

# Синхронизация времени отсчетов параллельных потоков данных, формируемых микропроцессорными блоками комплекса опто-физических датчиков кардиоваскулярного монитора

А. В. Лебедевский

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь,  
e-mail: [lededevskiys@yandex.by](mailto:lededevskiys@yandex.by)

Предложен алгоритм пересчета отсчетов времени потоков данных, одновременно получаемых компьютером комплекса от нескольких микроконтроллеров, на единую временную шкалу. Отсчетами времени каждого из подключенных микроконтроллеров служат показания счетчиков тактов их процессоров. Приведен пример реализации предлагаемого алгоритма на микроконтроллерах семейства STM32 и компьютере под управлением различных ОС. При создании алгоритма синхронизации использовались условия: автономность работы каждого из микроконтроллеров и возможность их объединения в единый комплекс, работающий под управлением одного компьютера.

**Ключевые слова:** синхронизация временных отсчетов; микроконтроллеры; STM32; BluePill; тактовая частота процессора; сердечно-сосудистый мониторинг.

## Synchronization of the timing of parallel data streams generated by microprocessor units of a complex of optical and physical sensors of a cardiovascular monitor

A. V. Lebedevskiy

Belarusian State University, Minsk, Belarus, e-mail: [lededevskiys@yandex.by](mailto:lededevskiys@yandex.by)

An algorithm is proposed for converting the time readings of data streams simultaneously received by a computer complex from several microcontrollers to a single time scale. The time readings of each of the connected microcontrollers are provided by the clock counters of their processors. An example of implementing the proposed algorithm on STM32 microcontrollers and a computer running various operating systems is provided. When creating the synchronization algorithm, the following conditions were used: autonomous operation of each microcontroller and the ability to combine them into a single complex controlled by one computer.

**Keywords:** time samples synchronization; microcontrollers; STM32; BluePill; processor clock frequency; cardiovascular monitoring.

При анализе показаний комплекса датчиков, подключенных к разным микроконтроллерам, необходимо отсчеты времени их регистрации сводить на одну временную ось отсчетов. Формирование тактовых импульсов в каждом микроконтроллере осуществляется своим автогенератором с кварцевым резонатором, поэтому тактовая частота на каждом микроконтроллере своя и получаемые временные отсчеты данных датчиков, поступающих с разных микроконтроллеров, постоянно смещаются друг относительно друга.

Средний уход времени генераторов тактовых импульсов без использования температурной стабилизации их кварцевого резонатора составляет 50 мкс/с [1]. При использовании кварцевого резонатора с частотой резонанса 8 МГц возможный уход

отсчетов времени на микроконтроллере STM32 с тактовой частотой 72 МГц составит примерно 450 мкс/с. При непрерывных измерениях, длящихся одну минуту, неопределенность масштабируется до значения 27 мс/мин, соответственно. Для широкого круга задач (общение по протоколу UART, непрерывные продолжительные измерения на одном микроконтроллере) такой точности достаточно. Однако, для приложений с высокими требованиями по синхронности отсчетов времени, например при определении временных задержек между сигналами, получаемыми оптико-физическими датчиками в разных точках тела, такая неопределенность недопустима.

При определении скорости распространения пульсовой волны по показаниям двух пульсоксиметрических датчиков, установленных на мочке уха и большом пальце ноги и обслуживаемых разными микроконтроллерами, уход временных отсчетов не должен превышать 50 мкс/мин. Это требует обязательной синхронизации по времени отсчетов, получаемых разными микроконтроллерами, при их представлении на одной временной оси или шкале. Поскольку микроконтроллеры подключены к одному компьютеру, целесообразно в качестве единой временной оси выбрать показания часов ПК.

Неопределенность, возникающая при сведении временных отсчетов на одну временную шкалу, зависит от температурных изменений резонансной частоты кварцевого кристалла, так и временных задержек между отправкой команды синхронизации времени на микроконтроллер и получением ответа на нее. Знание условий, в которых происходит эксплуатация микроконтроллерных устройств, позволяет учесть закономерности изменения тактовой частоты и создать алгоритм синхронизации временных отсчетов. При эксплуатации комплекса датчиков в нормальных условиях температурную зависимость можно аппроксимировать линейным законом, что подтверждается исследованиями производителей кварцевых резонаторов, причем как для кристаллов с углом среза AT-cut, так и SC-cut [2–4]. Проверка допустимости линеаризации разности отсчетов времени микроконтроллеров относительно отсчетов времени компьютера проведена автором при использовании двух микроконтроллеров STM32, подключенных к одному ПК. Уход и стандартное отклонение разности отсчетов времени ПК и скорректированных отсчетов микроконтроллеров составили  $\mu = 1$  пс/с и  $\sigma = 1.25$  мс/час, соответственно.

В докладе описаны математические основы алгоритма коррекции временных отметок и приведен пример реализации этого алгоритма в оптико-электронном устройстве «Кардиоваскулярный монитор».

### Библиографические ссылки

1. Crystal Oscillator Design Guide – AN14518 (P.11, fig.10) [Electronic resource]. URL: <https://www.nxp.com/docs/en/application-note/AN14518.pdf> (date of access: 18.10.2025).
2. A finite element analysis of frequency–temperature relations of AT-cut quartz crystal resonators with higher-order Mindlin plate theory / Ji Wang [et al.] // Acta Mechanica. 2008. Vol. 199 Iss. 1. P. 117–130. P. 128.
3. Understanding Quartz Crystal Stability [Electronic resource]. URL: <https://www.iqdfrequencyproducts.com/en/news?d=quartz-crystal-stability-how-myths-and-misconceptions-mask-good-value> (Date of access: 18.10.2025).
4. Basic Knowledge of Crystal Unit | Technical Columns | Epson Crystal Device [Electronic resource] – URL: <https://www.epsondevice.com/crystal/en/techinfo/column/crystal-unit> (date of access: 18.10.2025)