

Введение

Для применений микроконтроллера, требующих высокой точности хода часов реального времени, необходимо использовать алгоритм температурной компенсации. При этом не рекомендуется использовать аппаратный блок таймера с регулировкой при помощи регистра RTC_CALIB. Компенсация отклонения часов реального времени осуществляется относительно долей секунд, что позволяет достичь величины ухода RTC не превышающей 0,4 секунды за 24 часа.

Основные принципы компенсации

В качестве источника тактового сигнала RTC используется внешний кварцевый резонатор с частотой 32,768 КГц. Погрешность частоты кварцевого резонатора формируется из стандартного отклонения и температурного отклонения. Стандартное отклонение связано с процессом производства резонатора и обычно находится в диапазоне ± 20 ppm при температуре около $+25^{\circ}\text{C}$. Температурное отклонение — это физические характеристики самого кристалла кварца. Типичные температурные характеристики кварцевого резонатора показаны на рис. 1, с самой высокой точностью вблизи температуры $+25^{\circ}\text{C}$.

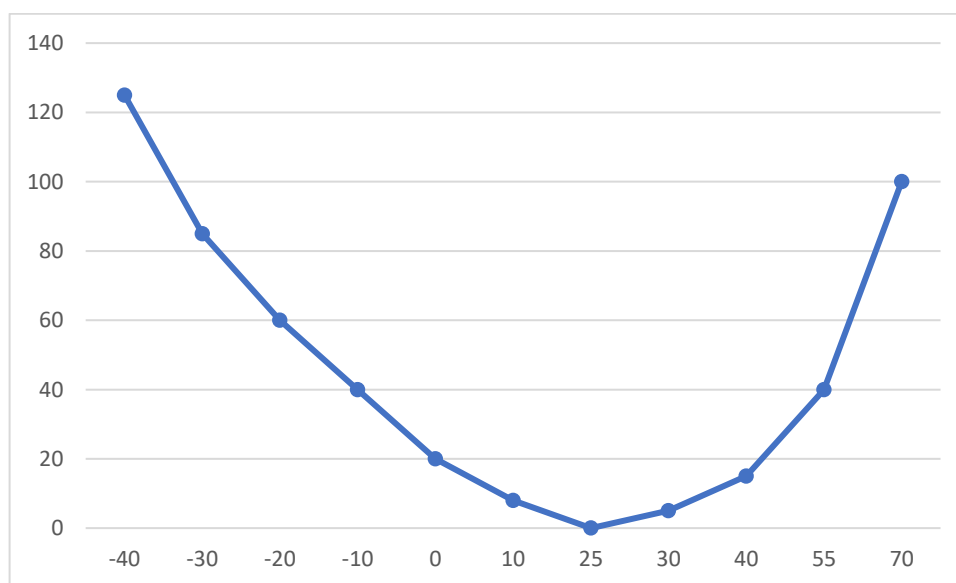


Рис. 1 — Кривая температурного отклонения кварцевого резонатора. Ось абсцисс — температура, ось ординат — ppm.

По мере отклонения температуры от $+25^{\circ}\text{C}$, независимо от того, повышается она или падает, частота кварцевого резонатора уменьшается, отклонение увеличивается, а форма кривой температурного отклонения приближается к параболе. Температурное отклонение кристаллов кварца хорошего качества является постоянным, следовательно, в идеальном случае подобная кривая применима к каждому продукту одной партии, что облегчает расчёты.

Температурная кривая кристалла кварца приближена к параболе, но не совсем ей соответствует. Чтобы приблизить результат расчета погрешности к реальной ситуации, необходимо выделить два сегмента кривой, используя в качестве точки разделения температуру +25°C, срастив в данной точке две параболы. Две параболы используют два независимых коэффициента, K_L и K_H соответственно, что повышает точность компенсации.

На рис. 1 температурное отклонение при +25°C равно 0. В действительности, величина отклонения при данной температуре равна стандартному отклонению кварцевого резонатора. Фактическое отклонение, требующее компенсации, представлено красной кривой, изображенной на рис. 2.

