



MSP

摘要

本文档介绍了 MSPM0 的低功耗模式，基于 LP-MSPM0G3507 测量了系统和外设的功耗数据，并提供了从不同外设进入和退出低功耗模式的操作指导。

内容

1 MSPM0 低功耗模式简介	3
1.1 MSPM0 电源域简介	3
1.2 MSPM0 低功耗模式简介	4
1.3 基于 EnergyTrace™ 的功耗测量	5
2 MSPM0 系统功耗测量	8
3 MSPM0 外设功耗测量	9
3.1 GPIO	9
3.2 RTC	10
3.3 WWDT	11
3.4 计时器	11
3.5 UART	13
3.6 I2C	14
3.7 SPI	15
3.8 MCAN	15
3.9 SYSPLL	16
3.10 VREF	17
3.11 ADC	18
4 低功耗模式指南	19

插图清单

图 1-1. MSPM0G3507 系统图	3
图 1-2. MSPM0G 系列运行模式	4
图 1-3. 运行模式策略位配置	5
图 1-4. EnergyTrace 配置	6
图 1-5. 为 XDS110 配置 EnergyTrace	6
图 1-6. CCS 中的 EnergyTrace 工具简介	7
图 3-1. SysConfig 中的 GPIO 未使用引脚配置	10
图 3-2. STANDBY1 模式下的 RTC 功耗测试	10
图 3-3. STANDBY0 模式下的 WWDT 功耗测试	11
图 3-4. STANDBY1 模式下的 TIMG0 功耗测试	11
图 3-5. RUN0 模式下的 TIMA0 功耗测试	12
图 3-6. STANDBY1 模式下的 UART0 功耗测试	13
图 3-7. STANDBY1 模式下的 I2C 功耗测试	14
图 3-8. STANDBY1 模式下的 SPI 功耗测试	15
图 3-9. SYSPLL 配置	16
图 3-10. STANDBY1 模式下的 VREF 功耗测试	17
图 3-11. STANDBY1 模式下的 ADC 功耗测试	18

表格清单

表 2-1. 低功耗模式功耗测试表	8
-------------------	---

表 3-1. 外设功耗表.....	9
表 3-2. GPIO 功耗测试表.....	9
表 3-3. RTC 功耗测试表.....	10
表 3-4. RTC 功耗测试表.....	11
表 3-5. TIMG0 在 LFCLK 驱动下的功耗测试表.....	11
表 3-6. TIMA0 功耗测试表.....	12
表 3-7. UART0 功耗测试表.....	13
表 3-8. I2C 功耗测试表.....	14
表 3-9. SPI 功耗测试表.....	15
表 3-10. MCAN 功耗测试表.....	15
表 3-11. SYSPLL 功耗测试表.....	16
表 3-12. VREF 功耗测试表.....	17
表 3-13. ADC 功耗测试表.....	18
表 4-1. 外设进入/退出低功耗模式指南.....	19

商标

EnergyTrace™ and Code Composer Studio™ are trademarks of Texas Instruments.

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 MSPM0 低功耗模式简介

1.1 MSPM0 电源域简介

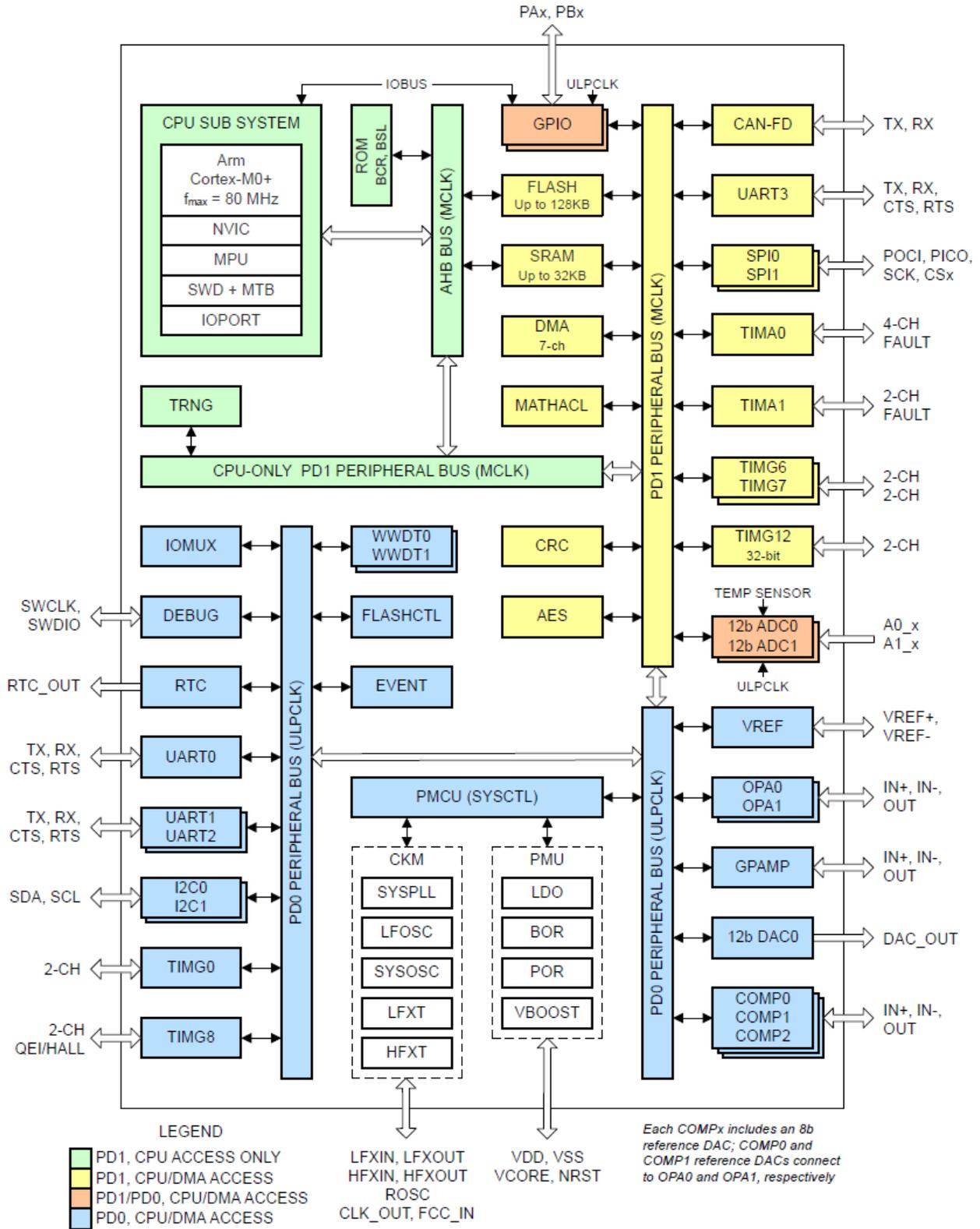


图 1-1. MSPM0G3507 系统图

MSPM0 器件中有两个核心电源域：PD1 和 PD0。

如图 1-1 所示，PD1 域包括 CPU 子系统、SRAM 存储器、PD1 外设和 PD1 外设总线，该总线通过 MCLK (包括 DMA，最高频率为 80MHz) 运行。PD1 外设总线上的外设通常是高速外设，运行时功耗一般较高。PD0 域包括 PD0 外设和 PD0 总线段，该总线由 ULPCLK 驱动，连接低速外设，如通用异步接收器/发送器 (UART)、内部集成电路 (I2C)、实时时钟 (RTC)。

MSPM0 MCU 实施基于策略的电源和时钟管理方案。在某些低功耗模式下，可以禁用 PD1 以更大限度地降低功耗，同时，PD1 域的所有外设也会同步禁用。

1.2 MSPM0 低功耗模式简介

MSPM0 器件支持五种功耗模式：RUN、SLEEP、STOP、STANDBY 和 SHUTDOWN。图 1-2 展示了各种模式之间的交互。

PD1 仅在 RUN 和 SLEEP 模式下启用。在 STOP 和 STANDBY 模式下禁用 PD1 时，CPU 寄存器、SRAM 和外设 MMR 配置寄存器将保持不变，以便在退出 STOP 或 STANDBY 模式时可立即使用这些模式恢复运行。

