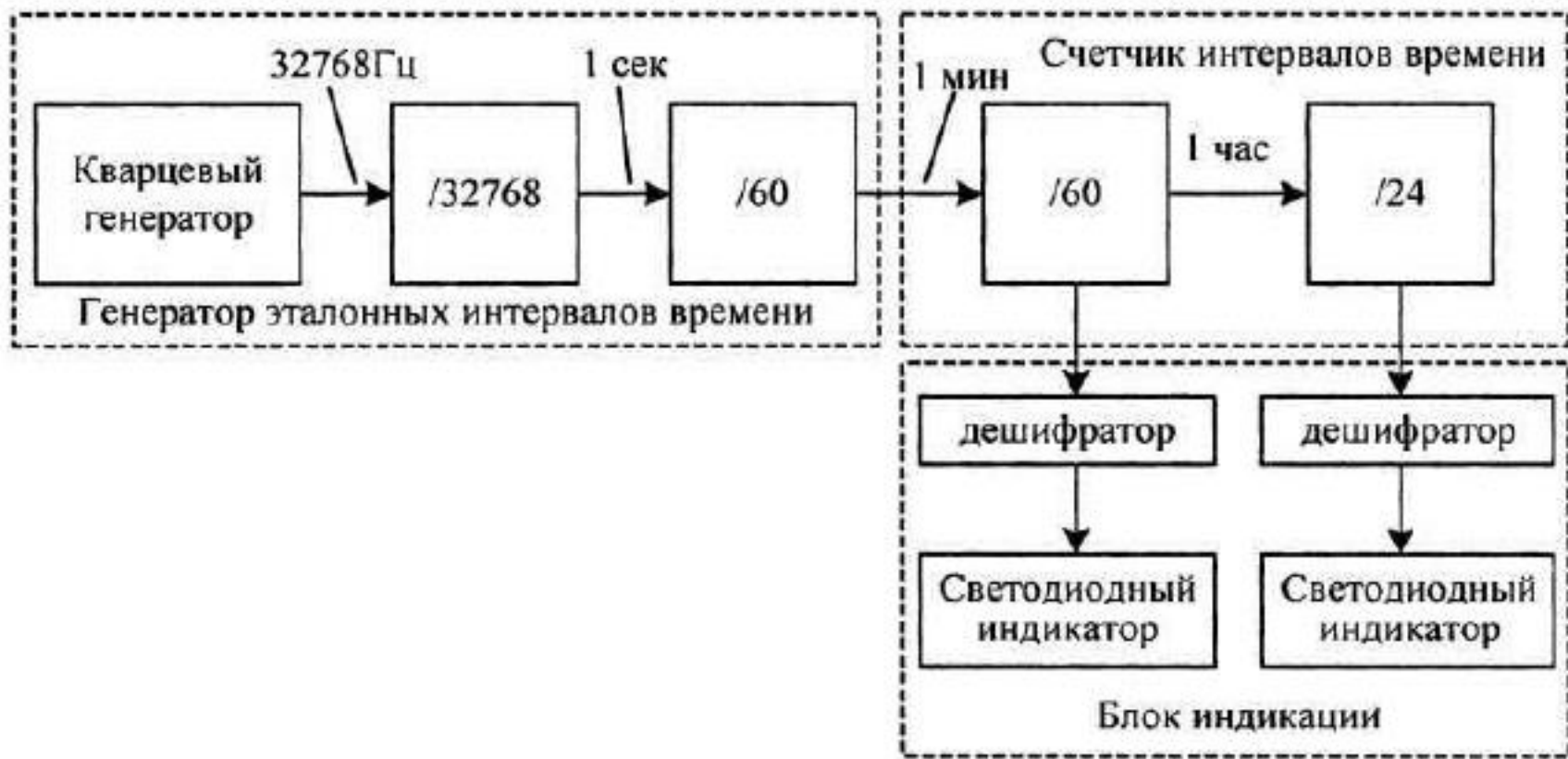


Рис. 10.6. Структурная схема часов

И, наконец, последнее замечание. Любые часы время от времени требуют коррекции своего внутреннего состояния с целью синхронизации своих показаний с всемирным временем. В нашей схеме это действие будет выполнять блок коррекции, который в свою очередь будет состоять из кнопок и схемы установки внутреннего состояния счетчика интервалов времени.

Пусть блок коррекции времени позволяет независимо устанавливать показания часов, минут и обнулять внутренние счетчики генератора эталонных интервалов времени. Для формирования команд, соответствующих этим трем задачам, нам будет достаточно трех кнопок.

При разработке нашего варианта электронных цифровых часов воспользуемся простейшим алгоритмом установки их показаний. При нажатии на кнопку установки минут или установки часов будем подавать на вход счетчика минут или часов повышенную частоту сигнала.