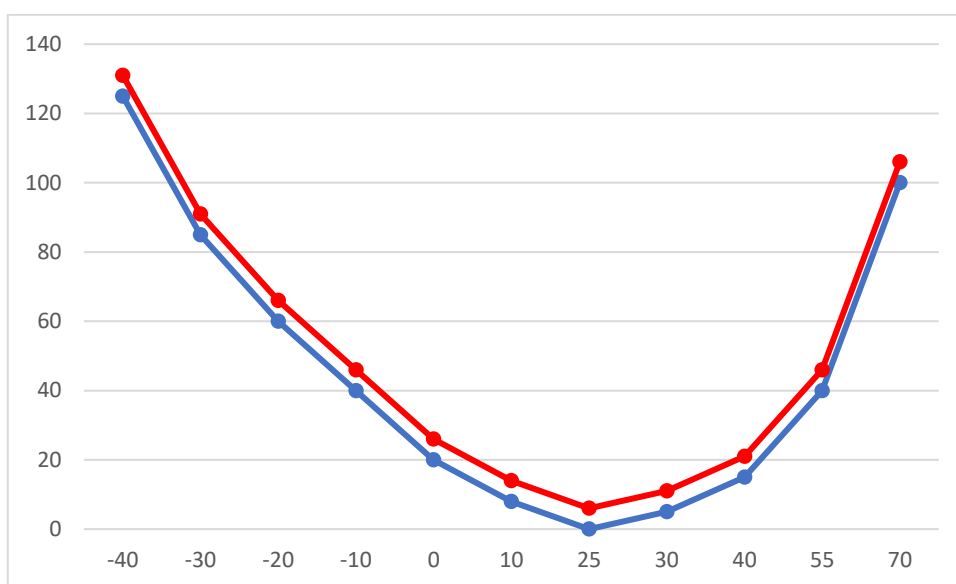


Рис. 2 – Кривая отклонения кварцевого резонатора. Ось абсцисс – температура, ось ординат – ppm.

На практике формы кривых устройств одной партии могут иметь расхождения и при этом отличаться от параболы, как продемонстрировано на рис. 3. В таком случае наилучшим вариантом, с точки зрения наименьшего отклонения на всем диапазоне температур, является построение температурной кривой для каждого устройства и использование большего количества коэффициентов, что требует больших временных затрат. Другой вариант предполагает вычисление средней температурной кривой из нескольких измеренных, а также использование большего количества коэффициентов, что в совокупности значительно сократит временные затраты в сравнении с первым вариантом, но увеличит значение отклонения хода часов. Далее более подробно будет рассмотрен второй вариант.

