

## Калибровка часов реального времени в семействах микросхем ADE71xx/ADE75xx для точного измерения времени.

### ВВЕДЕНИЕ

Данное руководство по применению описывает процесс калибровки и слежения за точностью часов реального времени ADE71xx/ADE75xx (RTC). При температурах от 25°C и более. Она детально описывает возможность внешней аппаратной компенсации, также приведен алгоритм компенсации температурного дрейфа часов.

ADE75xx/ADE71xx имеют аналоговый интерфейс и периферию, а также цифровой сигнальный процессор разработки Analog Devices, Inc., интегральную схему счетчика (ADE) на основе расширенного ядра 8052. Встроенные часы реального времени, ЖК-дисплей и периферия делают ИС полноценной энергоизмерительной системой на кристалле.

### ЦЕЛИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Многие счетчики электроэнергии предлагают мультитарифный подсчет расхода электроэнергии, когда оплата различна для пиковых и для спокойных периодов времени. Так как счетчики устанавливаются на срок до 10-20 лет, то им необходимо иметь точные часы в течении всего периода работы прибора.

Уже откалиброванные часы имеют точность 0.5 сек/день при постоянной температуре и дрейф 0.15 сек/день°C. Это приводит к общей погрешности 30 сек/месяц в диапазоне температур от -40°C до +85°C.

### ТЕОРИЯ

Кварцевые генераторы, как и другие электрические компоненты, имеют различные погрешности и допуски. Кристалл с номинальной частотой 32.768 кГц может иметь погрешность  $\pm 20$  ppm от номинала. Частота колебаний также меняется от температуры, поэтому необходимо постоянно компенсировать дрейф частоты кристалла. ИС ADE71xx/ADE75xx позволяют реализовать периодическую аппаратную коррекцию частоты и компенсировать температурный дрейф с помощью специального температурного АЦП.

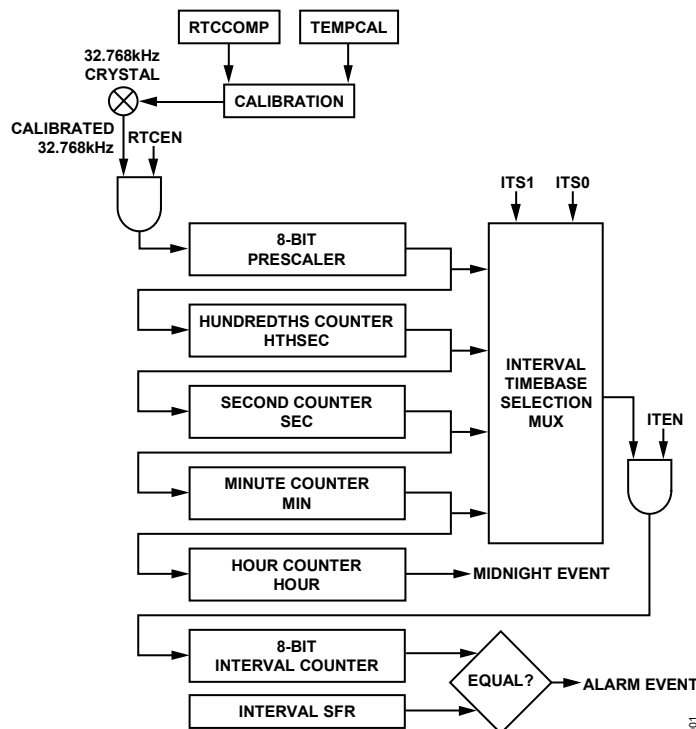


Рис 1. Реализация ЧРТ

07159-001

**СОДЕРЖАНИЕ**

Введение .....	1	Реализация алгоритма компенсации .....	3
Цели проектирования .....	1	Выводы .....	6
Теория .....	1		

## РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА КОМПЕНСАЦИИ

Часы реального времени ADE71xx/ADE75xx имеют внутренние регистры хранения времени от сотых долей секунды до часов (см. Рис. 1). Один раз в сутки генерируется прерывание для обновления календаря.

ИС ADE71xx/ADE75xx калибруют входной 32.768 Гц сигнал, используя аппаратную схему периодической компенсации. Калибровка производится добавлением или удалением импульсов из потока в миллион тактовых импульсов. Эта операция выполняется в окне шириной 30.5 секунд. Режим калибровки также доступен в окне меньшего размера – 0.244 секунды. Контакт P0.2 выдает импульсы, пропорциональные компенсированным часам как в нормальном, так и в калибровочном режиме, возможные режимы приведены в Табл. 1.. Регистр INTPR используется для задания выходной частоты для калибровки (см. Табл. 1). Бит RTCCAL регистра INTPR разрешает вывод калибровочного сигнала. Заметим, что режимы работы выхода калибровки часов не рекомендуются для нормальной работы. Обратитесь к технической документации на ИС ADE71xx/ADE75xx за более полной информацией.

