

应用笔记

N32G43X&N32L40X&N32L43X系列RTC校准应用笔记V1.0

简介

国民技术微控制器内置RTC模块提供日历、闹钟等功能，同时提供数字校准功能，用于提高因环境温度变化时的RTC模块的工作精度。

本文档旨在帮助用户正确使用RTC模块的数字校准功能，减少因环境温度变化导致外部晶体频率发生偏移，从而降低RTC工作精度。

NATIONS CONFIDENTIAL

目录

1. N32 RTC 简介	1
1.1 RTC 功能简介	1
1.2 RTC 数字时钟精密校准原理	3
2. N32 RTC 数字时钟精密校准教程	4
2.1 RTC 数字时钟精密校准输出配置	4
2.2 RTC 数字时钟精密校准配置	5
3. N32 RTC 数字时钟精密校准教程	7
3.1 RTC 数字时钟精密校准程序配置	7
3.2 RTC 数字时钟精密校准算法详解	7
3.3 RTC 数字时钟精密校准算法实测	9
4. 使用精密校准对 LSE 进行温补例程	9
4.1 LSE 温度曲线	9
4.2 RTC 精密校准模块理论校准值	11
4.3 RTC 精密校准配置代码	12
4.4 RTC 精密校准实测	12
5. 历史版本	13
6. 声明	14

1. N32 RTC 简介

1.1 RTC 功能简介

RTC提供了在低功耗模式下自动唤醒的功能。

实时时钟（RTC）是一个独立的BCD定时器/计数器。RTC提供一个带有可编程的闹钟中断的时钟/日历。RTC还包括一个具有中断功能的周期性可编程唤醒标志。两个32位寄存器包含十进制格式（BCD）表示亚秒、秒、分钟、小时（12或24小时格式）、天（星期几）、日（几号）、月和年。系统可以自动执行28、29（闰年）、30和31天的月补偿。也可以进行夏令时补偿。亚秒值以二进制格式作为单独的32位寄存器提供。其他的32位寄存器包含可编程的闹钟亚秒、秒、分钟、小时、天和日。

