



AN1053

应用笔记

PY32Fxxxx 系列电子烟应用指南

前言

本应用笔记将帮助客户了解PY32Fxxxx系列芯片，并且快速进行电子烟开发。

表1. 适用产品

类型	产品系列
微型控制器系列	PY32F002A、PY32F002A -E、PY32F003、PY32F003-E、 PY32F030、PY32F030-E PY32F002B PY32F040、PY32F071 PY32F403 PY32F031

目录

1	PY32F030/PY32F003/PY32F002A应用注意事项	5
1.1	PWR.....	5
1.1.1	看门狗.....	5
1.2	GPIO	5
1.2.1	引脚设计注意事项.....	5
1.3	ADC	5
1.3.1	ADC硬件设计注意事项	5
1.3.2	ADC配置.....	5
1.3.3	内部参考电压1.2V	6
1.4	I2C.....	6
1.4.1	PF0,PF1作为I2C引脚使用流程.....	6
1.4.2	I2C从机通讯	7
1.5	COMP	7
1.5.1	COMP2.....	7
1.6	RCC	7
1.6.1	PLL	7
1.6.2	HSI.....	8
1.7	SPI.....	8
1.7.1	SPI 使用DMA.....	8
1.7.2	SPI 发送和接收.....	8
1.8	IAP升级	8
1.9	LED.....	8
1.9.1	LED使用	8
1.10	OPTION操作	9
1.11	LPTIM 使用注意事项.....	11
2	PY32F002B应用注意事项	12
2.1	ADC	12
2.1.1	ADC硬件设计注意事项	12
2.1.2	ADC 内部1.2V	12
2.1.3	ADC配置.....	12

目录

2.2	PWR.....	13
2.2.1	看门狗.....	13
2.3	COMP	13
2.3.1	COMP使用注意事项.....	13
2.4	GPIO	13
2.4.1	引脚设计注意事项.....	13
2.5	I2C.....	13
2.5.1	I2C从机通讯	13
2.6	OPTION操作	13
2.7	LPTIM.....	14
2.7.1	LPTIM 连续模式注意事项	14
2.7.2	LPTIM 单次模式注意事项	14
3	PY32F040/PY32F071应用注意事项.....	15
3.1	ADC	15
3.1.1	ADC配置.....	15
3.1.2	内部参考电压1.2V	15
3.2	LPTIM.....	16
3.2.1	LPTIM连续模式	16
3.2.2	LPTIM单次模式	16
4	PY32F403应用注意事项.....	17
4.1	PWR.....	17
4.1.1	PLL	17
4.2	SPI	17
4.2.1	SPI配置	17
4.3	内部参考电压1.2V	17
5	PY32F031应用注意事项.....	18
5.1	内部参考电压1.2V	18
5.2	LPTIM.....	18
5.2.1	LPTIM连续模式	18
5.2.2	LPTIM单次模式	19
6	版本历史	20
附录1.....		21
1.1	PY32F030/PY32F003/PY3F002A低功耗模式下，定时唤醒喂狗例程(LL库)	21

目录

1.2 PY32F030/PY32F003/PY3F002A低功耗模式下, 定时唤醒喂狗例程(HAL库)	24
1.3 PY32F030/PY32F003/PY3F002A低功耗模式下, LSE做为LPTIM时钟源定时唤醒喂狗例程(LL库)	27
1.4 PY32F030/PY32F003/PY3F002A低功耗模式下, LSE做为LPTIM时钟源定时唤醒喂狗例程(HAL库) .	31
1.5 PLL48M做系统时钟时, IAP跳转关闭PLL	35
附录2	37
2.1 PY32F002B 低功耗模式下, 定时唤醒喂狗例程(LL库).....	37
2.2 PY32F002B 低功耗模式下, 定时唤醒喂狗例程(HAL库).....	40
附录3	43
3.1 PY32F030/PY32F003/PY32F002A读取information区域中存放的内部参考电压1.2V实测值(具体地址见1.3.3).....	43
3.2 PY32F002B读取information区域中存放的内部参考电压1.2V实测值(具体地址见2.1.1).....	44
3.3 PY32F040/PY32F071读取information区域中存放的内部参考电压1.2V实测值(具体地址见3.1.2).....	45
3.4 PY32F031读取information区域中存放的内部参考电压1.2V实测值(具体地址见5.1).....	46
附录4	47
4 PF0,PF1作为I2C引脚使用流程.....	47

1 PY32F030/PY32F003/PY32F002A应用注意事项

1.1 PWR

1.1.1 看门狗

- 为了提供系统稳定性一定要使能看门狗功能
- 推荐客户在Option中使能看门狗并根据实际情况软件设置看门狗溢出时间
- 一旦使能看门狗，软件无法关闭。所以在低功耗模式下，需使用LPTIM定时唤醒，对看门狗进行喂狗。(例程参考附录[1.1](#)、[1.2](#))
- MCU进STOP之前需关闭systick中断(HAL_SuspendTick())

1.2 GPIO

1.2.1 引脚设计注意事项

- 所有GPIO不能有超过-0.3V的负压
- 所有GPIO引脚的输入电压不得高于VCC+0.3V
- BOOT0 在任何复位产生的时候都不能为高电平(包括在被配置为普通GPIO状态后)，否则会进BOOTLOADER。
- 初始化GPIO等其他结构体都需要赋值为0，避免初始值不固定。

1.3 ADC

1.3.1 ADC硬件设计注意事项

- ADC所有通道的电压不能高于VCC (即使ADC通道未配置为AD功能),否则ADC采样异常。

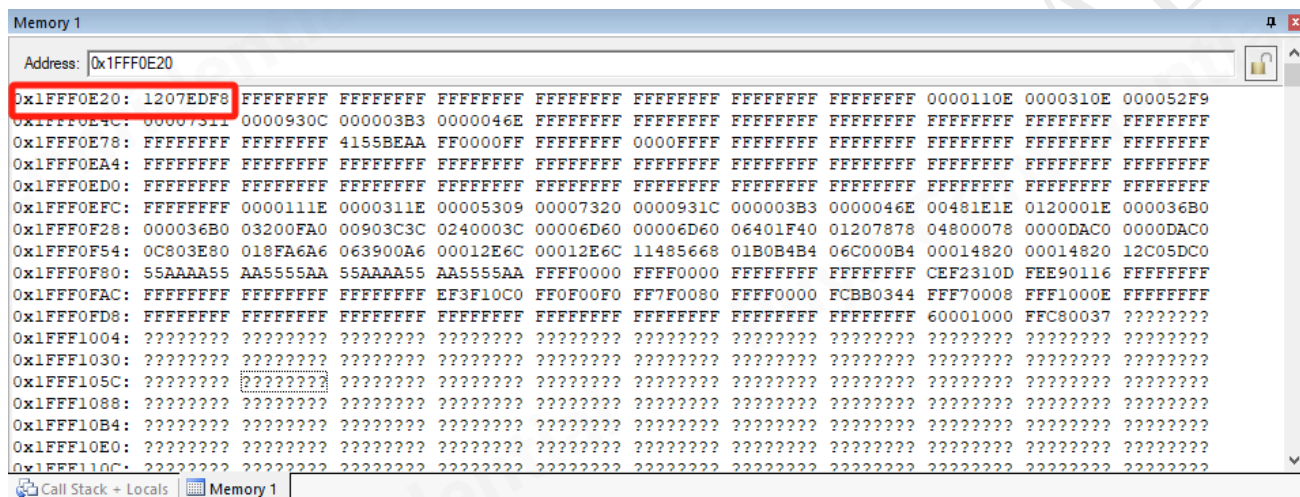
1.3.2 ADC配置

- ADC在连续模式或不连续模式下，仅使用通道0时，必须选择扫描序列向下。
- ADC 在单次模式下，转换结束后，需重新使能 ADC 模块 (ADC_EN = 1)，才能开始下一次转换 (ADC_EN 置 1 到 ADSTART 置 1，时间间隔应大于 8 个 ADC 时钟)。
- ADC使能后软件不能禁能，需要复位ADC模块，然后重新初始化ADC，最后启动ADC。
- ADC初始化前添加ADC_FORCE_RESET，确保初始化成功。
- ADC需要在使能前配置通道，若在使能后配置则会失败。
- ADC时钟需要配置到16MHz以下，确保ADC采样精度。

- ADC使能后需要增加8个ADC时钟的延时，才可以使能转换，否则会影响采样精度。
- 大功耗器件会影响ADC采样结果(例如数码管显示，建议数码管显示的时候不采样ADC,或者在数码管的各个数据线上串入10-100欧姆电阻，可根据实际情况进行调整)。

1.3.3 内部参考电压1.2V

- 芯片的内部参考电压1.2V实测值放置在FLASH中的information区域(0x1FFF0E20)。(高16位是实际值，低16位是反码)，读取内部参考电压1.2V的程序见附录3：



- 在采样内部参考电压1.2V的时候，通过ADC采样时间转换公式算出来的结果要至少20us，方法如下：
 - 降低分辨率。
 - 降低ADC的时钟频率。
 - 提高ADC采样周期。

总转换时间计算如下：

$$t_{CONV} = \text{采样时间} + (\text{转换分辨率} + 0.5) \times \text{ADC 时钟周期}$$

例如：

当 $\text{ADC_CLK} = 12\text{MHz}$ ，分辨率为12位，且采样时间为 239.5个ADC 时钟周期：

$$t_{CONV} = (239.5 + 12.5) \times \text{ADC 时钟周期} = 252 \times \text{ADC 时钟周期} = 21 \text{ us}$$

1.4 I2C

1.4.1 PF0,PF1作为I2C引脚使用流程

- I2C 在初始化引脚 PF0、PF1 做 SCL、SDA 后，IO 口拉低状态下会使 BUSY 位置 1，影响 I2C 使用。软件必须在 IO 口初始化后复位一次 I2C 模块，使 BUSY 位清零。

1.4.2 I2C从机通讯

- I2C从机在发送一帧数据后，主机重新发地址后buffer指针会加1，所以从机需在地址中断中重新初始化buffer指针。
- I2C作从机接收每一个字节都需要时钟延长的情况下，地址匹配成功后，主机发送的前两个字节无法时钟延长。
- I2C 作从机,主机读取从机数据, 最后一个字节主机不回 ACK, 从机进不了 STOP 中断,可使用 NACK 中断作 STOP 中断结束传输。(代码参考如下)

```
void I2C1_IRQHandler(void)
{
    HAL_I2C_EV_IRQHandler(&I2cHandle);
    HAL_I2C_ER_IRQHandler(&I2cHandle);
}
```