PD0 在除 SHUTDOWN 模式之外的所有模式下均通电，可视为“常开”域。PD0 通过 ULPCLK 运行 (在 RUN 和 SLEEP 模式下的最高频率为 40MHz，在 STOP 模式下为 4MHz，在 STANDBY 模式下为 32kHz)。

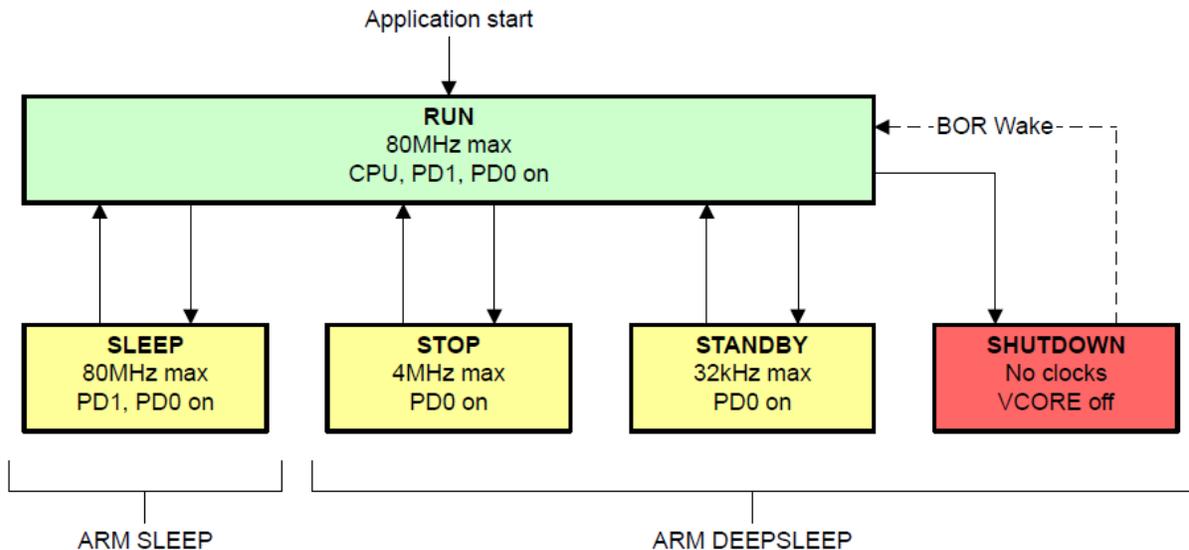


图 1-2. MSPM0G 系列运行模式

图 1-3 说明了如何为每种工作模式配置相关的策略位。所有值均以二进制格式表示。短横线 (-) 表示特定的策略位与指定的工作模式无关。有关这些低功耗模式的详细说明，请参阅 [MSPM0 G 系列 80MHz 微控制器技术参考手册 \(版本 A\) 第 2.1 节 PMCU 概述 \(ti.com.cn\)](#)。

Operating Mode Policy Control		RUN			SLEEP ⁽²⁾			STOP			STANDBY		SHUTDOWN
Register	Bit	RUN0	RUN1	RUN2	SLEEP0	SLEEP1	SLEEP2	STOP0	STOP1	STOP2 ⁽³⁾	STANDBY0	STANDBY1	
SYSOSCCFG	DISABLE ⁽¹⁾	0	0	1	0	0	1	-	-	(1)	-	-	-
	USE4MHZSTOP	-	-	-	-	-	-	0	1	0	-	-	-
	DISABLESTOP	-	-	-	-	-	-	0	0	1	-	-	-
MCLKCFG	USELFCCLK ⁽¹⁾	0	1	-	0	1	-	0	0	-	-	-	-
	STOPCLKSTBY	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	1	-
PMODECFG	DSLEEP	-	-	-	-	-	-	00	00	00	01	01	10
SCR	SLEEPDEEP	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1

图 1-3. 运行模式策略位配置

• RUN 模式

在 RUN 模式下，CPU 正在执行代码并且可以启用每个外设。

共有三个 RUN 模式策略选项：RUN0、RUN1 和 RUN2。

在 MSPM0 SDK 中，通过 `DL_SYSCCTL_setPowerPolicyRUNxSLEEPx()` API 函数配置时钟后，RUN 模式启动，其中 x 可以选择 0、1 或 2，分别代表三种不同的 RUN 模式策略。

• SLEEP 模式

在 SLEEP 模式下，会禁用 CPU（时钟选通），但在其他方面，器件配置与在 RUN 模式下相同。因此，SLEEP 模式的配置方法与 RUN 模式相同。差别在于，SLEEP 模式通过 WFI/WFE 指令暂停 CPU 的运行。

• STOP 模式

在 STOP 模式下，CPU、SRAM 和 PD1 外设被禁用并保留（如果适用）。PD0 外设的最高 ULPCLK 频率为 4MHz。SYSOSC 可以在更高的频率下运行以支持 ADC、OPA 或 COMP 运行，但 ULPCLK 将被 SYSCCTL 自动限制为 4MHz SYSOSC 输出。高速振荡器（SYSPLL、HFXT、HFCLK_IN）被自动禁用。

STOP 模式有三个策略选项：STOP0、STOP1 和 STOP2。

在 MSPM0 SDK 中，通过 `DL_SYSCCTL_setPowerPolicySTOPx()` API 函数配置，其中 x 可以选择 0、1 或 2，分别代表三种不同的 STOP 模式策略。STOP 模式的配置通过 WFI/WFE 指令触发生效。

• STANDBY 模式

在 STANDBY 模式下，CPU、SRAM 和 PD1 外设被禁用并保留。除了 ADC、12 位 DAC 和 OPA 外，PD0 外设的最高 ULPCLK 频率为 32kHz。高速振荡器（SYSPLL、HFXT、HFCLK_IN）和 SYSOSC 被禁用。

STANDBY 模式有 2 个策略选项：STANDBY0 和 STANDBY1。

STANDBY 模式通过 MSPM0 SDK 中的 `DL_SYSCCTL_setPowerPolicySTANDBYx()` API 函数配置，其中 x 可以选择 0 或 1，分别代表两种 STANDBY 模式策略。STANDBY 模式的配置通过 WFI/WFE 指令触发生效。

• SHUTDOWN 模式

在 SHUTDOWN 模式下，没有可用的时钟。内核稳压器被完全禁用，所有 SRAM 和寄存器内容都将丢失。BOR 和带隙电路被禁用。

该器件可通过支持唤醒功能的 IO、调试连接或 NRST 唤醒。

1.3 基于 EnergyTrace™ 的功耗测量

1.3.1 EnergyTrace 简介

XDS110 调试探针具有板载电路，可用于测量目标的能耗。其硬件电路支持低带宽的高精度能耗测量，测量电流范围为 1 μ A 至 100mA，当电流超过该范围时，工具将提示过流并自动关闭。该工具专为表征能耗而设计，但不适用于捕捉短时间的电流尖峰，因为其采样周期较大（约 500 μ s）。

有关 EnergyTrace 的详细介绍，请参阅 [XDS110 调试探针 第 3.6 节 Energy Trace \(ti.com.cn\)](#)。

1.3.2 使用 CCS 配置 EnergyTrace

若要在启动调试会话时自动启动 EnergyTrace 工具，请在 CCS 中按照以下步骤操作：进入“Window - Preferences - Code Composer Studio™ - EnergyTrace Technology”选项，勾选“Enable Auto-launch on target connect”复选框。