数字校准功能可以补偿晶体振荡器精度上的偏差。

在Backup域复位之后，所有RTC寄存器都受到保护，以防止可能的意外写访问。

当启用GPIO上的事件时，在寄存器中保存当前日历时，可以启用时间戳功能。

只要RTC启用并且电压保持在工作范围内，RTC就不会停止，无论设备状态如何（运行、休眠、停机或STANDBY状态）。

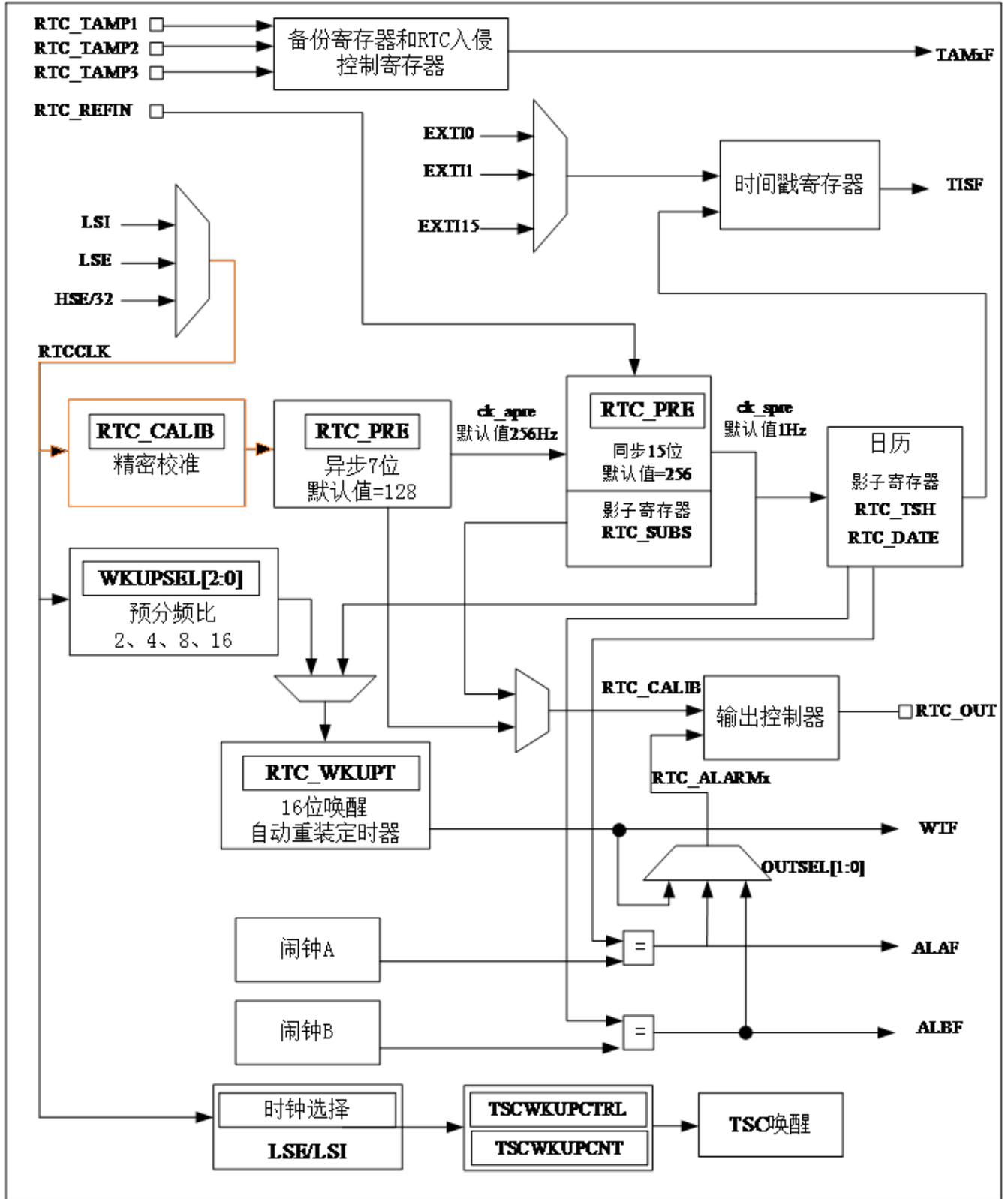


图1-1 N32 RTC框图

图中红色线框部分即为数字校准模块，它可以调节输入日历模块的时钟，从而调整 RTC 日历的计时精度。

1.2 RTC 数字时钟精密校准原理

数字精密校准是通过调整校准周期内的 RTC 时钟脉冲数来实现的。数字精度校准分辨率为 0.954 PPM，范围为-487.1 PPM 到+488.5 PPM。

当输入频率为 32768Hz 时，校准周期可配置为 $2^{20}/2^{19}/2^{18}$ RTCCLK 周期或 32/16/8 秒。精密校准寄存器 (RTC_CALIB) 表示将在指定周期内减少 RTC_CALIB.CM[8:0]个 RTCCLK 时钟周期。

RTC_CALIB.CM[8:0]的值表示在指定周期内要减少的 RTCCLK 脉冲数。RTC_CALIB.CP 可用于增加 488.5PPM，每 2^{11} 个 RTCCLK 周期将插入一个 RTCCLK 脉冲。

当 RTC_CALIB.CM[8:0]和 RTC_CALIB.CP 组合使用时，增加的周期范围为-511 到+512 个 RTCCLK 周期，校准范围为-487.1ppm 到+488.5ppm，分辨率约为 0.954ppm。

有效校准频率(f_{CAL})可使用以下公式计算：

$$f_{CAL} = f_{RTCCLK} * \left(1 + \frac{RTC_CALIB.CP*512 - RTC_CALIB.CM[8:0]}{2^n + RTC_CALIB.CM[8:0] - RTC_CALIB.CP * 512} \right)$$