1.5 COMP

1.5.1 COMP2

- 使用比较器2需要同时使能比较器1的SCALER_EN。(代码参考如下)

```
int main(void)
{
    /* Reset of all peripherals, Initializes the SysTick */
    HAL_Init();

    __HAL_RCC_COMP1_CLK_ENABLE();           /* Enable COMP1 clock */
    __HAL_RCC_COMP2_CLK_ENABLE();           /* Enable COMP2 clock */
    SET_BIT(COMP1->CSR,COMP_CSR_SCALER_EN); /* Enable COMP1 SCALER_EN */

    while (1)
    {
    }
}
```

1.6 RCC

1.6.1 PLL

- PLL只能从24MHz倍频到48MHz。
- 开启了PLL，FLASH_LATENCY需要设置为1。
- PLL在休眠前需要关闭，并且把时钟切换到HSI。
- 48MHz，IAP跳转的时候关闭PLL。(例程参考附录[1.5](#))

1.6.2 HSI

- PY32F030-E、PY32F003-E、PY32F002A-E版本芯片的HSI不支持分频

1.7 SPI

1.7.1 SPI 使用DMA

- 先启动SPI，然后开启DMA。

1.7.2 SPI 发送和接收

- SPI作为主机接收一串数据会多一个字节，软件需要丢弃第一个字节，或者使用全双工替代半双工。
- 使用SPI主机发送时不推荐使用硬件片选，推荐使用软件片选，释放硬件片选需要disable SPI。
- SPI做主机发送时每个字节前会多发一个0x00,需要对DR寄存器做一下强制转换* ((__IO uint8_t *)&SPI1->DR)) = byte，可避免这个问题。
- SPI作为主机直接写DR寄存器发送数据的时候，需要在写DR后面添加四个NOP();确保发送成功。
- 建议客户直接使用库进行SPI操作。

1.8 IAP升级

- PY32F030/PY32F003/PY32F002A中，IAP跳转到APP中需要中断重映射，APP代码与中断矢量存于(0x80000000+VECT_TAB_PFFSET)的地址中，该地址为0x80001000，故VECT_TAB_OFFSET为0x1000，所以需定义VECT_TAB_OFFSET为0x1000 (#define VECT_TAB_OFFSET 0x1000)
- BOOT程序区域需要加写保护，避免BOOT被擦除。(写保护需要在烧写器上配置)。
- 程序中有写FLASH操作的需在程序区域加写保护，避免误操作程序区。

1.9 LED

1.9.1 LED使用

- 在单独使用大电流脚时，需要打开LED模块时钟，置位LED_CR_EHS = 1，并且配置GPIO速度为VERY_HIGH（参考代码如下）

```
int main(void)
{
    /* Reset of all peripherals, Initializes the SysTick */
    HAL_Init();
    SET_BIT(RCC->APBENR2,RCC_APBENR2_LEDEN);
    SET_BIT(LED->CR,LED_CR_EHS);
    APP_GpioConfig();
}

/**
 * @brief  GPIO configuration
 * @param  None
 * @retval None
 */
```

```
static void APP_GpioConfig(void)
{
    GPIO_InitTypeDef  GPIO_InitStructure = {0};

    __HAL_RCC_GPIOB_CLK_ENABLE();                /* Enable GPIOB clock */

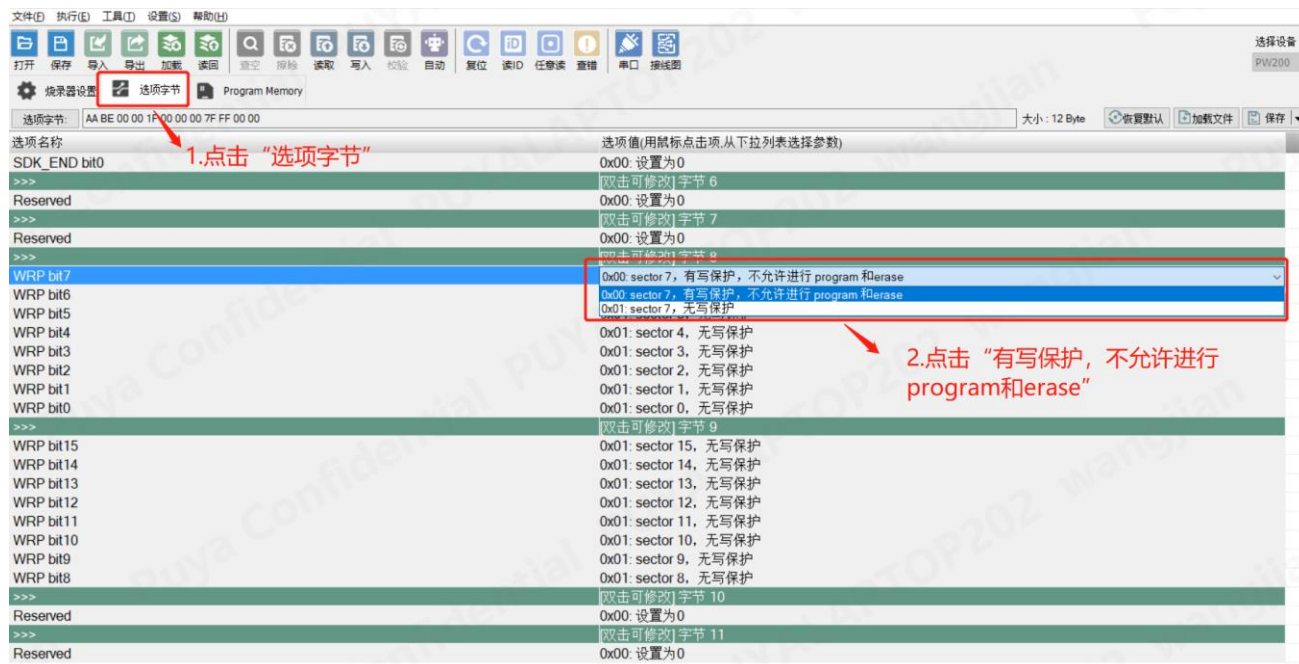
    GPIO_InitStructure.Pin = GPIO_PIN_3;
    GPIO_InitStructure.Mode = GPIO_MODE_OUTPUT_PP;        /* Push-pull output */
    GPIO_InitStructure.Pull = GPIO_NOPULL;                /* Enable pull-up */
    GPIO_InitStructure.Speed = GPIO_SPEED_FREQ_VERY_HIGH; /* GPIO speed */
    /* GPIO Initialization */
    HAL_GPIO_Init(GPIOB, &GPIO_InitStructure);
}
```

1.10 OPTION操作

- 量产时，option操作需要在烧写器选项字节中配置，并把程序中操作option的函数屏蔽。
- 建议客户程序使能写保护，写保护在OPTION中设置。
- 烧写器配置OPTION时，需勾选智能复位功能/编程后重启芯片(烧写器均有类似选项需要勾选)。
- FLASH只支持Page擦和Page写，一个Page是128字节，起始地址只能Page对齐(如起始地址0x08005000，0x08005080等)。
- 每次Page写之前必须先Page擦。



创芯工坊操作勾选“编程后重启芯片”



创芯工坊操作OPTION写保护



轩微操作“智能复位”



轩微操作OPTION写保护

1.11 LPTIM 使用注意事项

- LPTIM时钟源为LSE时，使能LSE之前需要先使能HSE。(例程参考附录1.3、1.4，PY32F030-E/PY32F003-E/PY32F002A-E版本不需要此操作)
- LPTIM 使用 RSTARE 功能时，两次读取 CNT 寄存器的间隔要满足 4 个 LSI 时钟；
- 当 LPTIM 使用 RCC_CCIPR->LPTIMSEL 来选择 PCLK 为时钟源时，预分频不能设置为 1，否则 LPTIM 有概率性运行异常。
- LPTIM 单次模式每次进入 Stop 前必须清 ARRMCF 并需等待 4 个 LSI 时钟周期。(约需 160 us，包含程序执行时间)
- 改 LPTIM 的重载值，需等待 4 个 LSI 时钟周期。(约需 160 us，包含程序执行时间)

2 PY32F002B应用注意事项

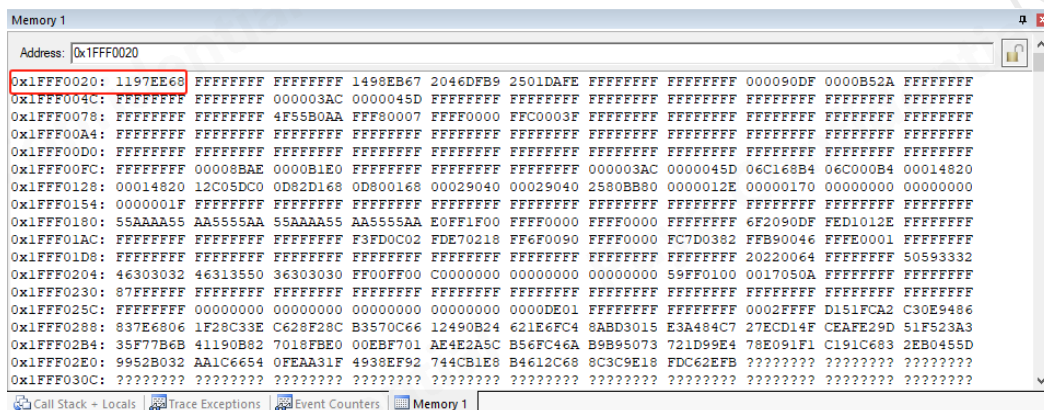
2.1 ADC

2.1.1 ADC硬件设计注意事项

- ADC所有通道的电压不能高于VCC (即使ADC通道未配置为AD功能),否则ADC采样异常。

2.1.2 ADC 内部1.2V

- 芯片的内部参考电压1.2V实测值放置在FLASH中的information区域(0x1FFF0020)。(高16位是实际值, 低16位是反码), 读取内部参考电压1.2V的程序见附录3:



- 使用内部参考电压1.5V时, 需要使能内部参考电压1.2V。
- 在采样内部参考电压1.2V的时候, 通过ADC采样时间转换公式算出来的结果要至少20us。
 - a) 降低分辨率。
 - b) 降低ADC的时钟频率。
 - c) 提高ADC采样周期。

总转换时间计算如下:

$$t_{CONV} = \text{采样时间} + (\text{转换分辨率} + 0.5) \times \text{ADC 时钟周期}$$

例如:

当 ADC_CLK = 12MHz, 分辨率为12位, 且采样时间为 3.5个ADC 时钟周期:

$$t_{CONV} = (239.5 + 12.5) \times \text{ADC 时钟周期} = 252 \times \text{ADC 时钟周期} = 21\mu s$$