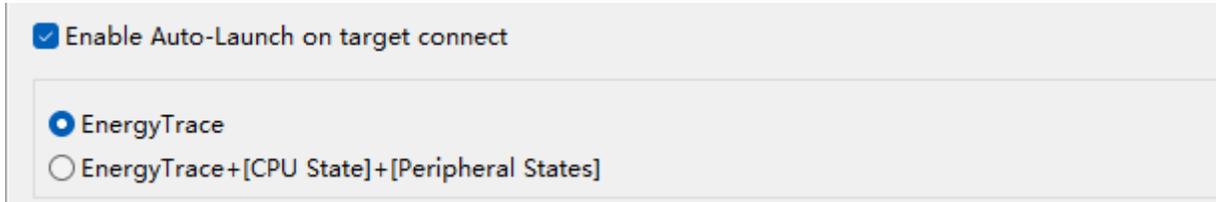


图 1-4. EnergyTrace 配置

如果需要在建立调试连接后启动 EnergyTrace 工具，当核心连接到目标系统时，将目标连接设置为 XDS110。

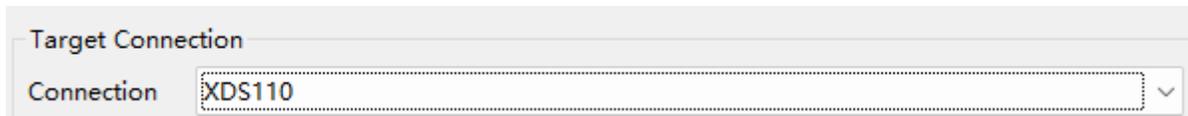


图 1-5. 为 XDS110 配置 EnergyTrace

图 1-6 展示了嵌入在 CCS 中的 EnergyTrace 工具的快速启动方法。这样可以测量并显示由 XDS110 调试探针提供给 MCU 系统板的电流，测量结果会显示在“Current”窗口中。此外，还可以导出数据，并在外部进行分析。

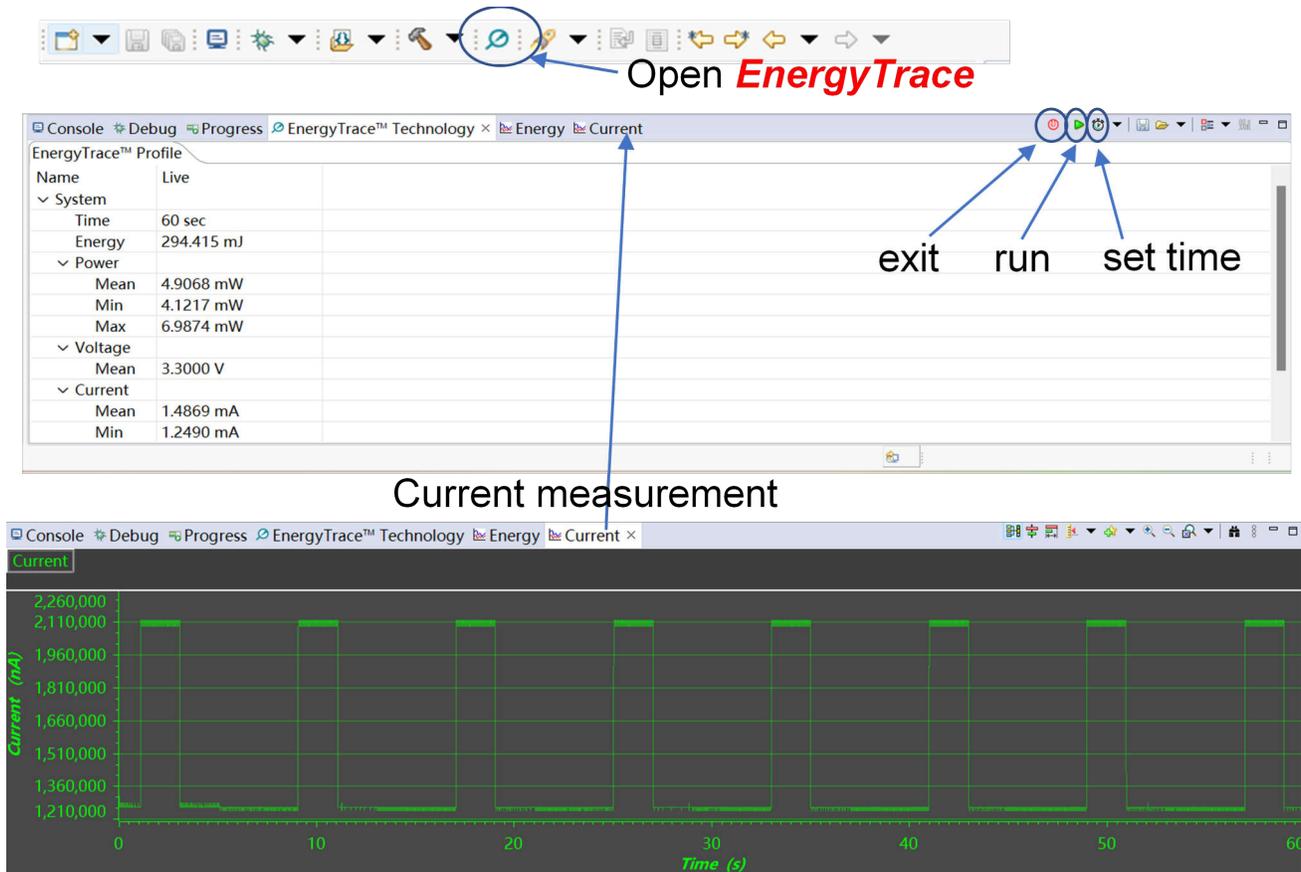


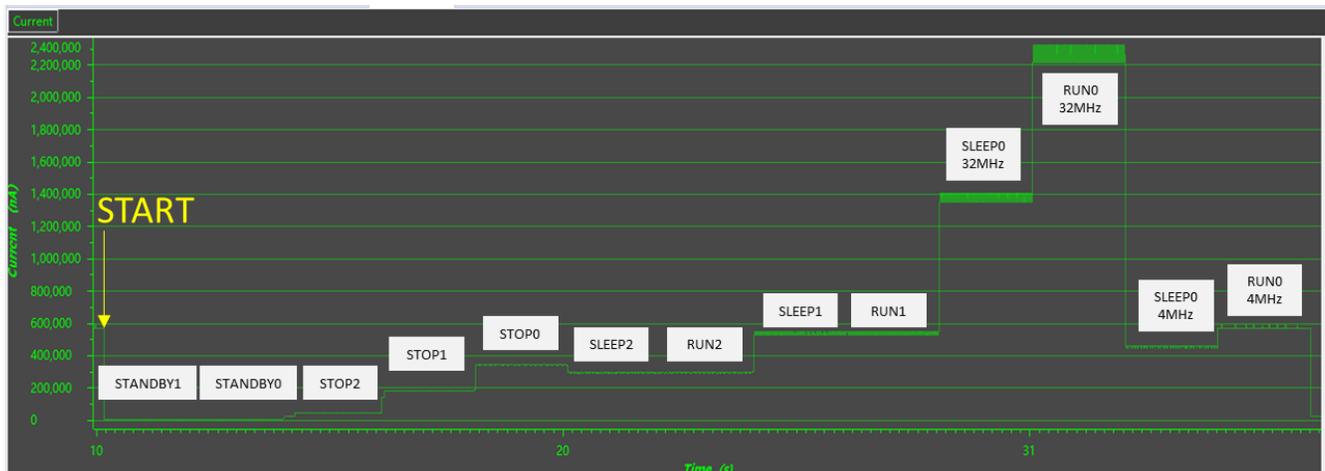
图 1-6. CCS 中的 EnergyTrace 工具简介

2 MSPM0 系统功耗测量

表 2-1 显示了在不同低功耗模式下，MSPM0G350x 系统的功耗测量结果及相应硬件/软件配置。若不启用外设，MSPM0 的功耗与时钟配置密切相关。参考表格中列出了不同低功耗策略下的 SYSOSC、MCLK 和 ULPCLK 配置情况。