注意：n=20/19/18

当 RTC_PRE.DIVA[6:0]<3 时校准

当异步预分频器值(RTC_PRE.DIVA[6:0])小于 3 时，不能将 RTC_CALIB.CP 设置为 1，如果 RTC_CALIB.CP 值已设置为 1，则将被忽略。

假设 RTCCLK 频率为 32768Hz，当 RTC_PRE.DIVA[6:0]<3 时，RTC_PRE.DIVS[14:0]的值应该减小：

- 当 RTC_PRE.DIVA[6:0]=2,RTC_PRE.DIVS[14:0]=8189.
- 当 RTC_PRE.DIVA[6:0]=1,RTC_PRE.DIVS[14:0]=16379.
- 当 RTC_PRE.DIVA[6:0]=0,RTC_PRE.DIVS[14:0]=32759.

有效校准频率(f_{CAL})可使用以下公式计算：

$$f_{CAL} = f_{RTCCLK} * \left(1 + \frac{256 - RTC_CALIB.CM[8:0]}{2^n + RTC_CALIB.CM[8:0] - 265} \right)$$

2. N32 RTC 数字时钟精密校准教程

2.1 RTC 数字时钟精密校准输出配置

函数配置 RTC 数字时钟精密校准输出,配置 PC13 作为 RTC_OUT 功能引脚,输出 RTC 数字时钟精密校准后的波形,配置程序如下:

```
/* Calibrate output 1Hz signal */
RTC_ConfigCalibOutput(RTC_CALIB_OUTPUT_1HZ);
/* Calibrate output config,push pull */
RTC_ConfigOutputType(RTC_OUTPUT_PUSHPULL);
/* Calibrate output enable*/
RTC_EnableCalibOutput(ENABLE);
```

当配置RTC_OUT为数字时钟精密校准输出后,实测RTC_OUT引脚输出RTC日历校准后的时间间隔,从而得知数字时钟精密校准模块有无插入、减少RTC_CLK,RTC_OUT输出如下图:

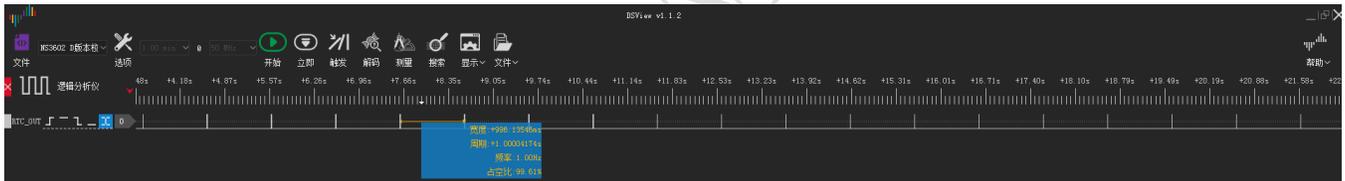


图2-1 RTC数字时钟精密校准输出波形图

2.2 RTC 数字时钟精密校准配置

SDK RTC驱动文件中提供了对RTC数字时钟精密校准配置的API, 代码如下:

```

/**
 * @brief Configures the Smooth Calibration Settings.
 * @param RTC_SmoothCalibPeriod Select the Smooth Calibration Period.
 * This parameter can be can be one of the following values:
 * @arg SMOOTH_CALIB_32SEC The smooth calibration periode is 32s.
 * @arg SMOOTH_CALIB_16SEC The smooth calibration periode is 16s.
 * @arg SMOOTH_CALIB_8SEC The smooth calibartion periode is 8s.
 * @param RTC_SmoothCalibPlusPulses Select to Set or reset the CALP bit.
 * This parameter can be one of the following values:
 * @arg RTC_SMOOTH_CALIB_PLUS_PULSES_SET Add one RTCCLK puls every 2**11
pulses.
 * @arg RTC_SMOOTH_CALIB_PLUS_PULSES__RESET No RTCCLK pulses are added.
 * @param RTC_SmoothCalibMinusPulsesValue Select the value of CALM[8:0] bits.
 * This parameter can be one any value from 0 to 0x000001FF.
 * @return An ErrorStatus enumeration value:
 * - SUCCESS: RTC Calib registers are configured
 * - ERROR: RTC Calib registers are not configured
 */
ErrorStatus RTC_ConfigSmoothCalib(uint32_t RTC_SmoothCalibPeriod,
                                uint32_t RTC_SmoothCalibPlusPulses,
                                uint32_t RTC_SmoothCalibMinusPulsesValue)
{
    ErrorStatus status = ERROR;
    uint32_t recalpfcount = 0;
    /* Check the parameters */
    assert_param(IS_RTC_SMOOTH_CALIB_PERIOD_SEL(RTC_SmoothCalibPeriod));
    assert_param(IS_RTC_SMOOTH_CALIB_PLUS(RTC_SmoothCalibPlusPulses));
    assert_param(IS_RTC_SMOOTH_CALIB_MINUS(RTC_SmoothCalibMinusPulsesValue));
}