Табл. 1. Возможные частоты калибровки RTC

Регистр INTPR, биты FSEL [1:0]	Ширина калибровочного окна (сек)	f <sub>CAL</sub> (Гц)
Normal Mode 0	30.5	1
Normal Mode 1	30.5	512
Calibration Mode 0	0.244	500
Calibration Mode 1	0.244	16,384

Калибровка номинальной частоты выполняется в регистре RTCCOMP блока регистров SFR, а регистр TEMPCAL SFR используется для компенсации температурного дрейфа. Разрешение компенсации – 2 ppm/МЗР, или 0.17 сек/день. Компенсация возможна в диапазоне до 248 ppm путем записи в регистры RTCCOMP и TEMPCAL.

### Калибровка номинальной 32.768 кГц частоты.

Эталонные часы или частотомер используется для определения частотной ошибки. На Рис. 2 изображен образец эталонных часов ИТР02 производства Infotec Electronics Co., Ltd. Этот опорный прибор определяет погрешность в виде секунд/день между выходной частотой f<sub>CAL</sub> и частотой калибровки, за настраиваемый период 1, 5 или 10 секунд.



Рис. 2. Эталонные часы реального времени ИТР02 от Infotec

Требуемая компенсация определяется вычислением погрешности частоты одиночного импульса. Как только становится известна ошибка кристалла, в регистр RTCCOMP загружается калибровочное значение. ИС ADE71xx/ADE75xx автоматически подстраивает частоту RTC загрузкой значений в RTCCOMP. Режим калибровки RTC (Табл. 1) определяет размер временного окна, в течение которого калибровка выполняется. В нормальном режиме размер окна – 30.5 секунд.

Выход калибровочного импульса часов – порт P0.2. Отсюда считается частотная ошибка в процентах и выводится значение калибровочного коэффициента. Регистр RTCCOMP имеет разрешение 2 ppm, то есть 1 сек/день равна 11.57 ppm.

$$RTCCOMP = \frac{1}{2 \times 11.57} \times (\text{sec/day error})$$

$$RTCCOMP = 5000 \times (\% \text{ error})$$

Предположим, что калибровка проходит в нормальном режиме и полученная частота импульса RTC равна 1.000063 Гц. Значение регистра RTCCOMP получим по формуле:

$$RTCCOMP = \frac{1 \text{ Hz}_{\text{actual}} - 1 \text{ Hz}}{1 \text{ Hz}} \times 5000$$

$$RTCCOMP = \frac{1.000063 \text{ Hz} - 1 \text{ Hz}}{1 \text{ Hz}} \times 5000 = -31$$

Для проверки калибровки после установки регистров RTCCOMP или TEMPCAL в ненулевое значение, необходимо провести проверку на всем окне. Это означает, что эталонные часы или частотомер должны проверить все 30 секунд окна (или кратно 0.244 секунд, в зависимости от режима). С другой стороны, если нет возможности проверить на 30-секундном окне, можно снять три измерения по 10 секунд и усреднить.

### Определение температурного дрейфа кварца

Температурный дрейф кристалла обуславливается физическими процессами, приводя к параболической кривой погрешности, изображенной на Рис. 3. Если не компенсировать этот дрейф, RTC могут достаточно быстро выйти за пределы погрешности.

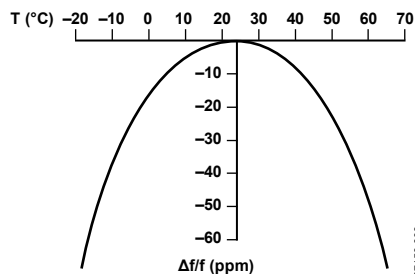


Рис. 3. Температурная погрешность RTC

Эта кривая обычно описывается производителями кварцевых генераторов двумя параметрами: точкой перегиба ( $T_0$ ) кривизной ( $k$ ). Вариация частоты может быть математически выражена через эти параметры:

$$f - f_0 = -k \times (T - T_0)^2 \quad (1)$$

Кривизна,  $k$ , представляющая собой внутренние механические свойства кристалла, может варьироваться от производителя к производителю. Так как на производстве нежелательно проводить температурную калибровку, кривизна должна исправляться на стадии разработки. Техническая документация на кварцевый генератор, как правило, содержит параметры кривизны кварца. Это значение может использоваться, если ошибка не выходит за пределы нужной погрешности. Этот параметр также может быть рассчитан эмпирически, вычислением разницы в частоте между несколькими последовательными измерениями.