表 2-1. 低功耗模式功耗测试表

低功耗模式	配置				电流
	低功耗策略	SYSOSC	MCLK	ULPCLK	
硬件	<ul style="list-style-type: none"> LP-MSPM0G3507 保持 J101 的 VDD、GND、SWCLK、SWIO 连接 断开 LP 中的所有其他跳线 				
软件	<ul style="list-style-type: none"> 禁用所有未使用的外设 禁用外部振荡器和时钟输出 TIMG0 每 2s 触发一次中断 每次 TIMG0 中断后切换低功耗模式 SYSOSC 初始配置为 32MHz 				
低功耗策略：	Standby1 + WFI	DIS	DIS	32kHz	1.5uA
	Standby0 + WFI	DIS	DIS	32kHz	1.9uA
	Stop2 + WFI	DIS	DIS	32kHz	46uA
	Stop1 + WFI	4MHz	DIS	4MHz	182uA
	Stop0 + WFI	32MHz	DIS	4MHz	346uA
	RUN2SLEEP2 + WFI	DIS	32kHz	32kHz	293uA
	RUN2SLEEP2 + while (1) {}	DIS	32kHz	32kHz	294uA
	RUN1SLEEP1 + WFI	32MHz	32kHz	32kHz	535uA
	RUN1SLEEP1+ while (1) {}	32MHz	32kHz	32kHz	536uA
	RUN0SLEEP0 + WFI (SYSOSC=32MHz)	32MHz	32MHz	32MHz	1.36mA
	RUN0SLEEP0 + while (1) {} (SYSOSC=32MHz)	32MHz	32MHz	32MHz	2.22mA
	RUN0SLEEP0 + WFI (SYSOSC=4MHz)	4MHz	4MHz	4MHz	456uA
	RUN0SLEEP0 + while (1) {} (SYSOSC=4MHz)	4MHz	4MHz	4MHz	569uA



根据上述功耗测试结果，可以得出以下结论：

- 无需使用 *WFI/WFE* 指令也可使 RUN 模式和 SLEEP 模式配置有效。
- 当 CPU 以 32kHz 的频率运行时，由于运行时钟频率较低，RUN1/RUN2 模式的功耗与 SLEEP1/SLEEP2 模式的功耗相近。

3 MSPM0 外设功耗测量

表 3-1 汇总了 MSPM0G350x 主要外设的功耗数据。有关各外设的详细功耗测试结果，请参阅以下章节。

以下表格中提供了两个功耗值的说明：

- LPM 功耗：在低功耗模式 (STANDBY0/1 模式) 下启用不同外设时的功耗电流。
- RUN0 模式下的静态功耗：在 RUN0 模式下禁用某个外设电源或模块后的功耗电流差。

表 3-1. 外设功耗表

外设	时钟	功耗		
		LPM 功耗	RUN0 模式下的静态功耗	
PD0	UART	ULPCLK=32MHz	3.5uA	80uA
	I2C	ULPCLK=32MHz	2.5uA	230uA
	TIMG0	LFCLK=32kHz	<0.1 μ A (STOP/STANDBY 模式下的运行功耗)	
	RTC/WWDT	LFCLK=32kHz		
PD1	TIMA0	MCLK=32MHz	30 μ A (RUN0 模式下的静态功耗)	
	SPI	MCLK=32MHz	4.1uA	170uA
	MCAN	HFCLK=40MHz	10.6uA	480uA
模拟	SYSPLL	SYSPLL2x =32MHz	38 μ A (STANDBY1 模式下的 LPM 功耗)	
	VREF	MCLK=32MHz	9.0uA	80uA
	ADC	MCLK=32MHz	2.5uA	60uA

以下章节提供了不同外设的功耗测试结果。常用的硬件和软件配置如下，各章节仅列出与对应外设的特定配置：

- 硬件
 - 基于 LP-MSPM0G3507
 - 除 J101 的 GND、3V3、SWDIO、SWDCLK 外，不安装其他跳线
 - LaunchPad 上的 GPIO 引脚未连接上拉/下拉电阻器
- 软件
 - 禁用所有未使用的外设
 - LFCLK = LFSOC、MCLK = SYSOSC (32MHz)
 - 启用 TIMG0 (时钟源为 LFCLK)，每 2s 切换一次运行条件

3.1 GPIO

表 3-2. GPIO 功耗测试表

GPIO	配置	电流
硬件	• 移除 PA21 中连接至 GND 的电阻器	
测试条件	未配置未使用的引脚	1.8uA
	将未使用的引脚配置为输出低电平	1.8uA
	将未使用引脚配置为输入，带下拉电阻	1.8uA
	将未使用引脚配置为输入，无内部电阻	4.0mA

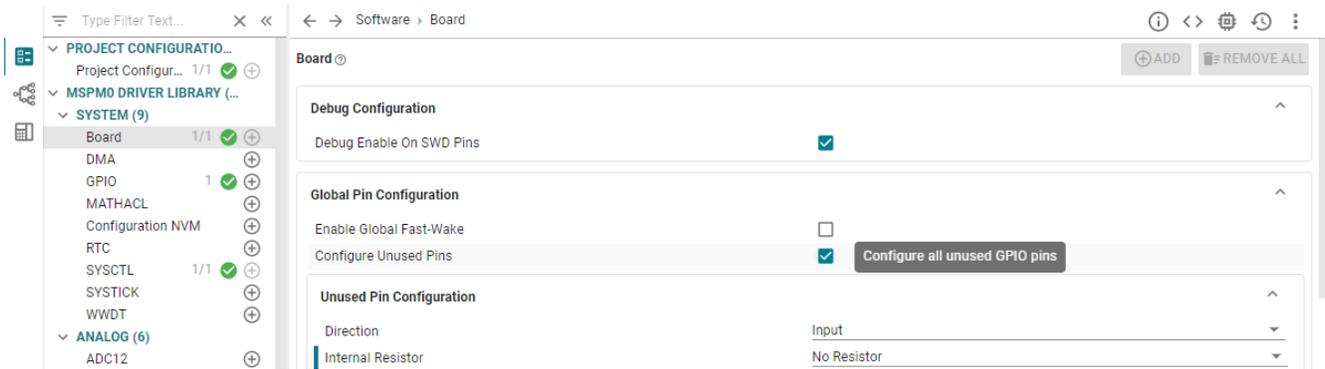


图 3-1. SysConfig 中的 GPIO 未使用引脚配置

根据以上表格，将引脚配置为输入且无内部电阻时，会导致异常的较大功耗。因此，为减少未使用引脚的功耗，不要将这些引脚配置为悬空输入，这一点很重要。相应地，可以将 GPIO 配置为输入并使用内部或外部下拉电阻。

当引脚被外设使用时（尤其是用作输入引脚时），悬空的输入引脚可能会导致较高的功耗，甚至可能在低功耗模式下激活外设。因此，建议将外设的输入引脚配置为上拉或下拉。

对于 MSPM0 中的任意引脚，断开引脚与其他器件连接的有效方法是通过 `DL_GPIO_initPeripheralAnalogFunction()` 将相应引脚配置为模拟输入。在这种情况下，该引脚既不配置为输入也不配置为输出，仅保持与模拟外设的连接路径。

3.2 RTC

图 3-2 展示了 RTC 在 STANDBY1 模式下几乎不消耗功率（与在 STANDBY0 模式下相同）。

表 3-3. RTC 功耗测试表

RTC	配置	电流
软件	• RTCCLK = LFCLK = 32kHz	
测试条件	启用 RTC、WFI (STANDBY1)	2.0uA
	禁用 RTC、WFI (STANDBY1)	2.0uA