```

```

/* Disable the write protection for RTC registers */
RTC->WRP = 0xCA;
RTC->WRP = 0x53;
/* check if a calibration is pending*/
if ((RTC->INITSTS & RTC_INITSTS_RECPF) != RESET)
{
    /* wait until the Calibration is completed*/
    while (((RTC->INITSTS & RTC_INITSTS_RECPF) != RESET) && (recalpfcount !=
RECALPF_TIMEOUT))
    {
        recalpfcount++;
    }
}
/* check if the calibration pending is completed or if there is no calibration operation at all*/
if ((RTC->INITSTS & RTC_INITSTS_RECPF) == RESET)
{
    /* Configure the Smooth calibration settings */
    RTC->CALIB = (uint32_t)((uint32_t)RTC_SmoothCalibPeriod |
(uint32_t)RTC_SmoothCalibPlusPulses
        | (uint32_t)RTC_SmoothCalibMinusPulsesValue);
    status = SUCCESS;
}
else
{
    status = ERROR;
}
/* Enable the write protection for RTC registers */
RTC->WRP = 0xFF;
return (ErrorStatus)(status);
}

```

用户可以通过该函数控制RTC数字时钟精密校准模块在一定时钟周期内增加或者减少RTC_CLK,从而控制日历时间的增加或者减少。

2.3 RTC 数字时钟精密校准配置

为了便于大家计算设置校准后的偏移值 (PPM)，现提供《RTC 校准公式计算 excel 表.xlsx》，用户可以根据设置周期和增加、减少的 RTCCLK 个数确认能校准后的误差值，如下图所示。

RTC异步预分频 (DIVA) 大于等于3				
校准后误差 (PPM)	校准后频率 (f _{CAL})	校准周期 (S)	减少RTCCLK个数 (CM)	增加RTCCLK个数 (CP)
-487.0902032	32752.03903	32	511	0
RTC异步预分频 (DIVA) 小于3				
校准后误差 (PPM)	校准后频率 (f _{CAL})	校准周期 (S)	减少RTCCLK个数 (CM)	增加RTCCLK个数 (CP)
973.6949624	32799.90604	8	1	512

图2-2 RTC数字时钟精密校准误差计算excel表格图

3. N32 RTC 数字时钟精密校准教程

3.1 RTC 数字时钟精密校准程序配置

RTC数字时钟精密校准算法如1.2章节描述。

下面通过一个例程来看看下RTC数字时钟精密校准模块的校准算法，以RTC_CLK=32.768KHz,校准周期为32S，CP=1，CM=511 为例讲解RTC精密校准的过程。程序配置如下：