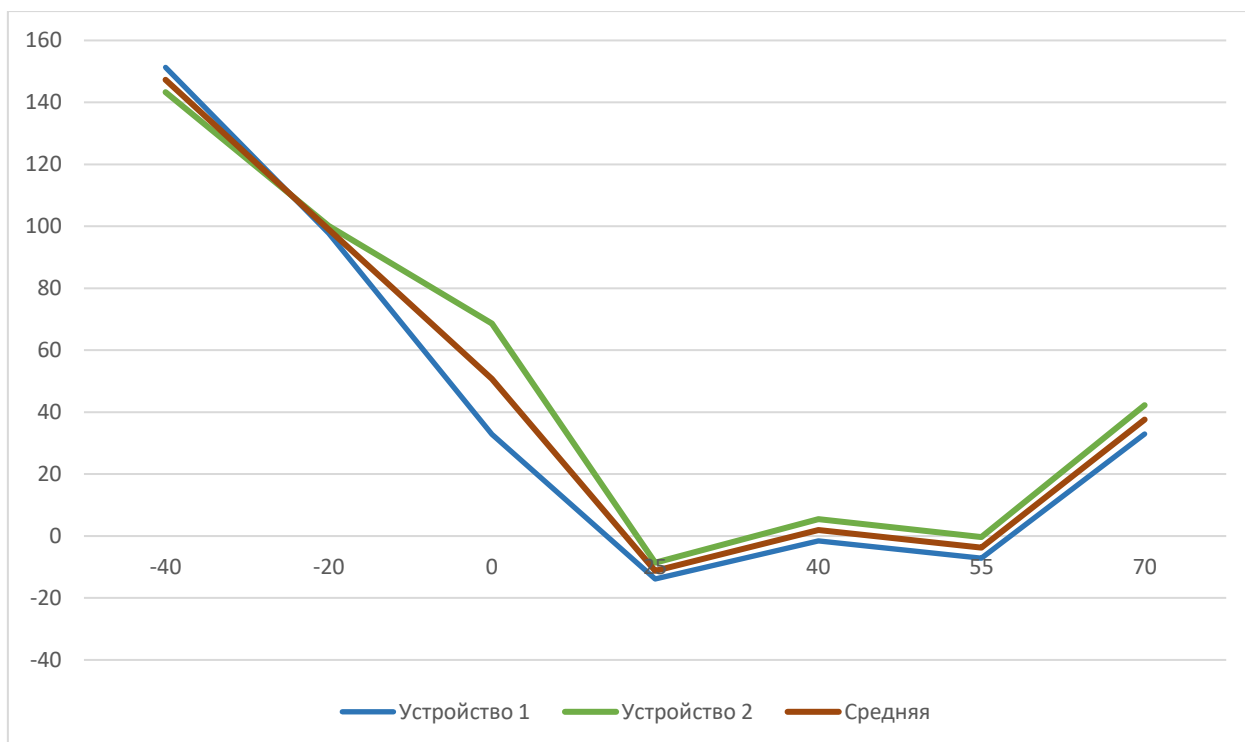


Рис. 3 – Кривые отклонения устройств и средняя кривая. Ось абсцисс – температура, ось ординат – ppm.

Программная компенсация

Измерение стандартного отклонение кварцевого резонатора

Примечание: все измерения следует выполнять для одной партии устройств: одной партии микроконтроллеров K1986BY024, кварцевых резонаторов 32,768 КГц и конденсаторов для них.

Прежде всего, необходимо выполнить измерение стандартного отклонения кварцевого резонатора для 5-ти устройств (рекомендуемая выборка), например, используя частотомер. Для этого демонстрационное программное обеспечение предоставляет импульс частотой 1 Гц, формируемый в обработчике прерывания от системного таймера. В качестве источника тактового сигнала системного таймера выбран внешний кварцевый резонатор 32,768 КГц, который, в то же время, является источником тактового сигнала для RTC. Импульс 1 Гц формируется на выводе PBO.

Перед загрузкой программного обеспечения в K1986BY024, следует установить параметры компенсации, а именно, стандартное отклонение и коэффициенты KL и KN, равными нулю, передав их в качестве аргументов в функцию:

```
void compensation_init(double ppm, double KL1, double KL2, double KL3, double KN1, double KN2, double KN3, double period)
```

при этом вызов функции должен принять следующий вид (файл main.c – пример программного обеспечения может быть получен по запросу на ic@nartis.ru):

```
compensation_init(0.0,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,period);
```

Загрузите программное обеспечение, подключите частотомер к выводу РВ0. Получите измеренное и усредненное значение периода сигнала 1 Гц при температуре +25°C для каждого устройства, из которого вычислите стандартное отклонение.

Пример: измеренный частотомером период равен 1,000006 секунд. Тогда стандартное отклонение равно 6.0 ppm.

Вычисление коэффициентов KL и KH

После измерения стандартного отклонения необходимо вычислить коэффициенты KL и KH. Для этого, используя демонстрационное программное обеспечение и частотомер, следует измерить отклонение кварцевого резонатора при различных температурах для 5-ти устройств. Метод измерения аналогичен измерению стандартного отклонения. После чего следует определить алгебраическое среднее для 5-ти кривых. Затем, используя полученные значения, вычислите KL и KH применив следующие формулы:

$$ppm = KL * (\text{текущая_температура} - 25)^2 + ppm_{\text{при_25}^\circ\text{C}} \quad (1)$$

$$ppm = KH * (\text{текущая_температура} - 25)^2 + ppm_{\text{при_25}^\circ\text{C}} \quad (2)$$

Пример:

Среднее значения ppm при различных температурах:

Температура, °C	Среднее отклонение, ppm
-40	147,3
-20	98,95
0	50,7
+25	-11,23
40	1,965
55	-3,735
70	37,65

Вычисление коэффициента KL:

$$\text{Уравнение 1: } 147,3 = KL1 * (0 - 25)^2 + -11,23$$

$$\text{Уравнение 2: } 98,95 = KL2 * (-20 - 25)^2 + -11,23$$

$$\text{Уравнение 3: } 50,7 = KL3 * (-40 - 25)^2 + -11,23$$

$$\text{Результат: } KL1 = 0,0991, \quad KL2 = 0,0544, \quad KL3 = 0,0375$$

Вычисление коэффициента KH

$$\text{Уравнение 5: } 1,965 = KH1 * (40 - 25)^2 + -11,23$$

$$\text{Уравнение 6: } -3,735 = KH2 * (55 - 25)^2 + -11,23$$

$$\text{Уравнение 7: } 37,65 = KH3 * (70 - 25)^2 + -11,23$$

$$\text{Результат: } KH1 = 0,0586, \quad KH2 = 0,0083, \quad KH3 = 0,0241$$

После того как измерено значение стандартного отклонения конкретного счетчика, (например, -13,77) и вычислены коэффициенты KL и KH по средней кривой, вызов функции инициализации параметров компенсации должен принять следующий вид (файл main.c):

```
compensation_init(-13.77,0.0991,0.0544,0.0375,0.0586,0.0083,0.0241,period);
```