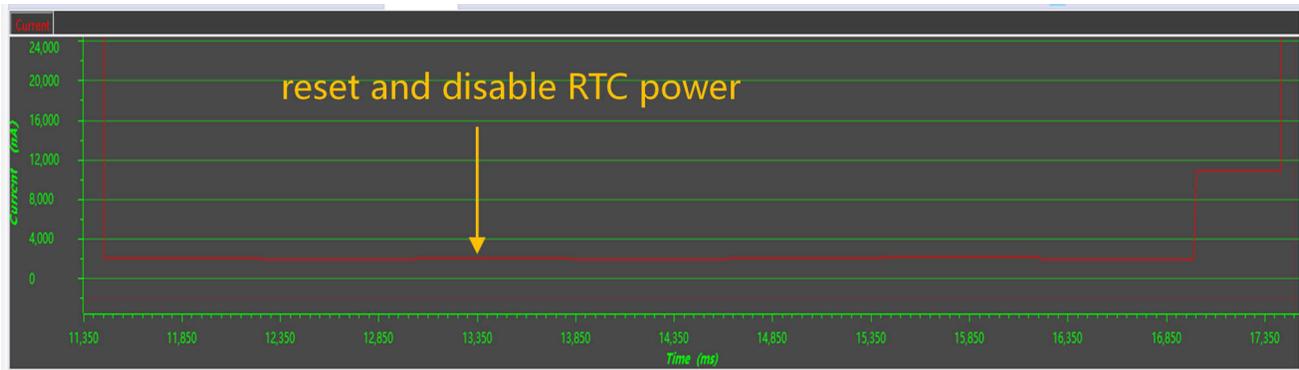


图 3-2. STANDBY1 模式下的 RTC 功耗测试

3.3 WWDT

图 3-3 显示了 WWDT 在 STANDBY0 模式下几乎无功耗 (<0.1 μA)，因为 STANDBY0 是 WWDT 的最低功耗运行模式。

表 3-4. RTC 功耗测试表

WWDT	配置	电流
软件	<ul style="list-style-type: none"> WWDT 周期配置为 500ms； 启用 TIMG0 (时钟源为 LFCLK)，每 200ms 重新启动一次 WWDT； 	
测试条件	启用 WWDT、WFI (STANDBY0)	2.7uA
	禁用 WWDT、WFI (STANDBY0)	2.6uA

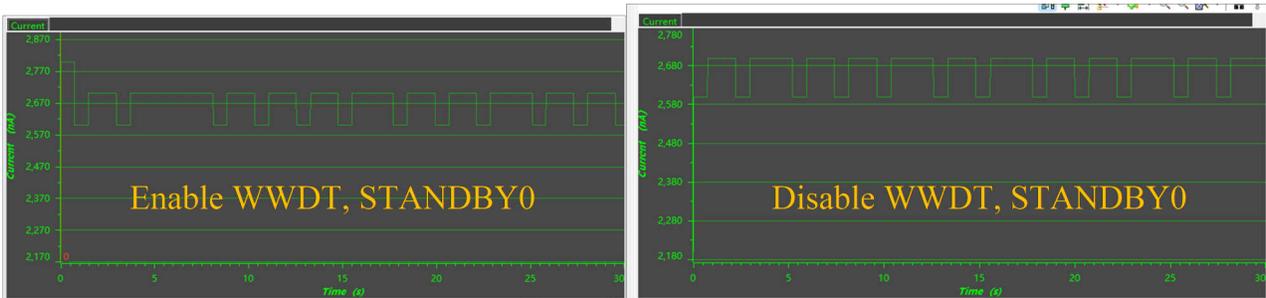


图 3-3. STANDBY0 模式下的 WWDT 功耗测试

3.4 计时器

3.4.1 TIMG0

图 3-4 显示了由 LFCLK 驱动的 TIMG0/8 在 STANDBY1 模式下几乎不消耗功率。结合 RTC 和 WWDT 功耗测试的结果可见，由 LFCLK 驱动的外设在运行时几乎不消耗功耗。这也是在其他测试中在 LFCLK 上使用 TIMG0 作为计时器来切换功耗策略的原因。

表 3-5. TIMG0 在 LFCLK 驱动下的功耗测试表

LFCLK 驱动下的 TIMG0	配置	电流
软件	<ul style="list-style-type: none"> TIMG0 周期设为 2s (LFCLK=32kHz)； 	
测试条件	启用 TIMG0、WFI (STANDBY1)	1.7uA
	禁用 TIMG0、WFI (STANDBY1)	1.7uA

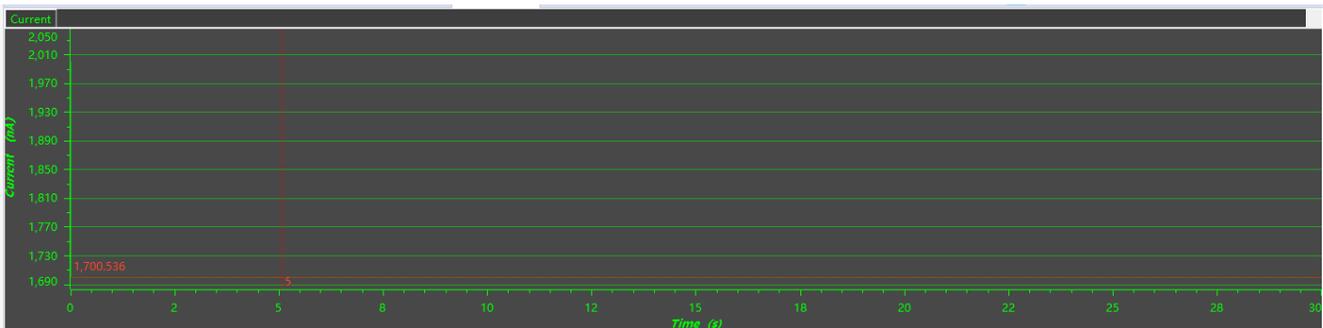


图 3-4. STANDBY1 模式下的 TIMG0 功耗测试

3.4.2 TIMA0

TIMA0 每 2s (TIMG0 中断) 启用/禁用一次，以便您获取模块的功耗。在 RUN0 模式下，TIMA0 的工作功耗电流约为 30 μ A。

表 3-6. TIMA0 功耗测试表

TIMA0	配置	电流
软件	<ul style="list-style-type: none"> TIMA0 (时钟源自 MCLK=32MHz) 周期配置为 2s 测试在 RUN0 模式下进行 	
测试条件	启用 TIMA0	2.239mA
	禁用 TIMA0	2.209mA

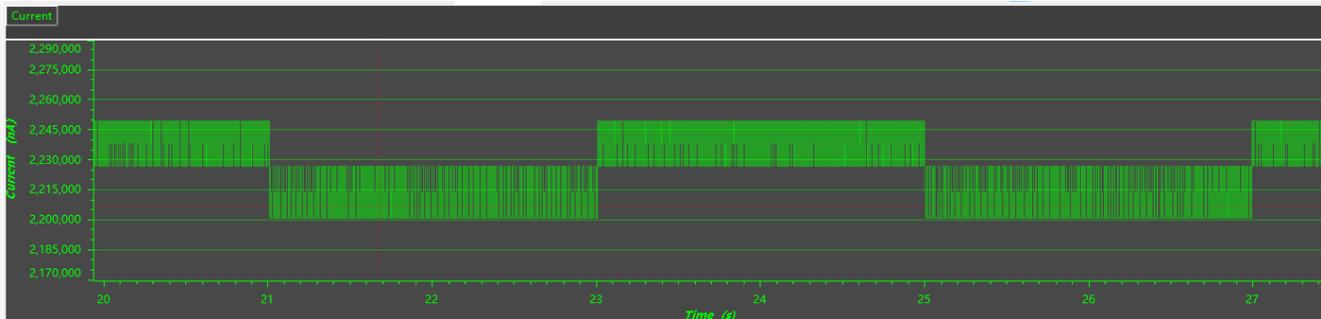


图 3-5. RUN0 模式下的 TIMA0 功耗测试

当系统进入 STOP 或 STANDBY 模式时，TIMA0 和其他位于 PD1 域的计时器都会被强制禁用。要将计时器从低功耗模式恢复，需要重新配置计时器，以使其重新开始计数。重新启动计时器的步骤如下：

1. 启用计时器电源：`DL_TimerG_enablePower();`
2. 重新配置计时器 x：`SYSCFG_DL_TIMER_x_init();`
3. 启动计时器：`DL_TimerG_startCounter();`

3.5 UART

表 3-7. UART0 功耗测试表

UART0	配置	电流
硬件	<ul style="list-style-type: none"> 通过 J101 的 RXD 和 TXD 引脚将 UART0 引脚连接到 PC 终端 RX 和 TX 引脚内部上拉 	
软件	<ul style="list-style-type: none"> UART 时钟源为 MCLK，波特率为 9600bps； 	
测试条件	启用 UART 电源并初始化、WFI (STANDBY1)	3.5uA
	UART 持续传输数据 (9600bps)	3.28mA
	RUN0 模式、运行 while (1) {}	2.33mA
	关闭 UART 电源、运行 while (1) {}	2.25mA
	UART 禁用、WFI (STANDBY1)	1.9uA