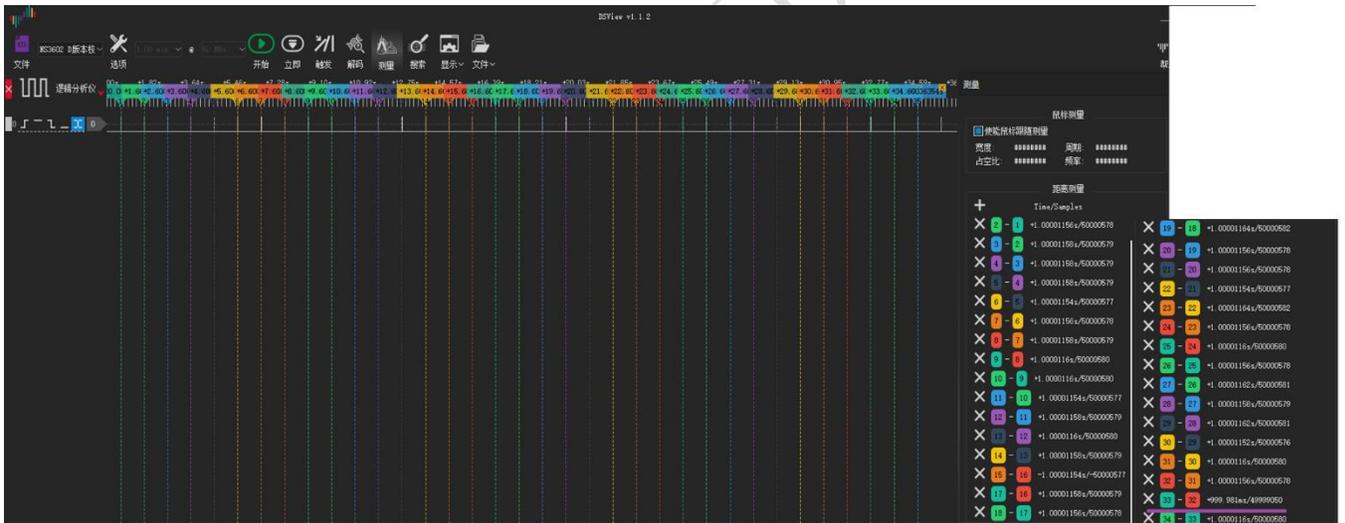
```
RTC_ConfigSmoothCalib(SMOOTH_CALIB_32SEC,RTC_SMOOTH_CALIB_PLUS_PULSES_SET,511);
```

3.2 RTC 数字时钟精密校准算法详解

以上 API 配置校准周期为 32S，CP=1 时将会在 32S 内增加 512 个 RTC_CLK 时钟,CM=511 时将会在 32S 内减少 511 个 RTC_CLK 时钟，最后等效在 32S 内增加一个 RTC_CLK。根据校准

3.3 RTC 数字时钟精密校准算法实测

通过对RTC_OUT引脚输出的RTC校准信号测量，发现1-31S实际计时为1S，第32S RTC日历实际计时999.981ms。符合3.1章节理论校准算法计算值。



4. 使用精密校准对 LSE 进行温补例程

4.1 LSE 温度曲线

在实际应用中如需要高精度的RTC日历计时，往往采用外部石英晶体的方式给RTC模块提供时钟，但外部石英晶体受环境影响，实际频率也存在一定波动，这时候需要使用使用数字时钟精密校准模块对外部石英晶体进行校准，以求减少因环境温度变化对RTC日历时间的影响。下图