2.1.3 ADC配置

- 切换ADC通道, 需要关闭ADC使能。
- ADC使能后需要增加8个ADC时钟的延时, 才可以使能转换, 否则会影响采样精度。
- 进休眠模式前, 需要复位ADC模块。

2.2 PWR

2.2.1 看门狗

- 为了提高系统稳定性一定要使能看门狗功能
- 推荐客户在Option中使能看门狗并根据实际情况软件设置看门狗溢出时间
- 一旦使能看门狗，软件无法关闭。所以在低功耗模式下，需使用LPTIM定时唤醒，对看门狗进行喂狗。(例程参考附录[2.1](#)、[2.2](#))
- MCU进STOP之前需关闭systick中断(HAL_SuspendTick())

2.3 COMP

2.3.1 COMP使用注意事项

- 比较器在低功耗模式下不支持唤醒。

2.4 GPIO

2.4.1 引脚设计注意事项

- 初始化GPIO等其他结构体都需要赋值为0，避免初始值不固定。
- 所有GPIO不能有超过-0.3V的负压

2.5 I2C

2.5.1 I2C从机通讯

- I2C从机在发送一帧数据后，主机重新发地址后buffer指针会加1，所以从机需在地址中断中重新初始化buffer指针。
- 在I2C从机接收到每一个字节都需要时钟延长时，I2C主机发地址到从机的前两个字节无法时钟延长。

2.6 OPTION操作

- 量产时，option操作需要在烧写器选项字节中配置，并把程序中操作option的函数屏蔽。
- 烧写器配置OPTION时，需勾选智能复位功能/编程后重启芯片(烧写器均有类似选项需要勾选，具体操作参考1.10图片)。
- FLASH只支持Page擦和Page写，一个Page是128字节，起始地址只能Page对齐(如起始地址0x08005000, 0x08005080等)。
- 每次Page写之前必须先Page擦。

2.7 LPTIM

- LPTIM 使用 RSTARE 功能时，两次读取 CNT 寄存器的间隔要满足 4 个 LSI 时钟；
- 当 LPTIM 使用 RCC_CCIPR->LPTIMSEL 来选择 PCLK 为时钟源时，预分频不能设置为 1，否则 LPTIM 有概率性运行异常；

2.7.1 LPTIM 连续模式注意事项

- LPTIM连续模式每次进入STOP前必须清ARRMCF并需等待1个LSI时钟周期*PSC系数（约需 $40\mu s * PSC$ ，包含程序执行时间）。
- 改LPTIM的重载值，需等待4个LSI时钟周期*PSC系数（约需 $160\mu s * PSC$ ，包含程序执行时间）。

2.7.2 LPTIM 单次模式注意事项

- LPTIM单次模式每次进入STOP前必须清ARRMCF并需等待4个LSI时钟周期（约需 $160\mu s$ ，包含程序执行时间）。
- 改LPTIM的重载值，需等待4个LSI时钟周期（约需 $160\mu s$ ，包含程序执行时间）。

3 PY32F040/PY32F071应用注意事项

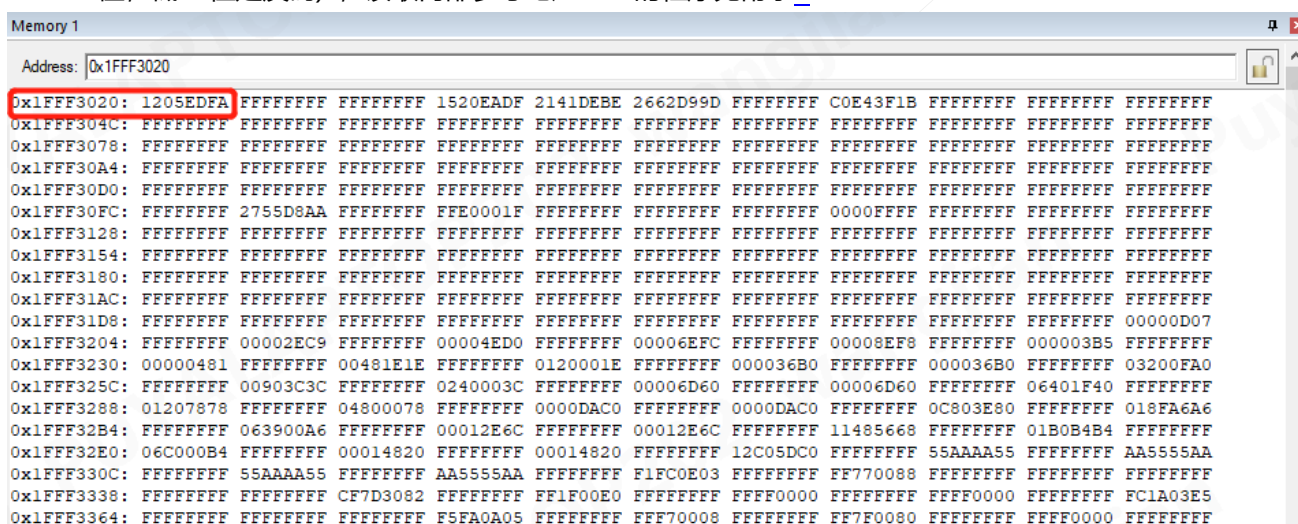
3.1 ADC

3.1.1 ADC配置

- 因为ADC在全部通道转换完成后才会一个EOC标志，所以没办法使用非DMA方式的多通道采样(可设置非连续模式使能，一个通道转换即有一个EOC标志)。
- 在使用ADC DMA连续采样内部通道(通道16-通道23)时，需要设置当前使用通道的前一个通道采样周期，而且需要设置采样周期一致，例如使用通道18 采样周期239.5，则通道17也需要设置采样周期239.5。(使用通道16时需要配置通道0的采样周期，且两个通道的采样周期需一致)

3.1.2 内部参考电压1.2V

- 芯片的内部参考电压1.2V实测值放置在FLASH中的information区域(0x1FFF3020)。(高16位是实际值，低16位是反码)，读取内部参考电压1.2V的程序见附录3：



- 在采样内部参考电压1.2V的时候，通过ADC采样时间转换公式算出来的结果要至少20us，方法如下：
 - a) 降低分辨率。
 - b) 降低ADC的时钟频率。
 - c) 提高ADC采样周期。

总转换时间计算如下：

$$t_{CONV} = \text{采样时间} + (\text{转换分辨率} + 0.5) \times \text{ADC 时钟周期}$$

例如：

当 $\text{ADC_CLK} = 12\text{MHz}$ ，分辨率为12位，且采样时间为 239.5个ADC 时钟周期：

$$t_{CONV} = (239.5 + 12.5) \times \text{ADC 时钟周期} = 252 \times \text{ADC 时钟周期} = 21 \text{ us}$$

3.2 LPTIM

- 当 LPTIM 使用 RCC_CCIPR->LPTIMSEL 来选择 PCLK 为时钟源时，预分频不能设置为 1，否则 LPTIM 有概率性运行异常；
- LPTIM 使用 RSTARE 功能时，两次读取 CNT 寄存器的间隔要满足 4 个 LSI 时钟；

3.2.1 LPTIM连续模式

- LPTIM 连续模式每次进入 Stop 前必须清 ARRMCF 并需等待 1 个 LSI 时钟周期*PSC 系数。(约需 40 us*PSC，包含程序执行时间)
- 改 LPTIM 的重载值，需等待 4 个 LSI 时钟周期*PSC 系数。(约需 160 us*PSC，包含程序执行时间)

3.2.2 LPTIM单次模式

- LPTIM 单次模式从 Stop 唤醒，再次进入 Stop 前需等待 4 个 LSI 时钟周期。(约需 160 us，包含程序执行时间)
- 改变重载值 LPTIM_ARR 时，需等待 4 个 LSI 时钟周期。(约需 160 us，包含程序执行时间)

4 PY32F403应用注意事项

4.1 PWR

4.1.1 PLL

- PLL 倍频后不支持读取OTP FLASH，需要在系统时钟为HSI 8MHz时进行读取。

4.2 SPI

4.2.1 SPI配置

- 建议SPI使用单工模式，TX使用polling模式，RX使用DMA模式。

4.3 内部参考电压1.2V

- 在采样内部参考电压1.2V的时候，通过ADC采样时间转换公式算出来的结果要至少20us，方法如下：
 - a) 降低分辨率。
 - b) 降低ADC的时钟频率。
 - c) 提高ADC采样周期。

总转换时间计算如下：

$$t_{\text{CONV}} = \text{采样时间} + (\text{转换分辨率} + 0.5) \times \text{ADC 时钟周期}$$

例如：

当 $\text{ADC_CLK} = 12\text{MHz}$ ，分辨率为12位，且采样时间为 239.5个ADC 时钟周期：

$$t_{\text{CONV}} = (239.5 + 12.5) \times \text{ADC 时钟周期} = 252 \times \text{ADC 时钟周期} = 21 \text{ us}$$

5 PY32F031应用注意事项

5.1 内部参考电压1.2V

- 芯片的内部参考电压1.2V实测值放置在FLASH中的information区域(0x1FFF0E20)。(高16位是实际值，低16位是反码)，读取内部参考电压1.2V的程序见附录3：

Memory 1									
Address: 0x1FFF0E20									
0x1FFF0E20:	1201EDFE	-00000001	1026EFD9	1502EAFD	2045DFBA	2503DAFC	-00000001	-431CBCE4	-00000001
0x1FFF0E48:	-00000001	-00000001	-00000001	000003AC	00000472	-00000001	-00000001	-00000001	-00000001
0x1FFF0E70:	-00000001	-00000001	-00000001	-00000001	4755B8AA	-00010000	-001FFFE1	0000FFFF	-00000001
0x1FFF0E98:	-00000001	-00000001	-00000001	-00000001	-00000001	-00000001	-00000001	-00000001	-00000001
0x1FFF0EC0:	-00000001	-00000001	-00000001	-00000001	-00000001	-00000001	-00000001	-00000001	-00000001
0x1FFF0EE8:	-00000001	-00000001	-00000001	-00000001	-00000001	-00000001	00000CF9	00002CFB	00004D0F
0x1FFF0F10:	00008EE6	000003AC	00000472	00481E1E	0120001E	000036B0	000036B0	03200FA0	00903C3C
0x1FFF0F38:	00006D60	00006D60	06401F40	01207878	04800078	0000DAC0	0000DAC0	0C803E80	018FA6A6
0x1FFF0F60:	00012E6C	00012E6C	11485668	01B0B4B4	06C000B4	00014820	00014820	12C05DC0	55AAAA55
0x1FFF0F88:	55AAAA55	-55AAAA56	-00000001	-00000001	-00000001	-00000001	-3810C7F0	-0400FC00	-1F1DE0E3
0x1FFF0FB0:	-00C8FF38	-00010000	-0AA2F55E	-07F8F808	-0080FF80	-00010000	-0045FFB8	-0105FEFB	-0202FDFF
0x1FFF0FD8:	-1F00E100	-00010000	-00010000	-00010000	-00010000	-00010000	-00000001	0000FFFF	20220064
0x1FFF1000:	????????	????????	????????	????????	????????	????????	????????	????????	????????
0x1FFF1028:	????????	????????	????????	????????	????????	????????	????????	????????	????????
0x1FFF1050:	????????	????????	????????	????????	????????	????????	????????	????????	????????
0x1FFF1078:	????????	????????	????????	????????	????????	????????	????????	????????	????????