Периодическая компенсация

Периодическая компенсация выполняется в обработчике прерывания от RTC_ALARM раз в пять секунд (период настраивается). Сначала считывается показание встроенного датчика температуры. Затем вычисляется отклонение при данной температуре согласно формулам (1) и (2). Значение преобразуется в размерность регистра долей секунды RTC->SUBS и накапливается. Если в какой-то момент накопленная величина превышает 128 тактов, выполняется компенсация RTC с помощью регистра управления сдвигом RTC->SCTR.

Компенсация при включении

Необходимо вычислить разницу между последним сохраненным значением календаря RTC (сохраняется каждый раз при выполнении периодической компенсации) и текущим его значением. Используя полученное число и ppm_при_25°C, вычисляется отклонение. Затем выполняется компенсация RTC с помощью регистров календаря. При необходимости, вместо ppm_при_25°C возможно использование значения ppm при текущей температуре.

Краткое описание функций, используемых для вычисления параметров компенсации и при ее проведении

Функции, определенные в файле main.c:

```
double TempCal(uint16_t TempAdVal)
```

преобразует значение безразмерное показание датчика температуры в градусы Цельсия.

```
void RCC_ADC_Configuration(void)
```

конфигурирует тактирование АЦП, GPIO.

```
void ADC_init(void)
```

конфигурирует АЦП для периодической конвертации значения датчика температуры.

```
RTC_period_interrupt_config(int sec)
```

конфигурирует время формирования RTC_ALARM, и соответствующее прерывание.

```
void RTC_uesr_config(void)
```

конфигурирует RTC.

Функции, определенные в файле power_detection.c:

```
void compensation_init(double ppm,double KL1,double KL2,double KL3,double KH1,double KH2,double KH3,double period)
```

инициализирует параметры компенсации.

double do_compensate(void)

выполняет периодическую компенсацию.

double get_clk_deviation(void)

вычисляет отклонение на основе разницы последним сохраненным значением календаря RTC (сохраняется каждый раз при выполнении периодической компенсации) и текущим его значением.

void powerdown_check(void)

выполняет компенсацию после включения.

void systick_init(void)

конфигурирует системный таймер и соответствующее прерывание.

Функции, определенные в файле User_RTC_Config.c:

void RTC_DateAndTimeDefaultVale(void)

инициализирует календарь RTC.

void RTC_ChangeShow(void)

посылает сообщение, содержащее текущие время и дату, с помощью uart.

Функции, определенные в файле nrts32m_it.c:

void eclic_mtip_handler(void)

обработчик прерывания от системного таймера, формирует сигнал 1 Гц на выводе PB0.

void RTCAalarm_IRQHandler(void)

обработчик прерывания от RTC_ALARM, выполняет периодическую компенсацию.

Советы по внедрению алгоритма во встроенное программное обеспечение

При выключенных теневых регистрах RTC следует исключить из алгоритма вызовы функции **ErrorStatus RTC_WaitForSynchro(void)**.

Перед изменением текущего значения календаря RTC следует выполнить компенсацию, вызвав функцию **double do_compensate(void)**. При этом предполагается, что в используемых функцией **double get_clk_deviation(void)** регистрах резервного копирования содержатся последние сохраненные значения календаря RTC.

Вывод

Описываемый метод компенсации RTC был воспроизведен и проверен в лабораторных условиях. В результате суточное отклонение при воздействии температур минус 40°C и 70°C не превысило 1,2 секунды.

Рекомендуется применять полученные в результате исследования коэффициенты только к той партии устройств, на которой проводились все измерения и вычисления. Партия микроконтроллера K1986VU024, кварцевого резонатора 32,768 КГц и конденсаторов на его линиях должны быть идентичны на всех устройствах одной партии. При несоблюдении указанных условий корректная работа программного алгоритма компенсации RTC не гарантируется.