为某一晶体型号频率偏差所对应的温度曲线图。

NATIONS CONFIDENTIAL

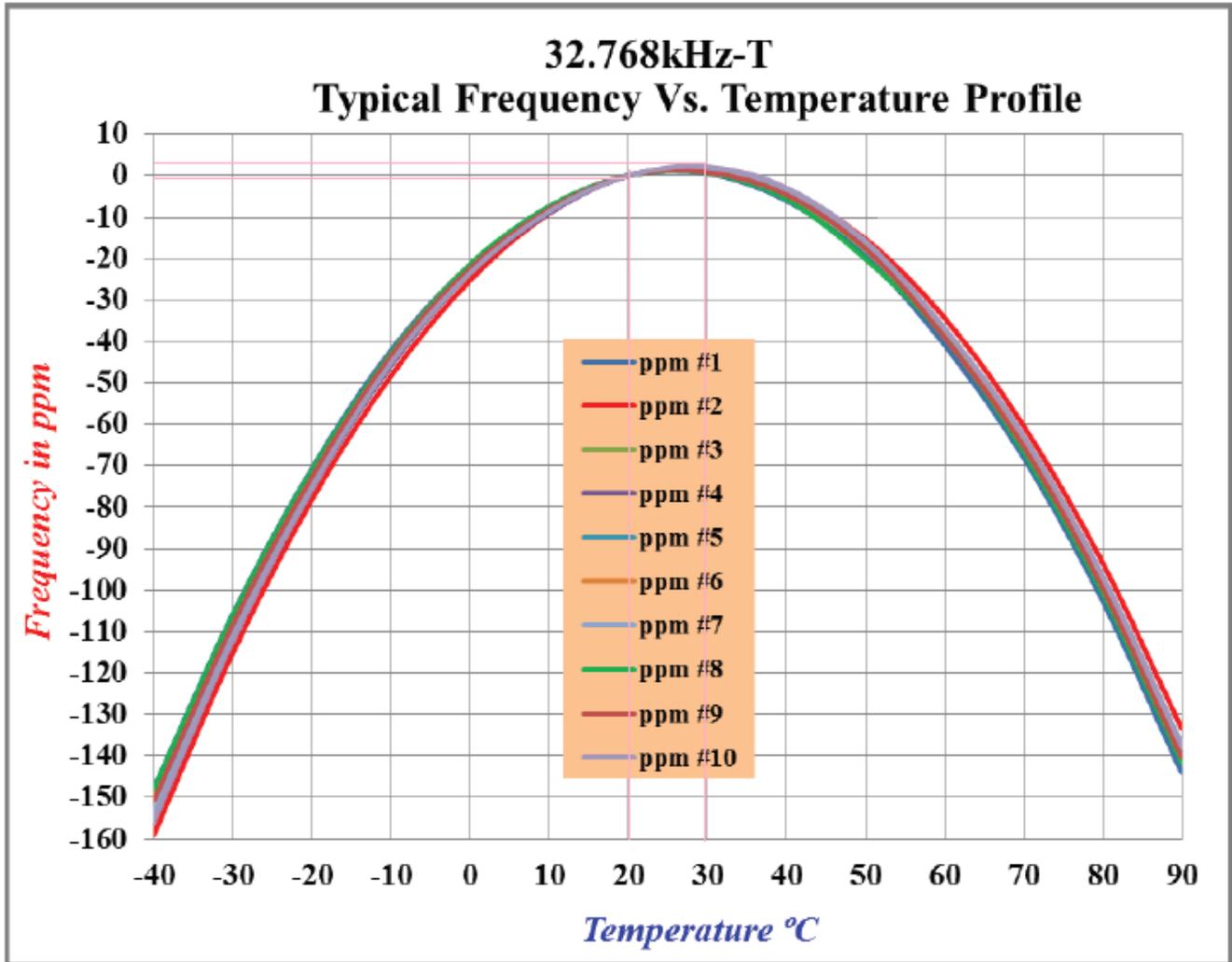


图4-1 石英晶体频率偏差温度曲线图

从该曲线我们可以看出在温度20~30°C该晶体的理论误差为-2~4ppm。

4.2 RTC 精密校准模块理论校准值

RTC精密校准模块分辨率约为0.954ppm(32S校准周期)，由图4-1石英晶体频率偏差温度曲线图可知该晶体在常温下（20~30°C）的理论误差约为-2~4ppm，则可得出理论上RTC精密校准模块32S需要减少2~4.19个RTC_CLK。才能补偿使用该晶体频率因温度变化带来的温度偏差。

4.3 RTC 精密校准配置代码

根据以上的理论计算，选择插入2个RTC_CLK即补偿外部晶体2ppm,校准配置代码如下

```
RTC_ConfigSmoothCalib(SMOOTH_CALIB_32SEC,RTC_SMOOTH_CALIB_PLUS_PULSES_SET,510);
```