- 在采样内部参考电压1.2V的时候，通过ADC采样时间转换公式算出来的结果要至少20us，方法如下：

- 降低分辨率。
- 降低ADC的时钟频率。
- 提高ADC采样周期。

总转换时间计算如下：

$$t_{\text{CONV}} = \text{采样时间} + (\text{转换分辨率} + 0.5) \times \text{ADC 时钟周期}$$

例如：

当 ADC_CLK = 12MHz，分辨率为12位，且采样时间为 239.5个ADC 时钟周期：

$$t_{\text{CONV}} = (239.5 + 12.5) \times \text{ADC 时钟周期} = 252 \times \text{ADC 时钟周期} = 21 \text{ us}$$

5.2 LPTIM

- LPTIM 使用 RSTARE 功能时，两次读取 CNT 寄存器的间隔要满足 4 个 LSI 时钟；
- 当 LPTIM 使用 RCC_CCIPR->LPTIMSEL 来选择 PCLK 为时钟源时，预分频不能设置为 1，否则 LPTIM 有概率性运行异常；

5.2.1 LPTIM连续模式

- LPTIM 连续模式每次进入 STOP 前必须清 ARRMCF 并需等待 1 个 LSI 时钟周期*PSC 系数。(约需 40 us*PSC，包含程序执行时间)
- 改 LPTIM 的重载值，需等待 4 个 LSI 时钟周期*PSC 系数。(约需 160 us*PSC，包含程序执行时间)

5.2.2 LPTIM单次模式

- LPTIM 单次模式每次进入 Stop 前必须清 ARRMCF 并需等待 4 个 LSI 时钟周期。(约需 160 us, 包含程序执行时间)
- 改 LPTIM 的重载值, 需等待 4 个 LSI 时钟周期。(约需 160 us, 包含程序执行时间)

6 版本历史

版本	日期	更新记录
V1.0	2024.01.31	初版
V1.1	2024.02.21	更新I2C,SPI
V1.2	2024.02.27	更新文件格式, 1.1/1.2/1.3/1.4/1.7/2.1/2.2/2.4/2.5/6.3描述
V1.3	2024.3.22	更新2.2描述
V1.4	2024.03.25	更新1.1/1.2/1.3/1.10/2.1/2.2/2.4/2.6内容
V1.5	2024.05.14	更新1.1/1.3/1.7/2.1/2.2内容
V1.6	2024.07.04	修改1.1/1.2/1.3/1.4/1.5/1.6/1.7/1.8/1.9/1.10,新增1.11, 修改2.1/2.2/2.6/2.7, 修改附录例程
V1.7	2024.08.07	修改1.1.1/1.1.3/2.1.1/2.1.2/3.1.2,增加5.1/4.3 增加附录3内容
V1.8/V1.9/V2.0	2025.07.22	修改1.11, 增加2.7/5.2内容



Puya Semiconductor Co., Ltd.

声 明

普冉半导体(上海)股份有限公司（以下简称：“Puya”）保留更改、纠正、增强、修改Puya产品和/或本文档的权利，恕不另行通知。用户可在下单前获取产品的最新相关信息。

Puya产品是依据订单时的销售条款和条件进行销售的。

用户对Puya产品的选择和使用承担全责，同时若用于其自己或指定第三方产品上的，Puya不提供服务支持且不对此类产品承担任何责任。

Puya在此不授予任何知识产权的明示或暗示方式许可。

Puya产品的转售，若其条款与此处规定不一致，Puya对此类产品的任何保修承诺无效。

任何带有Puya或Puya标识的图形或字样是普冉的商标。所有其他产品或服务名称均为其各自所有者的财产。

本文档中的信息取代并替换先前版本中的信息。

普冉半导体(上海)股份有限公司 - 保留所有权利

1.1 PY32F030/PY32F003/PY3F002A低功耗模式下，定时唤醒喂狗例程(LL库)

```
int main(void)
{
    /* Configure system clock */
    APP_SystemClockConfig();

    /* Enable LPTIM and PWR clock */
    LL_APB1_GRP1_EnableClock(LL_APB1_GRP1_PERIPH_LPTIM1);
    LL_APB1_GRP1_EnableClock(LL_APB1_GRP1_PERIPH_PWR);

    /* Initialize LED and button */
    BSP_LED_Init(LED3);
    BSP_PB_Init(BUTTON_USER,BUTTON_MODE_GPIO);

    /* Configure LPTIM clock source as LSI */
    APP_LPTIMClockconf();
    /* Configure and enable LPTIM */
    APP_ConfigLPTIMOneShot();

    /* Turn on LED */
    BSP_LED_On(LED3);

    /* Wait for button press */
    while(BSP_PB_GetState(BUTTON_USER) != 0)
    {}
    APP_IwdgConfig();

    /* Turn off LED */
    BSP_LED_Off(LED3);

    while (1)
    {
        /* Enable low power run mode */
        LL_PWR_EnableLowPowerRunMode();
        /* Disable LPTIM */
        LL_LPTIM_Disable(LPTIM1);
        APP_uDelay(160); //必须在此处增加160us以上延迟
        /* Enable LPTIM */
        LL_LPTIM_Enable(LPTIM1);
        /* Set autoreload value */
        LL_LPTIM_SetAutoReload(LPTIM, 51);
        /* Start LPTIM in one-shot mode */
        LL_LPTIM_StartCounter(LPTIM1,LL_LPTIM_OPERATING_MODE_ONESHOT);

        /* Set SLEEPDEEP bit of Cortex System Control Register */
        LL_LPM_EnableDeepSleep();

        /* Request Wait For Interrupt */
        __WFI();
        LL_IWDG_ReloadCounter(IWDG);
        LL_GPIO_TogglePin(GPIOA,LL_GPIO_PIN_3);
    }
}
void APP_IwdgConfig(void)
{
    /* Enable LSI */
```

附录1

```
LL_RCC_LSI_Enable();
while (LL_RCC_LSI_IsReady() == 0U) {}

/* Enable IWDG */
LL_IWDG_Enable(IWDG);

/* Enable write access */
LL_IWDG_EnableWriteAccess(IWDG);

/* Set IWDG prescaler */
LL_IWDG_SetPrescaler(IWDG, LL_IWDG_PRESCALER_32); /* T=1MS */

/* Set watchdog reload counter */
LL_IWDG_SetReloadCounter(IWDG, 1000); /* 1ms*1000=1s */

/* IWDG initialization */
while (LL_IWDG_IsReady(IWDG) == 0U) {}

/* Feed watchdog */
LL_IWDG_ReloadCounter(IWDG);
}
/**
 * @brief LPTIM clock configuration
 * @param None
 * @retval None
 */
static void APP_LPTIMClockconf(void)
{
    /* Enable LSI */
    LL_RCC_LSI_Enable();

    /* Wait for LSI to be ready */
    while(LL_RCC_LSI_IsReady() == 0)
    {}

    /* Configure LSI as LPTIM clock source */
    LL_RCC_SetLPTIMClockSource(LL_RCC_LPTIM1_CLKSOURCE_LSI);
}

/**
 * @brief Configure LPTIM in one-shot mode
 * @param None
 * @retval None
 */
static void APP_ConfigLPTIMOneShot(void)
{
    /* Configure LPTIM */
    /* LPTIM prescaler: divide by 128 */
    LL_LPTIM_SetPrescaler(LPTIM1, LL_LPTIM_PRESCALER_DIV128);

    /* Update ARR at the end of LPTIM counting period */
    LL_LPTIM_SetUpdateMode(LPTIM1, LL_LPTIM_UPDATE_MODE_ENDOFPERIOD);

    /* Enable ARR interrupt */
    LL_LPTIM_EnableIT_ARRM(LPTIM1);

    /* Enable NVIC interrupt request */
    NVIC_EnableIRQ(LPTIM1_IRQn);
    NVIC_SetPriority(LPTIM1_IRQn, 0);
}
```

附录1

```
/* Enable LPTIM */
LL_LPTIM_Enable(LPTIM1);

/* Configure auto-reload value: 51 */
LL_LPTIM_SetAutoReload(LPTIM1,51);
}
void APP_LPTIMCallback(void)
{
    /*Toggle LED*/
    BSP_LED_Toggle(LED3);
}
static void APP_uDelay(uint32_t Delay)
{
    uint32_t temp;
    SysTick->LOAD=Delay*(SystemCoreClock/1000000);
    SysTick->VAL=0x00;
    SysTick->CTRL|=SysTick_CTRL_ENABLE_Msk;
    do
    {
        temp=SysTick->CTRL;
    }
    while((temp&0x01)&&!(temp&(1<<16)));
    SysTick->CTRL=0x00;
    SysTick->VAL =0x00;
}
static void APP_SystemClockConfig(void)
{
    /* Enable HSI */
    LL_RCC_HSI_Enable();
    while(LL_RCC_HSI_IsReady() != 1)
    {
    }

    /* Set AHB prescaler */
    LL_RCC_SetAHBPrescaler(LL_RCC_SYSCLK_DIV_1);

    /* Configure HSISYS as system clock source */
    LL_RCC_SetSysClkSource(LL_RCC_SYS_CLKSOURCE_HSYS);
    while(LL_RCC_GetSysClkSource() != LL_RCC_SYS_CLKSOURCE_STATUS_HSYS)
    {
    }

    /* Set APB1 prescaler */
    LL_RCC_SetAPB1Prescaler(LL_RCC_APB1_DIV_1);
    LL_Init1msTick(8000000);

    /* Update system clock global variable SystemCoreClock (can also be updated by calling
    SystemCoreClockUpdate function) */
    LL_SetSystemCoreClock(8000000);
}
void APP_ErrorHandler(void)
{
    /* Infinite loop */
    while(1)
    {
    }
}
```