После расчета коэффициента кривизны кристалла, специальный алгоритм производит корректировку частоты кристалла в зависимости от температуры. Получение текущего значения температуры в ИС ADE71xx/ADE75xx достигается использованием внутреннего температурного АЦП.

#### Температурное АЦП ADE71xx/ADE75xx

Температурное АЦП ADE71xx/ADE75xx имеет разрешение 0.78°C/МЗР. ADE71xx/ADE75xx предлагает два способа измерения температуры. В первом способе запрашивается измерение температуры и значение считывается из регистра. Во втором способе измерения проводятся в фоновом режиме, значение постоянно отслеживается, и в случае превышения заданного порога генерируется прерывание. Например, прерывание может быть выставлено после изменения значения АЦП на один или несколько значащих разрядов с шагом в 0.78°C. Этот способ позволяет отслеживать температуру без вмешательства в пользовательский код. Обратитесь к техническому описанию на ИС ADE71xx/ADE75xx за более полной информацией.

#### Алгоритм температурной компенсации

Самый легкий путь компенсировать температурный дрейф – обновлять содержимое регистра TEMPCOMP по мере изменения значения на АЦП. Кварцевый генератор, использованный в данной разработке ADE71xx/ADE75xx имеет кривизну  $-0.0306 \text{ ppm}/^\circ\text{C}^2$  и точку перегиба 25°C. Отсюда, связь между значением в TEMPADC соответствующей компенсацией в TEMPCOMP выведена в уравнении (2).

Уравнение (1) и внутренние свойства кристалла дают нам функцию изменения частоты кристалла от температуры.

$$\Delta f = -0.0306 \text{ ppm} \times (\Delta T)^2$$

Разрешение TEMPADC в ADE71xx/ADE75xx равно 0.78°C/МЗР, отсюда:

$$\Delta T = 0.78^\circ\text{C} / \text{LSB} \times \text{TEMPADC}$$

Получаем:

$$\Delta f = -0.0306 \text{ ppm} \times (0.78)^2 (\Delta \text{TEMPADC})^2$$

Так как разрешение регистра TEMPCOMP равно 2 ppm/МЗР, то:

$$\begin{aligned} \Delta \text{TEMPCOMP} &= \frac{-0.0306 \text{ ppm}}{-2} \times (0.78)^2 (\Delta \text{TEMPADC})^2 \\ \Delta \text{TEMPCOMP} &= 0.0093 \times (\Delta \text{TEMPADC})^2 \end{aligned} \quad (2)$$

Уравнение (2) может быть переписано в виде (3) для упрощения вычислений ядром 8052.

$$\Delta \text{TEMPCOMP} = 38 \times 2^{-12} \times (\Delta \text{TEMPADC})^2 \quad (3)$$

Операция требует два восьмиразрядных умножения и несколько сдвиговых операций. Однако, формула не является чувствительной ни ко времени, ни к возможностям, так как 8052 ядро имеет инструкцию умножения.

Также компенсация может быть реализована табличным способом. Так как зависимость компенсации от температуры является параболической, а следовательно, симметричной относительно оси Y, то достаточно хранить в памяти только половину калибровочных констант.

Пример таблицы компенсации для данной платы приведен в Табл. 2. Номер строки, а оттуда и значение компенсации могут быть получены вычитанием из текущего значения на АЦП кода, соответствующего 25°C, то есть 139. Например, для 70°C значение TEMPADC – 207, нужный номер строки  $207 - 139 = 68$ . Отсюда, нужное значение компенсации TEMPCOMP на 70°C равно 37. Из-за симметричности графика температурной зависимости кристалла, номер строки может быть определен как модуль разности значений АЦП при текущей температуре и при температуре 25°C.

$$\text{Table Index} = \left| \text{TEMPADC} - \text{TEMPADC}_{25^\circ\text{C}} \right|$$

Табл. 2. Таблица коэффициентов температурной компенсации

Номер строки	Температура (°C)	Код TEMPADC	Значение TEMPCOMP
0	25.12863	139	0
1	25.79268	140	0
2	26.45674	141	0
3	27.12079	142	0
4	27.78485	143	0
5	28.4489	144	0
6	29.11296	145	0
7	29.77701	146	0
8	30.44107	147	0
9	31.10512	148	1
10	31.76917	149	1
11	32.43323	150	1
12	33.09728	151	1
13	33.76134	152	1
14	34.42539	153	1
15	35.08945	154	2
16	35.7535	155	2
17	36.41756	156	2
18	37.08161	157	2
19	37.74567	158	3
20	38.40972	159	3
21	39.07378	160	3
22	39.73783	161	4
23	40.40189	162	4
24	41.06594	163	4
25	41.73	164	5
26	42.39405	165	5
27	43.0581	166	5
28	43.72216	167	6
29	44.38621	168	6
30	45.05027	169	7
31	45.71432	170	7
32	46.37838	171	8
33	47.04243	172	8
34	47.70649	173	9
35	48.37054	174	9
36	49.0346	175	10
37	49.69865	176	10
38	50.36271	177	11
39	51.02676	178	11
40	51.69082	179	12
41	52.35487	180	13
42	53.01893	181	13
43	53.68298	182	14
44	54.34703	183	15
45	55.01109	184	15