4.4 RTC 精密校准实测

经过实测在常温下（20~30°C），不使用 RTC 精密校准模块校准，误差 18.4PPM，考虑到实际情况比 LSE 理想的温度曲线更复杂，所以实际情况偏离了理论值十几个 PPM 也正常,实际值需要实测才能得到。

```
(221015_16:54:49.071) The current date (WeekDay-Date-Month-Year) is : 3-20-11-19 RTC日历
(221015_16:54:49.071) //===== Current Time Display =====//
(221015_16:54:49.071) The current time (Hour-Minute-Second) is : 4:41:43 RTC时间
```

日志时间戳

RTC 在24h误差1591ms,即约18.4 PPM

```
(221016_16:54:50.662) The current date (WeekDay-Date-Month-Year) is : 4-21-11-19 RTC日历
(221016_16:54:50.662) //===== Current Time Display =====//
(221016_16:54:50.662) The current time (Hour-Minute-Second) is : 4:41:43 RTC时间
```

日志时间戳

通过在常温（20~30°C）不断校准尝试，在32S周期内插入5个LSE,RTC 24小时误差 171ms(1.97ppm),能显著提高RTC时间精度。

```
RTC_ConfigSmoothCalib(SMOOTH_CALIB_32SEC,RTC_SMOOTH_CALIB_PLUS_PULSES_SET,506);
```

```
(221125_09:21:21.113) The current date (WeekDay-Date-Month-Year) is : 3-20-11-19 RTC日历
(221125_09:21:21.113) //===== Current Time Display =====//
(221125_09:21:21.113) The current time (Hour-Minute-Second) is : 4:22:32 RTC时间
```

日志时间戳

RTC在24h 误差171ms 即1.979PPM

```
(221126_09:21:21.284) The current date (WeekDay-Date-Month-Year) is : 4-21-11-19 RTC日历
(221126_09:21:21.284) //===== Current Time Display =====//
(221126_09:21:21.284) The current time (Hour-Minute-Second) is : 4:22:32 RTC时间
```

日志时间戳

5. 历史版本

版本	日期	备注
V1.0	2022-11-16	创建文档

NATIONS CONFIDENTIAL

6. 声明

国民技术股份有限公司（下称“国民技术”）对此文档拥有专属产权。依据中华人民共和国的法律、条约以及世界其他法域相适用的管辖，此文档及其中描述的国民技术产品（下称“产品”）为公司所有。

国民技术在此并未授予专利权、著作权、商标权或其他任何知识产权许可。所提到或引用的第三方名称或品牌（如有）仅用作区别之目的。

国民技术保留随时变更、订正、增强、修改和改良此文档的权利，恕不另行通知。请使用者在下单购买前联系国民技术获取此文档的最新版本。

国民技术竭力提供准确可信的资讯，但即便如此，并不推定国民技术对此文档准确性和可靠性承担责任。

使用此文档信息以及生成产品时，使用者应当进行合理的设计、编程并测试其功能性和安全性，国民技术不对任何因使用此文档或本产品而产生的任何直接、间接、意外、特殊、惩罚性或衍生性损害结果承担责任。

国民技术对于产品在系统或设备中的应用效果没有任何故意或保证，如有任何应用在其发生操作不当或故障情况下，有可能致使人员伤亡、人身伤害或严重财产损失，则此类应用被视为“不安全使用”。

不安全使用包括但不限于：外科手术设备、原子能控制仪器、飞机或宇宙飞船仪器、所有类型的安全装置以及其他旨在支持或维持生命的应用。

所有不安全使用的风险应由使用人承担，同时使用人应使国民技术免于因为这类不安全使用而导致被诉、支付费用、发生损害或承担责任时的赔偿。

对于此文档和产品的任何明示、默示之保证，包括但不限于适销性、特定用途适用性和不侵权的保证责任，国民技术可在法律允许范围内进行免责。

未经明确许可，任何人不得以任何理由对此文档的全部或部分进行使用、复制、修改、抄录和传播。