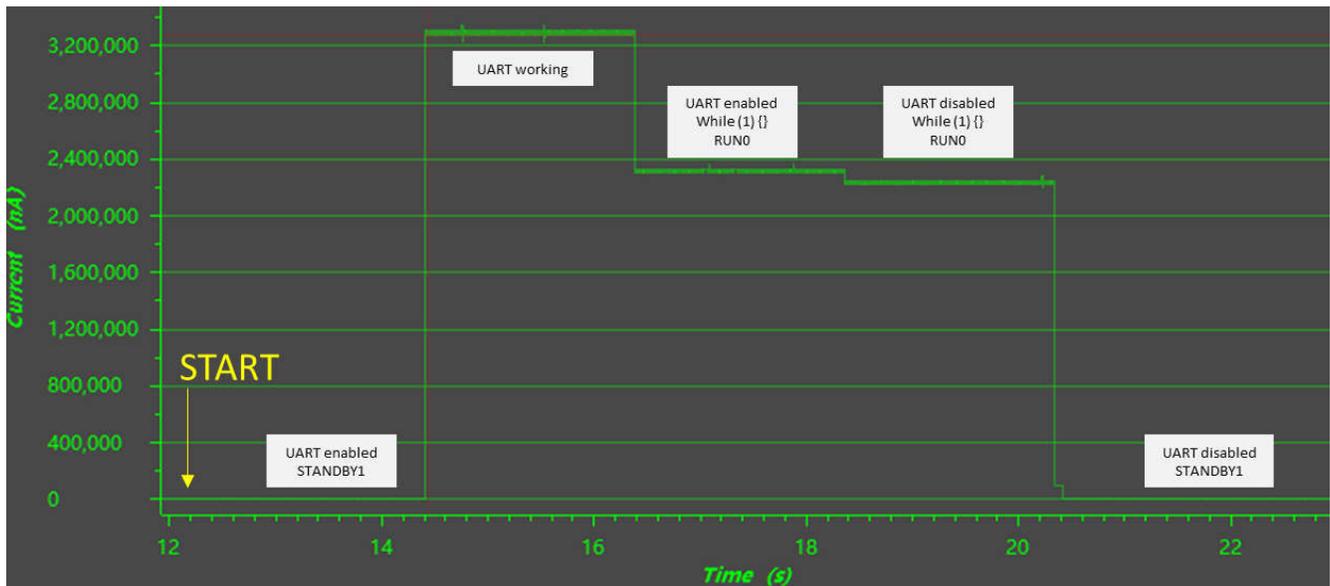


图 3-6. STANDBY1 模式下的 UART0 功耗测试

关于低功耗模式下的 UART0，有以下几点建议：

- 在 RUN0 模式下，UART 模块启用时的功耗约为 80 μ A (根据关闭 UART 电源后的电流变化测得)；
- 在 STANDBY 模式下，启用的 UART0 模块耗电很低，小于 2 μ A。
- 确保 UART RX 引脚上拉，否则，由于异步快速时钟请求，在进入低功耗模式后会出现意外的电流消耗。
- 重置 UART 或禁用电源均可关闭 UART 模块。
- UART RX 引脚若处于悬空或下拉状态，会使 UART 激活，从而触发异步快速时钟请求。

若 UART0/1/2 在进入 STOP 或 STANDBY 模式前未被重置，退出低功耗模式后其配置会自动恢复。通过 `DL_UART_Main_enablePower()` 即可在退出低功耗模式后使 UART 正常工作。

3.6 I2C

表 3-8. I2C 功耗测试表

I2C	配置	电流
硬件	<ul style="list-style-type: none"> 不连接目标 I2C 器件 SCL 和 SDA 引脚上接 2.2kΩ 上拉电阻 	
软件	<ul style="list-style-type: none"> I2C 用作控制器，I2C 时钟源来自 MCLK，工作频率为 400kHz； 	
测试条件	启用 I2C 电源并初始化、WFI (STANDBY1)	1.20mA
	禁用 I2C 异步快速时钟请求、WFI (STANDBY1)	2.5uA
	I2C 持续传输数据 (400kHz)	3.72mA
	RUN0 模式、运行 while (1) {}	2.41mA
	关闭 I2C 电源、运行 while (1) {}	2.18mA
	进入低功耗模式、WFI (STANDBY1)	2.0uA

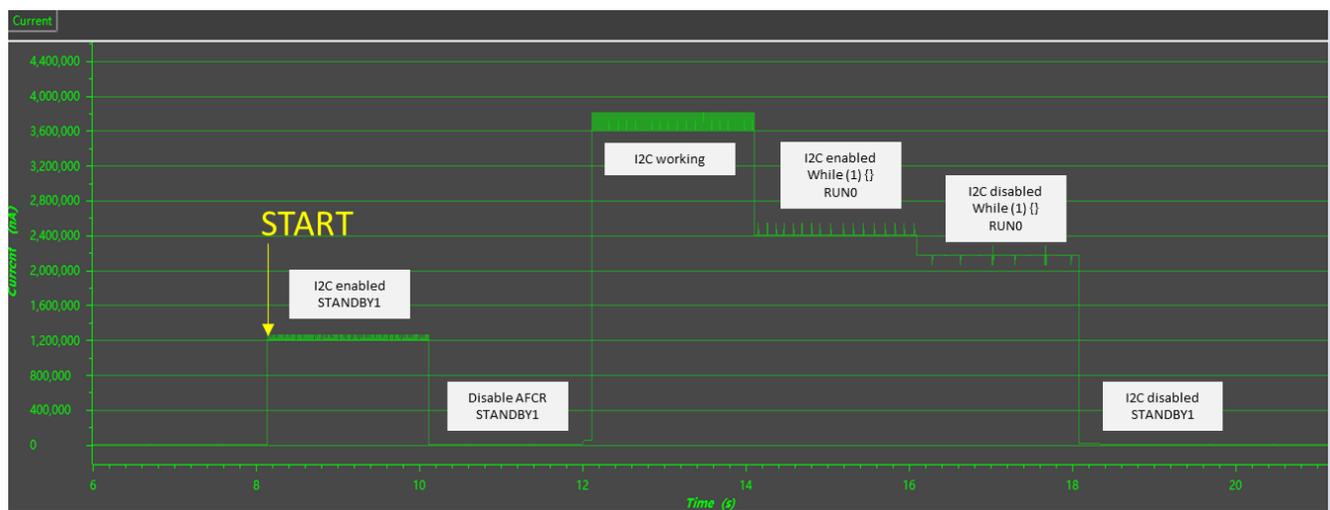


图 3-7. STANDBY1 模式下的 I2C 功耗测试

根据上面的测试结果，对低功耗模式下的 I2C 模块得出以下结论和建议：

- 在本例中，在 RUN0 模式下启用 I2C 模块的功耗约为 230 μA。
- 重置 I2C 或禁用电源均可关闭 I2C 的功耗。
- 当 I2C 电源启用且 MCU 进入 STOP 或 STANDBY 模式时，会触发异步快速时钟请求，导致电流消耗超过 1mA。禁用 I2C 异步快速时钟请求的有效方法是使用以下指令：`I2C_INST->GPRCM.CLKCFG = (1<<8) | (0xA9 << 24)`，其中 I2C_INST 是 I2C 寄存器的基地址。

若在进入 STOP 或 STANDBY 模式前未重置 I2C，则退出低功耗模式后，I2C 配置会自动恢复，且启用电源即可使 I2C 正常工作。

3.7 SPI

表 3-9. SPI 功耗测试表

SPI	配置	电流
软件	• SPI 用作控制器，SPI 时钟源来自 MCLK，工作频率为 500kHz；	
测试条件	启用 SPI 电源并初始化、WFI (STANDBY1)	4.1uA
	SPI 持续传输数据 (500kHz)	3.02mA
	RUN0 模式、运行 while (1) {}	2.13mA
	关闭 SPI 电源并重置、运行 while (1) {}	1.96mA
	进入低功耗模式、WFI (STANDBY1)	1.9uA