Номер строки	Температура (°C)	Код TEMPADC	Значение TEMPCOMP
46	55.67514	185	16
47	56.3392	186	17
48	57.00325	187	17
49	57.66731	188	18
50	58.33136	189	19
51	58.99542	190	20
52	59.65947	191	20
53	60.32353	192	21
54	60.98758	193	22
55	61.65164	194	23
56	62.31569	195	24
57	62.97975	196	24
58	63.6438	197	25
59	64.30786	198	26
60	64.97191	199	27
61	65.63597	200	28
62	66.30002	201	29
63	66.96407	202	30
64	67.62813	203	31
65	68.29218	204	32
66	68.95624	205	33
67	69.62029	206	34
68	70.28435	207	35
69	70.9484	208	36
70	71.61246	209	37
71	72.27651	210	38
72	72.94057	211	39
73	73.60462	212	40
74	74.26868	213	41
75	74.93273	214	42
76	75.59679	215	44
77	76.26084	216	45
78	76.9249	217	46
79	77.58895	218	47
80	78.253	219	48
81	78.91706	220	49
82	79.58111	221	51
83	80.24517	222	52
84	80.90922	223	53
85	81.57328	224	54
86	82.23733	225	56
87	82.90139	226	57
88	83.56544	227	58
89	84.2295	228	60
90	84.89355	229	61
91	85.55761	230	62

## Выводы

Номинальная частота кристалла калибруется с шагом 2 ppm, или 0.17 сек/день, при достаточной погрешности 0.5 сек/день. Используя таблицу 2, в худшем случае ошибка достигает 0.085 сек/день°C. График ошибки после калибровки приведен на Рис.5. И табличный, и прямой методы достигают погрешности, укладывающейся в необходимые 0.15 сек/день. Небольшие случайные погрешности кристаллов приводят к незначительному увеличению погрешности даже на откалиброванном кварце (см. Рис. 5).

Без калибровки на 85°C ошибка составляет 10 сек/день (см. Рис. 4). Это близко к заданной погрешности в 0.15 сек/день°C, так как  $10 \text{ сек/день} / (85^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C}) = 0.167 \text{ сек/день}^\circ\text{C}$ . Между тем, дополнительное требование к погрешности (30 сек/месяц) легко может быть нарушено счетчиком, не калибрующимся в реальных условиях работы.

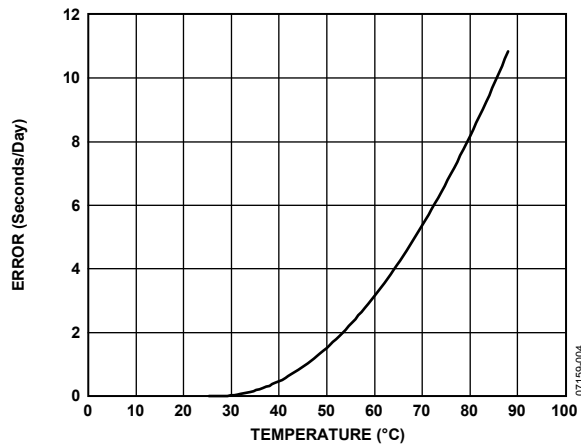


Рис 4. Ежедневная ошибка без температурной компенсации

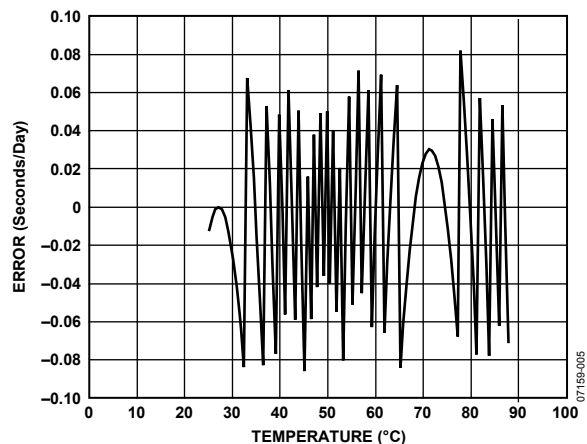


Рис 5. Ежедневная ошибка с температурной компенсацией

Для заметок

Для заметок