1.2 PY32F030/PY32F003/PY3F002A低功耗模式下，定时唤醒喂狗例程(HAL库)

```
int main(void)
{
    /* Reset of all peripherals, Initializes the SysTick */
    HAL_Init();

    /* Clock configuration */
    APP_RCCOscConfig();

    /* Initialize LED */
    BSP_LED_Init(LED3);

    /* Initialize button */
    BSP_PB_Init(BUTTON_USER, BUTTON_MODE_GPIO);

    /* LPTIM initialization */
    APP_LPTIMInit();

    /* Enable PWR */
    __HAL_RCC_PWR_CLK_ENABLE();

    /* Turn on LED */
    BSP_LED_On(LED_GREEN);

    /* Wait for button press */
    while (BSP_PB_GetState(BUTTON_USER) != 0)
    {
    }

    /* IWDG initialization */
    APP_IWDGInit();

    /* Turn off LED */
    BSP_LED_Off(LED_GREEN);

    while (1)
    {
        /* Disable LPTIM */
        __HAL_LPTIM_DISABLE(&LPTIMCONF);

        /* Enable LPTIM and interrupt, and start in single count mode */
        APP_LPTIMStart();

        /* Suspend SysTick interrupt */
        HAL_SuspendTick();
        /* Enter STOP mode with interrupt wakeup */
        HAL_PWR_EnterSTOPMode(PWR_LOWPOWERREGULATOR_ON, PWR_STOPENTRY_WFI);

        /* Resume SysTick interrupt */
        HAL_ResumeTick();
        if (HAL_IWDG_Refresh(&lwdgHandle) != HAL_OK)
        {
            Error_Handler();
        }

        /* LED Toggle */
        BSP_LED_Toggle(LED_GREEN);
    }
}
```

附录1

```
static void APP_RCCOscConfig(void)
{
    RCC_OscInitTypeDef OSCINIT;
    RCC_PeriphCLKInitTypeDef LPTIM_RCC;

    /* LSI clock configuration */
    OSCINIT.OscillatorType = RCC_OSCILLATORTYPE_LSI; /* Set the oscillator type to LSI */
    OSCINIT.LSIState = RCC_LSI_ON; /* Enable LSI */
    /* Clock initialization */
    if (HAL_RCC_OscConfig(&OSCINIT) != HAL_OK)
    {
        Error_Handler();
    }

    /* LPTIM clock configuration */
    LPTIM_RCC.PeriphClockSelection = RCC_PERIPHCLK_LPTIM; /* Select peripheral clock:
LPTIM */
    LPTIM_RCC.LptimClockSelection = RCC_LPTIMCLKSOURCE_LSI; /* Select LPTIM clock
source: LSI */
    /* Peripheral clock initialization */
    if (HAL_RCCEx_PeriphCLKConfig(&LPTIM_RCC) != HAL_OK)
    {
        Error_Handler();
    }

    /* Enable LPTIM clock */
    __HAL_RCC_LPTIM_CLK_ENABLE();
}

static void APP_LPTIMInit(void)
{
    /* LPTIM configuration */
    LPTIMCONF.Instance = LPTIM; /* LPTIM */
    LPTIMCONF.Init.Prescaler = LPTIM_PRESCALER_DIV128; /* Prescaler: 128 */
    LPTIMCONF.Init.UpdateMode = LPTIM_UPDATE_IMMEDIATE; /* Immediate update mode */
    /* Initialize LPTIM */
    if (HAL_LPTIM_Init(&LPTIMCONF) != HAL_OK)
    {
        Error_Handler();
    }
}

static void APP_LPTIMStart(void)
{
    /* Enable autoreload interrupt */
    __HAL_LPTIM_ENABLE_IT(&LPTIMCONF, LPTIM_IT_ARRM);

    __HAL_LPTIM_DISABLE(&LPTIMCONF);
    /* Delay 160us */
    APP_delay_us(160); //必须在此处增加160us以上延迟

    /* Enable LPTIM */
    __HAL_LPTIM_ENABLE(&LPTIMCONF);

    /* Load autoreload value */
    __HAL_LPTIM_AUTORELOAD_SET(&LPTIMCONF, 51);

    /* Start single count mode */
    __HAL_LPTIM_START_SINGLE(&LPTIMCONF);
}
```

附录1

```
static void APP_IWDGInit(void)
{
    IwdgHandle.Instance = IWDG;          /* Select IWDG */
    IwdgHandle.Init.Prescaler = IWDG_PRESCALER_32; /* Configure prescaler to 32 */
    IwdgHandle.Init.Reload = (1000);      /* Set IWDG counter reload value to 1000, 1s */
}

/* Initialize IWDG */
if (HAL_IWDG_Init(&IwdgHandle) != HAL_OK)
{
    APP_ErrorHandler();
}

static void APP_delay_us(int us)
{
    unsigned t1, t2, count, delta, sysclk; sysclk = 24 ; //Modify this according to the system clock

    t1 = SysTick->VAL;
    while(1)
    {
        t2 = SysTick->VAL;
        delta = t2 < t1 ? (t1 - t2) : (SysTick->LOAD - t2 + t1);
        if(delta >= us * sysclk)
            break;
    }
}

void Error_Handler(void)
{
    /* 无限循环 */
    while (1)
    {
    }
}
```

1.3 PY32F030/PY32F003/PY3F002A低功耗模式下，LSE做为LPTIM时钟源定时唤醒喂

狗例程(LL库)

```
int main(void)
{
    /* Configure system clock */
    APP_SystemClockConfig();

    /* Enable LPTIM and PWR clock */
    LL_APB1_GRP1_EnableClock(LL_APB1_GRP1_PERIPH_LPTIM1);
    LL_APB1_GRP1_EnableClock(LL_APB1_GRP1_PERIPH_PWR);

    /* Initialize LED and button */
    BSP_LED_Init(LED3);
    BSP_PB_Init(BUTTON_USER,BUTTON_MODE_GPIO);
    /* Configure LPTIM clock source as LSI */
    APP_LPTIMClockconf();

    /* Configure and enable LPTIM */
    APP_ConfigLPTIMOneShot();

    /* Turn on LED */
    BSP_LED_On(LED3);

    /* Wait for button press */
    while(BSP_PB_GetState(BUTTON_USER) != 0)
    {}
    APP_IwdgConfig();
    /* Turn off LED */
    BSP_LED_Off(LED3);

    while (1)
    {
        /* Enable low power run mode */
        LL_PWR_EnableLowPowerRunMode();
        /* Disable LPTIM */
        LL_LPTIM_Disable(LPTIM1);
        APP_uDelay(160);
        /* Enable LPTIM */
        LL_LPTIM_Enable(LPTIM1);
        /* Set autoreload value */
        LL_LPTIM_SetAutoReload(LPTIM, 51);

        /* Start LPTIM in one-shot mode */
        LL_LPTIM_StartCounter(LPTIM1,LL_LPTIM_OPERATING_MODE_ONESHOT);

        /* Set SLEEPDEEP bit of Cortex System Control Register */
        LL_LPM_EnableDeepSleep();

        /* Request Wait For Interrupt */
        __WFI();
        LL_IWDG_ReloadCounter(IWDG);
        LL_GPIO_TogglePin(GPIOA,LL_GPIO_PIN_3);
    }
}

void APP_IwdgConfig(void)
{
    /* Enable LSI */
}
```

附录1

```
LL_RCC_LSI_Enable();
while (LL_RCC_LSI_IsReady() == 0U) {}

/* Enable IWDG */
LL_IWDG_Enable(IWDG);

/* Enable write access */
LL_IWDG_EnableWriteAccess(IWDG);

/* Set IWDG prescaler */
LL_IWDG_SetPrescaler(IWDG, LL_IWDG_PRESCALER_32); /* T=1MS */

/* Set watchdog reload counter */
LL_IWDG_SetReloadCounter(IWDG, 1000); /* 1ms*1000=1s */

/* IWDG initialization */
while (LL_IWDG_IsReady(IWDG) == 0U) {}

/* Feed watchdog */
LL_IWDG_ReloadCounter(IWDG);
}
/**
 * @brief LPTIM clock configuration
 * @param None
 * @retval None
 */
static void APP_LPTIMClockconf(void)
{
    LL_PWR_EnableBkUpAccess();
    while(LL_PWR_IsEnabledBkUpAccess() == 0)
    {
    }
    LL_RCC_LSE_Enable();
    while (LL_RCC_LSE_IsReady() != 1)
    {
    }
    LL_PWR_DisableBkUpAccess();
    LL_APB1_GRP1_DisableClock(LL_APB1_GRP1_PERIPH_PWR);

    /* Configure LSI as LPTIM clock source */
    LL_RCC_SetLPTIMClockSource(LL_RCC_LPTIM1_CLKSOURCE_LSE);
}

/**
 * @brief Configure LPTIM in one-shot mode
 * @param None
 * @retval None
 */
static void APP_ConfigLPTIMOneShot(void)
{
    /* Configure LPTIM */
    /* LPTIM prescaler: divide by 128 */
    LL_LPTIM_SetPrescaler(LPTIM1, LL_LPTIM_PRESCALER_DIV128);

    /* Update ARR at the end of LPTIM counting period */
    LL_LPTIM_SetUpdateMode(LPTIM1, LL_LPTIM_UPDATE_MODE_ENDOFPERIOD);

    /* Enable ARR interrupt */
    LL_LPTIM_EnableIT_ARRM(LPTIM1);
```

附录1

```
/* Enable NVIC interrupt request */
NVIC_EnableIRQ(LPTIM1_IRQn);
NVIC_SetPriority(LPTIM1_IRQn,0);

/* Enable LPTIM */
LL_LPTIM_Enable(LPTIM1);

/* Configure auto-reload value: 51 */
LL_LPTIM_SetAutoReload(LPTIM1,51);
}

/**
 * @brief LPTIM ARR interrupt callback function
 * @param None
 * @retval None
 */
void APP_LPTIMCallback(void)
{
    /*Toggle LED*/
    BSP_LED_Toggle(LED3);
}

/**
 * @brief Microsecond delay function
 * @param Delay; delay value
 * @retval None
 */
static void APP_uDelay(uint32_t Delay)
{
    uint32_t temp;
    SysTick->LOAD=Delay*(SystemCoreClock/1000000);
    SysTick->VAL=0x00;
    SysTick->CTRL|=SysTick_CTRL_ENABLE_Msk;
    do
    {
        temp=SysTick->CTRL;
    }
    while((temp&0x01)&&!(temp&(1<<16)));
    SysTick->CTRL=0x00;
    SysTick->VAL =0x00;
}

/**
 * @brief System clock configuration function
 * @param None
 * @retval None
 */
static void APP_SystemClockConfig(void)
{
    /* Enable HSI */
    LL_RCC_HSI_Enable();

    while(LL_RCC_HSI_IsReady() != 1)
    {
    }

    LL_RCC_HSE_Enable();
    LL_RCC_HSE_SetFreqRegion(LL_RCC_HSE_16_32MHz);
    while(LL_RCC_HSE_IsReady() != 1)
    {
    }
}
```