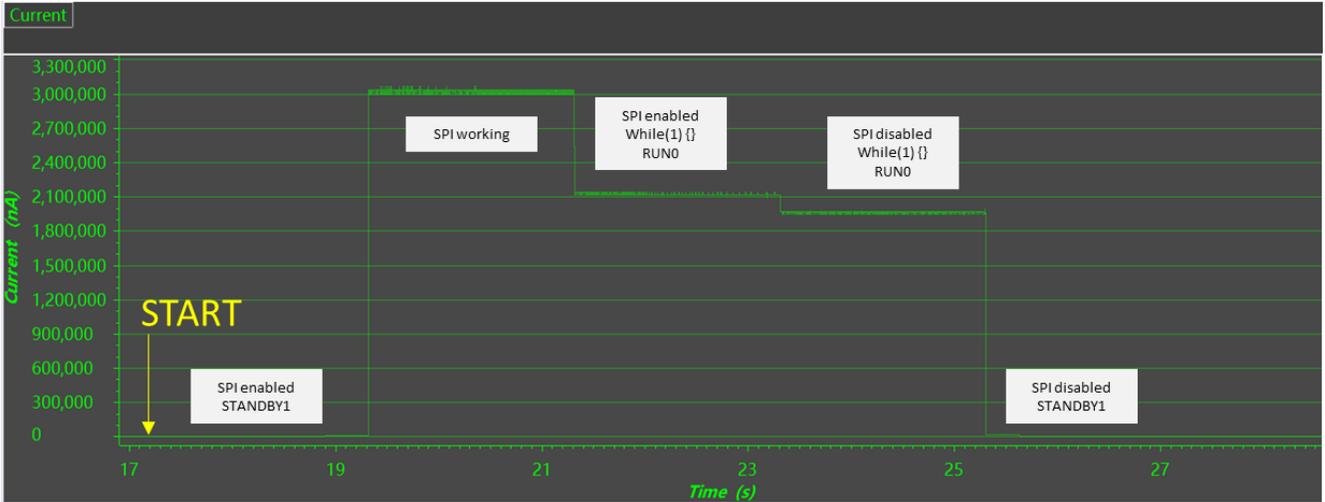


图 3-8. STANDBY1 模式下的 SPI 功耗测试

根据上面的测试结果，对低功耗模式下的 SPI 得出以下结论和建议：

- 在 RUN0 模式下，SPI 模块启用时的功耗约为 170 μ A。
- 由于 SPI 模块位于 PD1 中，因此进入 STOP 或 STANDBY 低功耗模式会强制暂时禁用 SPI 模块。重置 SPI 或禁用电源均可关闭 SPI 模块。

若 SPI 在进入 STOP 或 STANDBY 模式前未被重置，退出低功耗模式后其配置会恢复。SPI 可以在退出低功耗模式后通过启用电源正常工作。

3.8 MCAN

表 3-10. MCAN 功耗测试表

MCAN	配置	电流
硬件	• 通过 TCAN1046 连接另一个 CAN 器件 • TCAN1046 不由被测的 MCU 启动板供电	
软件	• MCAN 时钟源自外部 40MHz 振荡器 • MCAN : 250kHz 仲裁比特率、2MHz 数据比特率	
测试条件	启用 MCAN 电源、WFI (STANDBY1)	10.6uA
	初始化 CAN、CAN 持续传输数据	3.38mA
	RUN0 模式、运行 while (1) {}	3.28mA
	关闭 MCAN 电源、运行 while (1) {}	2.80mA
	进入低功耗模式、WFI (STANDBY1)	10.0uA

根据上面的测试结果，对低功耗模式下的 MCAN 得出以下结论和建议：

- 在 RUN0 模式下，MCAN 模块启用时的功耗约为 480 μ A。
- 由于 MCAN 模块位于 PD1 中，因此进入 STOP 或 STANDBY 低功耗模式会强制暂时禁用 MCAN 模块。重置 MCAN 或禁用电源均可关闭 MCAN 模块。
- 由于本例中使用了外部振荡器，因此 STANDBY1 模式下的电流高于数据表中描述的值。

从低功耗模式恢复 MCAN 配置时，MCAN 需要重新配置才能正常工作。请按照以下步骤操作：

1. 启用计时器电源：`DL_MCAN_enablePower();`
2. 重新配置 MCAN x：`SYSCFG_DL_MCANx_init();`

3.9 SYSPLL

表 3-11. SYSPLL 功耗测试表

SYSPLL	配置	电流
软件	• LFCLK = LFSOC、MCLK = SYSPLL2x (32MHz) ;	
测试条件	进入低功耗模式、WFI (STANDBY1)	38uA
	禁用 PLL、WFI (STANDBY1)	1.9uA

在 MSPM0 中，进入低功耗模式不会自动禁用 SYSPLL 模块，尽管 MCLK 和 ULPCCLK 不再来自 SYSPLL。这样会导致 SYSPLL 在低功耗模式下仍然保持启用状态，进而产生额外的功耗。为避免此问题，可通过调用 `DL_SYSCCTL_disableSYSPLL()` API 函数手动禁用 SYSPLL 以减少功耗。

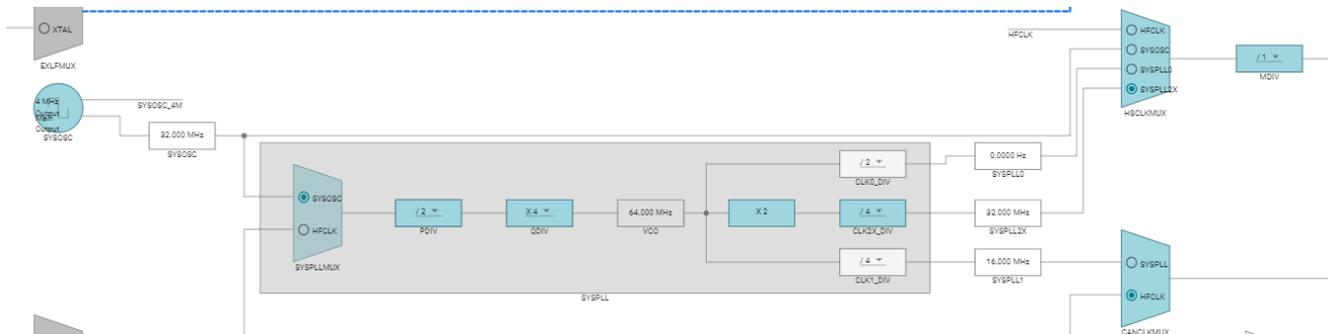


图 3-9. SYSPLL 配置

3.10 VREF

表 3-12. VREF 功耗测试表

VREF	配置	电流
软件	• 内部 VRFE = 2.5V ;	
测试条件	启用 VREF 电源、启用 VREF 模块、WFI (STANDBY1)	195uA
	RUN0 模式、运行 while (1) {}	2.32mA
	禁用 VREF 模块、RUN0 模式、运行 while (1) {}	2.24mA
	禁用 VREF 电源、RUN0 模式、运行 while (1) {}	2.19mA
	进入低功耗模式、WFI (STANDBY1)	9.0uA