Человек вполне может воспринимать смену информации несколько раз в секунду, поэтому в режиме установки времени выберем частоту повторения импульсов четыре раза в секунду. В результате выбора такой частоты повторения импульсов время установки содержимого счетчика минут не будет превышать 15 сек, а максимальное время установки счетчика часов будет равно 6 сек.

На этом можно завершить разработку структурной схемы. Полная структурная схема часов с учетом блока индикации и блока коррекции времени приведена на рис. 10.7.

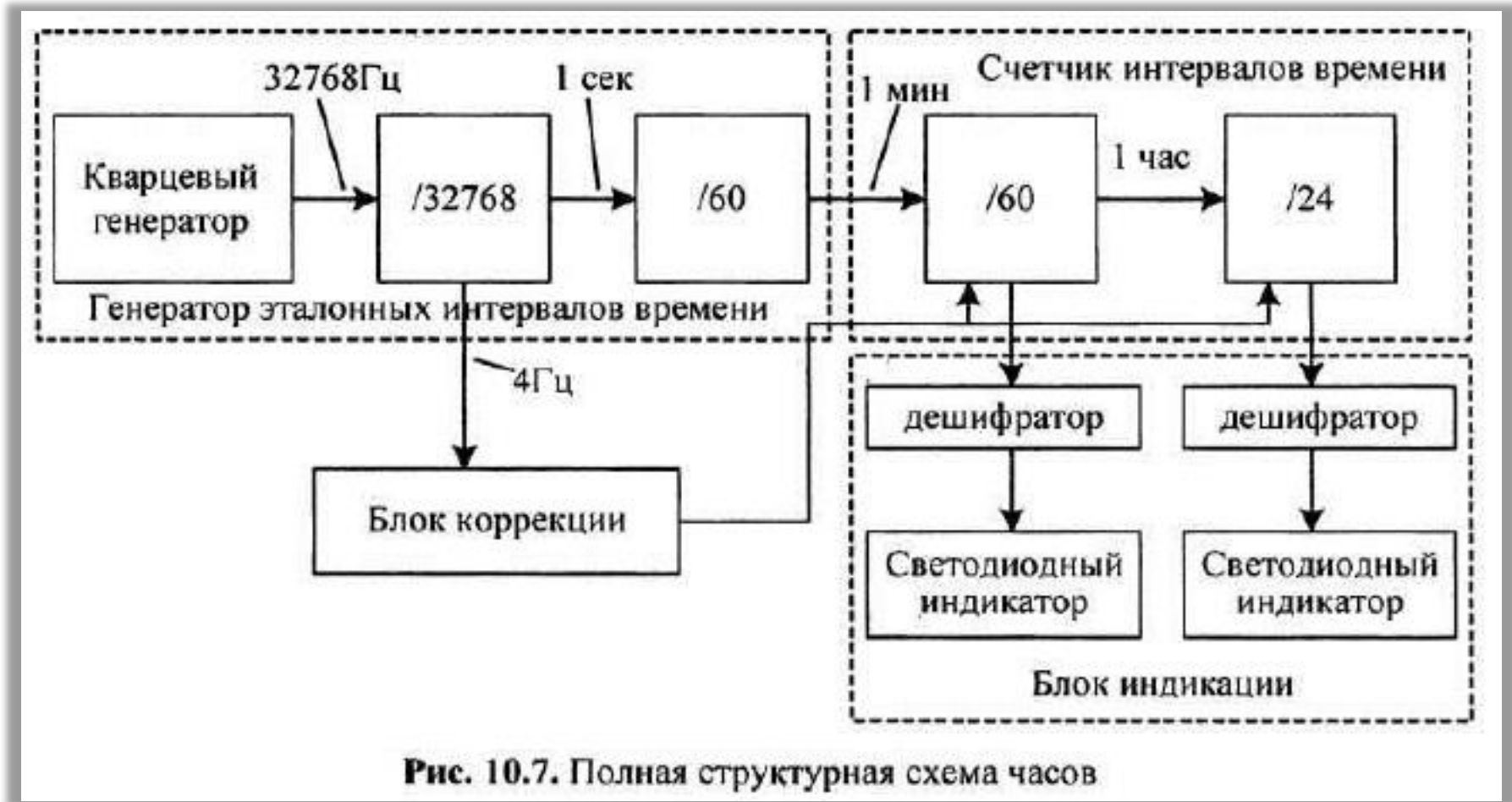


Рис. 10.7. Полная структурная схема часов

Теперь, после того как составлена структурная схема часов и рассчитаны параметры отдельных ее блоков, можно приступить к разработке принципиальной схемы этих блоков. Еще раз отмечу, что каждый отдельный блок структурной схемы мы можем разрабатывать независимо от других блоков, для чего, собственно говоря, нам и нужна была структурная схема.