附录1

```
/* Set AHB prescaler */
LL_RCC_SetAHBPrescaler(LL_RCC_SYSCLK_DIV_1);

/* Configure HSISYS as system clock source */
LL_RCC_SetSysClkSource(LL_RCC_SYS_CLKSOURCE_HSYSYS);
while(LL_RCC_GetSysClkSource() != LL_RCC_SYS_CLKSOURCE_STATUS_HSYSYS)
{
}

/* Set APB1 prescaler */
LL_RCC_SetAPB1Prescaler(LL_RCC_APB1_DIV_1);
LL_Init1msTick(8000000);

/* Update system clock global variable SystemCoreClock (can also be updated by calling
SystemCoreClockUpdate function) */
LL_SetSystemCoreClock(8000000);
}

/**
 * @brief This function is executed in case of error occurrence.
 * @param None
 * @retval None
 */
void APP_ErrorHandler(void)
{
    /* Infinite loop */
    while(1)
    {
    }
}
```

1.4 PY32F030/PY32F003/PY3F002A低功耗模式下，LSE做为LPTIM时钟源定时唤醒喂

狗例程(HAL库)

```
int main(void)
{
    /* Reset of all peripherals, Initializes the Systick */
    HAL_Init();

    APP_SystemClockConfig();

    /* Clock configuration */
    APP_RCCOscConfig();

    __HAL_RCC_LSI_ENABLE();

    /* Initialize LED */
    BSP_LED_Init(LED3);

    /* Initialize button */
    BSP_PB_Init(BUTTON_USER, BUTTON_MODE_GPIO);

    /* LPTIM initialization */
    APP_LPTIMInit();

    /* Enable PWR */

    /* Turn on LED */
    BSP_LED_On(LED_GREEN);

    /* Wait for button press */
    while (BSP_PB_GetState(BUTTON_USER) != 0)
    {
    }

    /* IWDG initialization */
    APP_IWDGInit();

    /* Turn off LED */
    BSP_LED_Off(LED_GREEN);

    while (1)
    {
        /* Disable LPTIM */
        __HAL_LPTIM_DISABLE(&LPTIMCONF);

        /* Enable LPTIM and interrupt, and start in single count mode */
        APP_LPTIMStart();

        /* Suspend Systick interrupt */
        HAL_SuspendTick();
        /* Enter STOP mode with interrupt wakeup */

        HAL_PWR_EnterSTOPMode(PWR_LOWPOWERREGULATOR_ON, PWR_STOPENTRY_WFI
        );
        /* Resume Systick interrupt */
        HAL_ResumeTick();
        if (HAL_IWDG_Refresh(&IwdgHandle) != HAL_OK)
        {
        }
    }
}
```

附录1

```
Error_Handler();
}
/* LED Toggle */
BSP_LED_Toggle(LED_GREEN);
}
}

static void APP_RCCOscConfig(void)
{
    RCC_OscInitTypeDef OSCINIT;
    RCC_PeriphCLKInitTypeDef LPTIM_RCC;

    /* LSI clock configuration */
    OSCINIT.OscillatorType = RCC_OSCILLATORTYPE_LSE; /* Set the oscillator type to LSE*/
    OSCINIT.LSEState = RCC_LSE_ON; /* Enable LSE */
    /* Clock initialization */
    if (HAL_RCC_OscConfig(&OSCINIT) != HAL_OK)
    {
        Error_Handler();
    }

    /* LPTIM clock configuration */
    LPTIM_RCC.PeriphClockSelection = RCC_PERIPHCLK_LPTIM; /* Select peripheral clock:
LPTIM */
    LPTIM_RCC.LptimClockSelection = RCC_LPTIMCLKSOURCE_LSE; /* Select LPTIM clock
source: LSE */
    /* Peripheral clock initialization */
    if (HAL_RCCEX_PeriphCLKConfig(&LPTIM_RCC) != HAL_OK)
    {
        Error_Handler();
    }
}

static void APP_SystemClockConfig(void)
{
    RCC_OscInitTypeDef RCC_OscInitStruct = {0};
    RCC_ClkInitTypeDef RCC_ClkInitStruct = {0};

    /* Configure clock sources HSE/HSI/LSE/LSI */
    RCC_OscInitStruct.OscillatorType = RCC_OSCILLATORTYPE_HSE |
RCC_OSCILLATORTYPE_HSI | RCC_OSCILLATORTYPE_LSI | RCC_OSCILLATORTYPE_LSE;
    RCC_OscInitStruct.HSIState = RCC_HSI_ON;
    /* Enable HSI */
    RCC_OscInitStruct.HSIDiv = RCC_HSI_DIV1;
    /* HSI not divided */
    RCC_OscInitStruct.HSICalibrationValue = RCC_HSICALIBRATION_24MHz;
    /* Configure HSI output clock as 8MHz */
    RCC_OscInitStruct.HSEState = RCC_HSE_ON;
    /* Enable HSE */
    RCC_OscInitStruct.HSEFreq = RCC_HSE_16_32MHz;
    /* HSE frequency range 16MHz to 32MHz */
    RCC_OscInitStruct.LSIState = RCC_LSI_OFF;
    /* Disable LSI */
    RCC_OscInitStruct.LSEState = RCC_LSE_OFF;
    /* Enable LSE */
    RCC_OscInitStruct.LSEDriver = RCC_ECSCR_LSE_DRIVER_1;
    /* LSE with default driving capability */
    RCC_OscInitStruct.PLL.PLLState = RCC_PLL_OFF;
    /* Disable PLL */
    /* Initialize RCC oscillator */
    if (HAL_RCC_OscConfig(&RCC_OscInitStruct) != HAL_OK)
    {

```

附录1

```
APP_ErrorHandler();
}

/* Initialize CPU, AHB, and APB bus clocks */
RCC_ClkInitStruct.ClockType = RCC_CLOCKTYPE_HCLK | RCC_CLOCKTYPE_SYSClk |
RCC_CLOCKTYPE_PCLK1; /* RCC system clock types */
RCC_ClkInitStruct.SYSCLKSource = RCC_SYSCLKSOURCE_HSI;
/* SYSClk source selection as LSE */
RCC_ClkInitStruct.AHBCLKDivider = RCC_SYSCLK_DIV1;
/* AHB clock not divided */
RCC_ClkInitStruct.APB1CLKDivider = RCC_HCLK_DIV1;
/* APB clock not divided */
/* Initialize RCC system clock (FLASH_LATENCY_0=24M or below; FLASH_LATENCY_1=48M) */
if (HAL_RCC_ClockConfig(&RCC_ClkInitStruct, FLASH_LATENCY_0) != HAL_OK)
{
    APP_ErrorHandler();
}
}
/* Enable LPTIM clock */
__HAL_RCC_LPTIM_CLK_ENABLE();
}
static void APP_LPTIMInit(void)
{
    /* LPTIM configuration */
    LPTIMCONF.Instance = LPTIM; /* LPTIM */
    LPTIMCONF.Init.Prescaler = LPTIM_PRESCALER_DIV128; /* Prescaler: 128 */
    LPTIMCONF.Init.UpdateMode = LPTIM_UPDATE_IMMEDIATE; /* Immediate update mode */
    /* Initialize LPTIM */
    if (HAL_LPTIM_Init(&LPTIMCONF) != HAL_OK)
    {
        Error_Handler();
    }
}

static void APP_LPTIMStart(void)
{
    /* Enable autoreload interrupt */
    __HAL_LPTIM_ENABLE_IT(&LPTIMCONF, LPTIM_IT_ARRM);

    __HAL_LPTIM_DISABLE(&LPTIMCONF);
    /* Delay 160us */
    APP_delay_us(160); //必须在此处增加160us以上延迟

    /* Enable LPTIM */
    __HAL_LPTIM_ENABLE(&LPTIMCONF);

    /* Load autoreload value */
    __HAL_LPTIM_AUTORELOAD_SET(&LPTIMCONF, 51);

    /* Start single count mode */
    __HAL_LPTIM_START_SINGLE(&LPTIMCONF);
}
static void APP_IWDGInit(void)
{
    IwdgHandle.Instance = IWDG; /* Select IWDG */
    IwdgHandle.Init.Prescaler = IWDG_PRESCALER_32; /* Configure prescaler to 32 */
    IwdgHandle.Init.Reload = (1000); /* Set IWDG counter reload value to 1000, 1s */
    /* Initialize IWDG */
    if (HAL_IWDG_Init(&IwdgHandle) != HAL_OK)
```

附录1

```
{
    APP_ErrorHandler();
}

static void APP_delay_us(int us)
{
    unsigned t1, t2, count, delta, sysclk; sysclk = 24 ; //Modify this according to the system clock

    t1 = SysTick->VAL;
    while(1)
    {
        t2 = SysTick->VAL;
        delta = t2<t1?(t1-t2):(SysTick->LOAD - t2 + t1);
        if(delta >= us * sysclk)
            break;
    }
}

void Error_Handler(void)
{
    /* 无限循环 */
    while (1)
    {
    }
}
```

1.5 PLL48M做系统时钟时，IAP跳转关闭PLL

```
LL_UTILS_ClkInitTypeDef UTILS_ClkInitStruct;
static void SYSCLK(void);
/**
 * @brief The application entry point.
 * @param None
 * @retval None
 */
int main(void)
{
    SYSCLK();
#ifdef JUMP_TO_APP_BY_USER_BUTTON
    /* Configure user Button */
    BSP_PB_Init(BUTTON_USER, BUTTON_MODE_GPIO);

    /* Check if the USER Button is pressed */
    if (BSP_PB_GetState(BUTTON_USER) == 0x00)
    {
        JumpToAddress(APP_ADDR);
    }
#endif

    APP_SystemClockConfig(LL_RCC_HSICALIBRATION_24MHz, 24000000);

    Bootloader_Init();

    /* Infinite loop */
    while (1)
    {
        Bootloader_ProtocolDetection();
    }
}
static void SYSCLK(void)
{
    /* Enable and initialize HSI */
    LL_RCC_HSI_Enable();
    LL_RCC_HSI_SetCalibFreq(LL_RCC_HSICALIBRATION_24MHz);
    while(LL_RCC_HSI_IsReady() != 1)
    {
    }

    LL_PLL_ConfigSystemClock_HSI(&UTILS_ClkInitStruct);

    /* Set AHB prescaler */
    LL_RCC_SetAHBPrescaler(LL_RCC_SYSCLK_DIV_1);

    /* Configure HSISYS as system clock and initialize it */
    LL_RCC_SetSysClkSource(LL_RCC_SYS_CLKSOURCE_PLL);
    while(LL_RCC_GetSysClkSource() != LL_RCC_SYS_CLKSOURCE_STATUS_PLL)
    {
    }

    /* Set APB1 prescaler and initialize it */
    LL_RCC_SetAPB1Prescaler(LL_RCC_APB1_DIV_1);
    /* Update system clock global variable SystemCoreClock (can also be updated by calling
    SystemCoreClockUpdate function) */
    LL_SetSystemCoreClock(48000000);
}
void APP_SystemClockConfig(uint32_t Value, uint32_t HCLKFrequency)
```

附录1

```
{
    /* HSI使能及初始化 */
    LL_RCC_HSI_Enable();
    LL_RCC_HSI_SetCalibFreq(Value);
    while(LL_RCC_HSI_IsReady() != 1)
    {
    }

    /* 设置AHB分频 */
    LL_RCC_SetAHBPrescaler(LL_RCC_SYSCLK_DIV_1);

    /* 配置HSISYS为系统时钟及初始化 */
    LL_RCC_SetSysClkSource(LL_RCC_SYS_CLKSOURCE_HSISYS);
    while(LL_RCC_GetSysClkSource() != LL_RCC_SYS_CLKSOURCE_STATUS_HSISYS)
    {
    }

    LL_FLASH_SetLatency(LL_FLASH_LATENCY_0);

    /* 设置APB1分频及初始化 */
    LL_RCC_SetAPB1Prescaler(LL_RCC_APB1_DIV_1);
    /* 更新系统时钟全局变量SystemCoreClock(也可以通过调用SystemCoreClockUpdate函数更新) */
    LL_SetSystemCoreClock(HCLKFrequency);
}
```

2.1 PY32F002B 低功耗模式下，定时唤醒喂狗例程(LL库)

```
int main(void)
{
    APP_SystemClockConfig();
    BSP_LED_Init(LED3);
    BSP_PB_Init(BUTTON_USER, BUTTON_MODE_GPIO);

    BSP_LED_On(LED_GREEN);

    /* Wait the button be pressed */
    while (BSP_PB_GetState(BUTTON_USER) != 0)
    {
    }

    APP_IwdgConfig();
    /* Set wake-up mode of the LPTIM(EXTI Line29) to event request */
    LL_EXTI_DisableIT(LL_EXTI_LINE_29); /* Disable interrupt request for EXTI Line29 */
    LL_EXTI_EnableEvent(LL_EXTI_LINE_29); /* Enable event request for EXTI Line29 */
    /* Set LSI as LPTIM clcok source */
    APP_ConfigLptimClock();

    /* Initialize LPTIM */
    LPTIM_InitStruct.Prescaler = LL_LPTIM_PRESCALER_DIV128; /* prescaler: 128 */
    LPTIM_InitStruct.UpdateMode = LL_LPTIM_UPDATE_MODE_IMMEDIATE; /* registers are
updated after each APB bus write access */
    if (LL_LPTIM_Init(LPTIM, &LPTIM_InitStruct) != SUCCESS)
    {
        APP_ErrorHandler();
    }
    /* LED off */
    BSP_LED_Off(LED_GREEN);

    /* Set LPTIM to continus mode Enable autoreload match interrupt */
    // APP_ConfigLptim();

    while (1)
    {
        APP_ConfigLptim();
        LL_LPTIM_ClearFLAG_ARRM(LPTIM1);

        /* Enable STOP mode */
        APP_EnterStop();
        LL_IWDG_ReloadCounter(IWDG);
        /* LED toggle */
        BSP_LED_Toggle(LED_GREEN);
    }
}

void APP_IwdgConfig(void)
{
    /* Enable LSI */
    LL_RCC_LSI_Enable();
    while (LL_RCC_LSI_IsReady() == 0U) {}

    /* Enable IWDG */
    LL_IWDG_Enable(IWDG);

    /* Enable write access to IWDG_PR, IWDG_RLR and IWDG_WINR registers */
}
```

附录2

```
LL_IWDG_EnableWriteAccess(IWDG);

/* Set IWDG prescaler */
LL_IWDG_SetPrescaler(IWDG, LL_IWDG_PRESCALER_32); /* T=1MS */

/* Set IWDG reload value */
LL_IWDG_SetReloadCounter(IWDG, 1000); /* 1ms*1000=3s */

/* Check if all flags Prescaler, Reload & Window Value Update are reset or not */
while (LL_IWDG_IsReady(IWDG) == 0U) {}

/* Reloads IWDG counter with value defined in the reload register */
LL_IWDG_ReloadCounter(IWDG);
}
static void APP_SystemClockConfig(void)
{
    /* Enable HSI */
    LL_RCC_HSI_Enable();
    while(LL_RCC_HSI_IsReady() != 1)
    {
    }

    /* Set AHB divider: HCLK = SYSCLK */
    LL_RCC_SetAHBPrescaler(LL_RCC_SYSCLK_DIV_1);

    /* HSISYS used as SYSCLK clock source */
    LL_RCC_SetSysClkSource(LL_RCC_SYS_CLKSOURCE_HSISYS);
    while(LL_RCC_GetSysClkSource() != LL_RCC_SYS_CLKSOURCE_STATUS_HSISYS)
    {
    }

    /* Set APB1 divider */
    LL_RCC_SetAPB1Prescaler(LL_RCC_APB1_DIV_1);
    LL_Init1msTick(24000000);

    /* Update CMSIS variable (which can be updated also through SystemCoreClockUpdate function)
    */
    LL_SetSystemCoreClock(24000000);
}
static void APP_ConfigLptimClock(void)
{
    /* Enabel LSI */
    LL_RCC_LSI_Enable();
    while(LL_RCC_LSI_IsReady() != 1)
    {
    }

    /* Select LSI as LPTIM clock source */
    LL_RCC_SetLPTIMClockSource(LL_RCC_LPTIM1_CLKSOURCE_LSI);

    /* Enable LPTIM clock */
    LL_APB1_GRP1_EnableClock(LL_APB1_GRP1_PERIPH_LPTIM1);
}
static void APP_ConfigLptim(void)
{
    /* Enable LPTIM1 interrupt */
    NVIC_SetPriority(LPTIM1_IRQn, 0);
    NVIC_EnableIRQ(LPTIM1_IRQn);

    /* Enable LPTIM autoreload match interrupt */
}
```

附录2

```
LL_LPTIM_EnableIT_ARRM(LPTIM);

LL_LPTIM_Disable(LPTIM);
APP_delay_us(160); //必须在此处增加160us以上延迟
/* Enable LPTIM */
LL_LPTIM_Enable(LPTIM);

/* Set autoreload value */
LL_LPTIM_SetAutoReload(LPTIM, 51);
/* LPTIM starts in continuous mode */
LL_LPTIM_StartCounter(LPTIM, LL_LPTIM_OPERATING_MODE_ONESHOT);
}
static void APP_delay_us(uint32_t nus)
{
    uint32_t temp;
    SysTick->LOAD=nus*(SystemCoreClock/1000000);
    SysTick->VAL=0x00;
    SysTick->CTRL|=SysTick_CTRL_ENABLE_Msk;
    do
    {
        temp=SysTick->CTRL;
    }
    while((temp&0x01)&&!(temp&(1<<16)));
    SysTick->CTRL=SysTick_CTRL_ENABLE_Msk;
    SysTick->VAL =0x00;
}
static void APP_EnterStop(void)
{
    /* Enable PWR clock */
    LL_APB1_GRP1_EnableClock(LL_APB1_GRP1_PERIPH_PWR);
    /* STOP mode with low power regulator ON */
    LL_PWR_SetLprMode(LL_PWR_LPR_MODE_LPR);
    /* SRAM retention voltage aligned with digital LDO output */
    LL_PWR_SetStopModeSramVoltCtrl(LL_PWR_SRAM_RETENTION_VOLT_CTRL_LDO);
    /* Enter DeepSleep mode */
    LL_LPM_EnableDeepSleep();
    /* Request Wait For event */
    __SEV();
    __WFE();
    __WFE();
    LL_LPM_EnableSleep();
}
void APP_LptimIRQCallback(void)
{
    if((LL_LPTIM_IsActiveFlag_ARRM(LPTIM) == 1) && (LL_LPTIM_IsEnabledIT_ARRM(LPTIM) == 1))
    {
        /* Clear autoreload match flag */
        LL_LPTIM_ClearFLAG_ARRM(LPTIM);
    }
}
void APP_ErrorHandler(void)
{
    /* Infinite loop */
    while (1)
    {
    }
}
```

2.2 PY32F002B 低功耗模式下，定时唤醒喂狗例程(HAL库)

```
int main(void)
{
    EXTI_ConfigTypeDef      ExtiCfg;

    /* Reset of all peripherals, Initializes the Systick. */
    HAL_Init();

    APP_IWDGConfig();

    /* Configure RCCOSC */
    APP_RCCOscConfig();

    /* Initialize LED */
    BSP_LED_Init(LED_GREEN);

    /* Initialize PA3 */
    APP_GpioConfig();

    /* Initialize button */
    BSP_PB_Init(BUTTON_USER, BUTTON_MODE_GPIO);

    /* LPTIM initialization */
    LPTIMConf.Instance = LPTIM1;                                /* LPTIM1 */
    LPTIMConf.Init.Prescaler = LPTIM_PRESCALER_DIV128; /* Prescaler: 128 */
    LPTIMConf.Init.UpdateMode = LPTIM_UPDATE_IMMEDIATE; /* Immediate update mode */
    /* Initialize LPTIM */
    if (HAL_LPTIM_Init(&LPTIMConf) != HAL_OK)
    {
        APP_ErrorHandler();
    }

    /* Configure EXTI Line as interrupt wakeup mode for LPTIM */
    ExtiCfg.Line = EXTI_LINE_29;
    ExtiCfg.Mode = EXTI_MODE_INTERRUPT;
    HAL_EXTI_SetConfigLine(&ExtiHandle, &ExtiCfg);

    /* Enable LPTIM1 interrupt */
    HAL_NVIC_SetPriority(LPTIM1_IRQn, 0, 0);
    HAL_NVIC_EnableIRQ(LPTIM1_IRQn);

    /* Suspend Systick */
    HAL_SuspendTick();

    /* LED ON*/
    BSP_LED_On(LED_GREEN);

    /* Wait for Button */
    while (BSP_PB_GetState(BUTTON_USER) != 0)
    {
    }

    /* LED OFF */
    BSP_LED_Off(LED_GREEN);

    /* Calculate the value required for a delay of macro-defined(Delay) */
    RatioNops = Delay * (SystemCoreClock / 1000000U) / 4;

    while (1)
```

附录2

```
{
    /* LPTIM must be disabled to restore internal state before next time enter stop mode */
    __HAL_LPTIM_DISABLE(&LPTIMConf);

    /* Wait at least three LSI times for the completion of the disable operation */
    APP_delay_us(160);           //必须在此处增加160us以上延迟
    /* Configure LPTIM for once mode and enable interrupt */
    HAL_LPTIM_SetOnce_Start_IT(&LPTIMConf, 51);

    /* Enter Stop Mode and Wakeup by WFI */
    HAL_PWR_EnterSTOPMode(PWR_LOWPOWERREGULATOR_ON,
        PWR_STOPENTRY_WFI);

    if (HAL_IWDG_Refresh(&lwdgHandle) != HAL_OK)
    {
        APP_ErrorHandler();
    }

    HAL_GPIO_TogglePin(GPIOA,GPIO_PIN_3);
}

void APP_IWDGConfig(void)
{
    lwdgHandle.Instance = IWDG;           /* IWDG */
    lwdgHandle.Init.Prescaler = IWDG_PRESCALER_32; /* Prescaler DIV 32 */
    lwdgHandle.Init.Reload = (1000);       /* IWDG Reload value 1000 */

    if (HAL_IWDG_Init(&lwdgHandle) != HAL_OK) /* Initialize the IWDG */
    {
        APP_ErrorHandler();
    }
}

/**
 * @brief LPTIM AutoReloadMatchCallback
 * @param None
 * @retval None
 */
void HAL_LPTIM_AutoReloadMatchCallback(LPTIM_HandleTypeDef *LPTIMConf)
{
    BSP_LED_Toggle(LED_GREEN);
}

/**
 * @brief Configure RCC
 * @param None
 * @retval None
 */
static void APP_RCCOscConfig(void)
{
    RCC_OscInitTypeDef OSCINIT = {0};
    RCC_PeriphCLKInitTypeDef LPTIM_RCC = {0};

    /* LSI Clock Configure */
    OSCINIT.OscillatorType = RCC_OSCILLATORTYPE_LSI; /* LSI */
    OSCINIT.LSIState = RCC_LSI_ON; /* LSI ON */
    OSCINIT.LSICalibrationValue = RCC_LSICALIBRATION_32768Hz; /* LSI Set 32768Hz */
    /* RCC Configure */
    if (HAL_RCC_OscConfig(&OSCINIT) != HAL_OK)
```

附录2

```
{
    APP_ErrorHandler();
}

LPTIM_RCC.PeriphClockSelection = RCC_PERIPHCLK_LPTIM;          /* Clock Configure
Selection: LPTIM */
LPTIM_RCC.LptimClockSelection = RCC_LPTIMCLKSOURCE_LSI;        /* Select LPTIM Clock
Source: LSI */
/* Peripherals Configure */
if (HAL_RCCEx_PeriphCLKConfig(&LPTIM_RCC) != HAL_OK)
{
    APP_ErrorHandler();
}

/* Enable LPTIM Clock */
__HAL_RCC_LPTIM_CLK_ENABLE();
}

/**
 * @brief  Configure GPIO
 * @param  None
 * @retval None
 */
static void APP_GpioConfig(void)
{
    /* Configuration pins */
    GPIO_InitTypeDef  GPIO_InitStruct;
    __HAL_RCC_GPIOA_CLK_ENABLE();          /* Enable the GPIO clock*/
    GPIO_InitStruct.Mode = GPIO_MODE_OUTPUT_PP; /* GPIO mode is OutputPP */
    GPIO_InitStruct.Pull = GPIO_PULLUP;      /* pull up */
    GPIO_InitStruct.Speed = GPIO_SPEED_FREQ_HIGH; /* The speed is high */
    GPIO_InitStruct.Pin = GPIO_PIN_3;
    HAL_GPIO_Init(GPIOA, &GPIO_InitStruct);
}

/**
 * @brief  Delayed by NOPS
 * @param  None
 * @retval None
 */
static void APP_DelayNops(uint32_t Nops)
{
    for(uint32_t i=0; i<Nops;i++)
    {
        __NOP();
    }
}

/**
 * @brief  This function is executed in case of error occurrence.
 * @param  None
 * @retval None
 */
void APP_ErrorHandler(void)
{
    while (1)
    {
    }
}
```

3.1 PY32F030/PY32F003/PY32F002A读取information区域中存放的内部参考电压

1.2V实测值(具体地址见1.3.3)

```
#define HAL_VREF_INT          (*(uint8_t*)(0x1fff0E23))
#define HAL_VREF_DEC          (*(uint8_t*)(0x1fff0E22))
#define vref_int              (*(uint8_t*)(HAL_VREF_INT))    //存放参考电压整数部分
#define vref_dec              (*(uint8_t*)(HAL_VREF_DEC))    //存放参考电压小数部分
float vref;              //参考电压值

static uint8_t Bcd2ToByte(uint8_t Value)
{
    uint32_t tmp = 0U;
    tmp = ((uint8_t)(Value & (uint8_t)0xF0) >> (uint8_t)0x4) * 10U;
    return (tmp + (Value & (uint8_t)0x0F));
}

float read_1_2V(void)
{
    uint8_t data_vref_int,data_vref_dec;
    data_vref_int = Bcd2ToByte(HAL_VREF_INT);
    data_vref_dec = Bcd2ToByte(HAL_VREF_DEC);

    //初始化所有外设, flash接口, systick

    vref = data_vref_int/10;    //计算参考电压
    vref = vref + ((data_vref_int%10)*0.1 + data_vref_dec*0.001);
    return vref;
}
```

3.2 PY32F002B读取information区域中存放的内部参考电压1.2V实测值(具体地址见2.1.1)

```
#define HAL_VREF_INT          (*(uint8_t*)(0x1fff0023))
#define HAL_VREF_DEC          (*(uint8_t*)(0x1fff0022))
#define vref_int              (*(uint8_t*)(HAL_VREF_INT))          //存放参考电压整数部分
#define vref_dec              (*(uint8_t*)(HAL_VREF_DEC))          //存放参考电压小数部分
float vref;                  //参考电压值

static uint8_t Bcd2ToByte(uint8_t Value)
{
    uint32_t tmp = 0U;
    tmp = ((uint8_t)(Value & (uint8_t)0xF0) >> (uint8_t)0x4) * 10U;
    return (tmp + (Value & (uint8_t)0x0F));
}

float read_1_2V(void)
{
    uint8_t data_vref_int,data_vref_dec;
    data_vref_int = Bcd2ToByte(HAL_VREF_INT);
    data_vref_dec = Bcd2ToByte(HAL_VREF_DEC);

    //初始化所有外设, flash接口, systick
    vref = data_vref_int/10;          //计算参考电压
    vref = vref + ((data_vref_int%10)*0.1 + data_vref_dec*0.001);
    return vref;
}
```

3.3 PY32F040/PY32F071读取information区域中存放的内部参考电压1.2V实测值(具体地址见3.1.2)

```
#define HAL_VREF_INT                (*(uint8_t*)(0x1fff3023))
#define HAL_VREF_DEC                (*(uint8_t*)(0x1fff3022))
#define vref_int                    (*(uint8_t*)(HAL_VREF_INT))        //存放参考电压整数部分
#define vref_dec                    (*(uint8_t*)(HAL_VREF_DEC))        //存放参考电压小数部分
float vref;                        //参考电压值

static uint8_t Bcd2ToByte(uint8_t Value)
{
    uint32_t tmp = 0U;
    tmp = ((uint8_t)(Value & (uint8_t)0xF0) >> (uint8_t)0x4) * 10U;
    return (tmp + (Value & (uint8_t)0x0F));
}

float read_1_2V(void)
{
    uint8_t data_vref_int,data_vref_dec;
    data_vref_int = Bcd2ToByte(HAL_VREF_INT);
    data_vref_dec = Bcd2ToByte(HAL_VREF_DEC);

    //初始化所有外设, flash接口, systick
    vref = data_vref_int/10;        //计算参考电压
    vref = vref + ((data_vref_int%10)*0.1 + data_vref_dec*0.001);
    return vref;
}
```

3.4 PY32F031读取information区域中存放的内部参考电压1.2V实测值(具体地址见5.1)

```
#define HAL_VREF_INT      (*(uint8_t*)(0x1fff0E23))
#define HAL_VREF_DEC      (*(uint8_t*)(0x1fff0E22))
#define vref_int          (*(uint8_t*)(HAL_VREF_INT))    //存放参考电压整数部分
#define vref_dec          (*(uint8_t*)(HAL_VREF_DEC))    //存放参考电压小数部分
float vref;          //参考电压值

static uint8_t Bcd2ToByte(uint8_t Value)
{
    uint32_t tmp = 0U;
    tmp = ((uint8_t)(Value & (uint8_t)0xF0) >> (uint8_t)0x4) * 10U;
    return (tmp + (Value & (uint8_t)0x0F));
}

float read_1_2V(void)
{
    uint8_t data_vref_int,data_vref_dec;
    data_vref_int = Bcd2ToByte(HAL_VREF_INT);
    data_vref_dec = Bcd2ToByte(HAL_VREF_DEC);

    //初始化所有外设, flash接口, systick
    vref = data_vref_int/10;    //计算参考电压
    vref = vref + ((data_vref_int%10)*0.1 + data_vref_dec*0.001);
    return vref;
}
```

4 PF0,PF1作为I2C引脚使用流程

```
void HAL_I2CInit(I2C_HandleTypeDef *hi2c)
{
    GPIO_InitTypeDef GPIO_InitStructure = {0};

    __HAL_RCC_I2C_CLK_ENABLE();                /* Enable I2C clock */
    __HAL_RCC_GPIOF_CLK_ENABLE();              /* Enable GPIOF clock */
    GPIO_InitStructure.Pin = GPIO_PIN_0 | GPIO_PIN_1;
    GPIO_InitStructure.Mode = GPIO_MODE_AF_OD; /* Open-drain mode */
    GPIO_InitStructure.Pull = GPIO_PULLUP;      /* Pull-up */
    GPIO_InitStructure.Speed = GPIO_SPEED_FREQ_VERY_HIGH;
    GPIO_InitStructure.Alternate = GPIO_AF12_I2C; /* Alternate as I2C */
    HAL_GPIO_Init(GPIOF, &GPIO_InitStructure); /* Initialize GPIO */
    /* Reset I2C */
    __HAL_RCC_I2C_FORCE_RESET();
    __HAL_RCC_I2C_RELEASE_RESET();
}
```