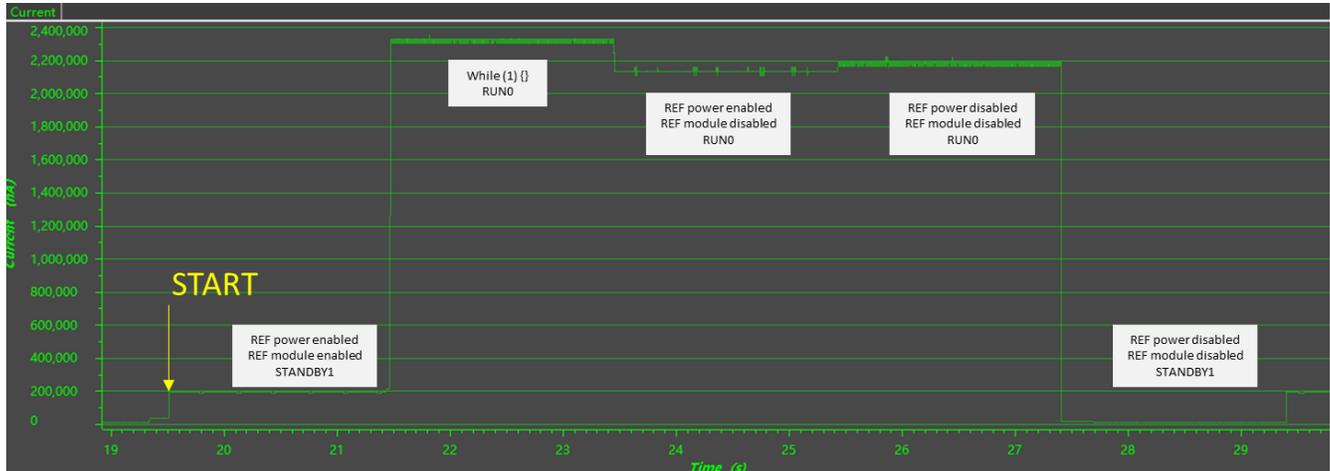


图 3-10. STANDBY1 模式下的 VREF 功耗测试

根据上面的测试结果，对低功耗模式下的 VREF 得出以下结论和建议：

- 在本例中，在进入 STANDBY1 模式后，VREF 的电流仅为 9 μ A。
- 在 RUN0 模式下，VREF 电源的功耗约为 80 μ A (根据禁用 VREF 模块后的电流变化测得) 。

请注意，单靠禁用 VREF 电源无法完全消除 VREF 的功耗，需要禁用整个 VREF 模块。彻底关闭 VREF 电源的关键步骤如下：

1. 使用 `DL_VREF_disableInternalRef(VREF)`; 禁用 VREF 模块。
2. 使用 `DL_VREF_disablePower(VREF)`; 禁用 VREF 电源。
3. 使用 `WFI/WFE` 指令进入低功耗模式。

从低功耗模式启用 VREF 的步骤如下：

1. 使用 `DL_VREF_enablePower(VREF)`; 启用 VREF 电源。
2. 使用 `DL_VREF_enableInternalRef(VREF)`; 启用 VREF 模块。

3.11 ADC

表 3-13. ADC 功耗测试表

ADC	配置	电流
硬件	<ul style="list-style-type: none"> ADC 输入引脚为 PA27 ; 	
软件	<ul style="list-style-type: none"> ADC : <ul style="list-style-type: none"> 单次重复模式 采样时间 : 1us 参考 : VDDA 分辨率 : 12bit 	
测试条件	启用 ADC 电源、WFI (STANDBY1)	2.5uA
	启用 ADC 转换并开始转换、ADC 持续对数据进行采样	4.40mA
	禁用转换、RUN0 模式、运行 while (1) {}	2.21mA
	关闭 ADC 电源、运行 while (1) {}	2.15mA
	进入低功耗模式、WFI (STANDBY1)	1.8uA

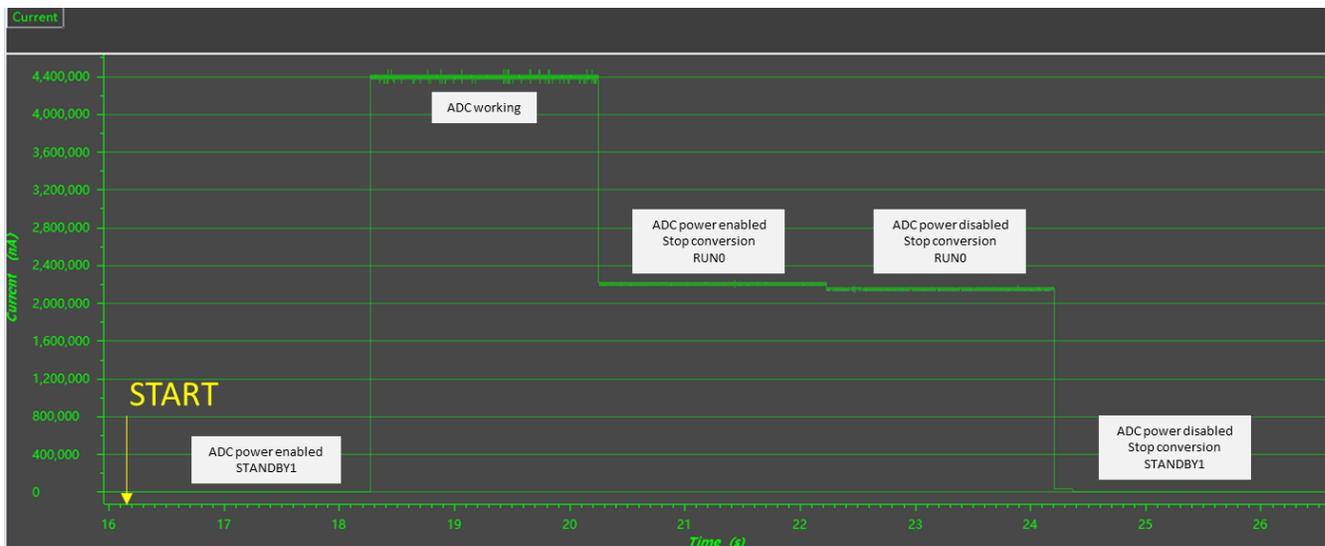


图 3-11. STANDBY1 模式下的 ADC 功耗测试

根据上面的测试结果，对低功耗模式下的 ADC 得出以下结论和建议：

- 在 RUN0 模式下，ADC 模块启用时的功耗约为 60 μ A (根据关闭 ADC 电源后的电流变化测得)；
- ADC 转换非常耗电，因此当 ADC 不使用时应禁用转换功能。

仅通过禁用电源来关闭正在运行的 ADC 是无法进入低功耗模式的。彻底关闭 ADC 电源的正确步骤如下：

- 禁用 REF 电源 (如果使用内部基准)。
- 通过 `DL_ADC12_disableConversions()` 禁用 ADC 转换。
- 通过 `DL_ADC12_disablePower()` 禁用 ADC 电源。
- 使用 `WFI/WFE` 指令进入低功耗模式。

启动 ADC 的步骤如下：

- 启用 REF 电源 (如果使用内部基准)。
- 通过 `DL_ADC12_enablePower()` 启用 ADC 电源。
- 通过 `DL_ADC12_enableConversions()` 启用 ADC 转换。
- 如果使用软件触发，通过 `DL_ADC12_startConversion()` 启动 ADC 转换。

4 低功耗模式指南

表 4-1 提供了进入/退出 MSPM0 的低功耗模式时，如何完全关闭/恢复外设电源的指导。有关如何启用或禁用外设的 API 函数，请详见上一章节。任何外设进入 STANDBY 或 STOP 模式的最后一步均是 WFI 或 WFE 指令。请注意，进入和退出低功耗模式的操作顺序同样重要。

表 4-1. 外设进入/退出低功耗模式指南

外设		进入低功耗模式 (STANDBY)	退出低功耗模式 (STANDBY)
PD0	UART	<ul style="list-style-type: none"> 确保 RX 引脚上拉； 禁用电源。 	<ul style="list-style-type: none"> 启用电源。
	I2C	<ul style="list-style-type: none"> 禁用 I2C 异步快速时钟请求； 禁用电源。 	<ul style="list-style-type: none"> 启用电源。
PD1	TIMA	<ul style="list-style-type: none"> 禁用电源 (PD1 外设可忽略此步)。 	<ul style="list-style-type: none"> 启用电源； 重新配置 TIMA (时钟和寄存器)； 启动计时器。
	SPI	<ul style="list-style-type: none"> 禁用电源 (PD1 外设可忽略此步)。 	<ul style="list-style-type: none"> 启用电源。
	MCAN	<ul style="list-style-type: none"> 禁用电源 (PD1 外设可忽略此步)。 	<ul style="list-style-type: none"> 启用电源； 重新配置 MCAN。
	GPIO	<ul style="list-style-type: none"> 避免配置为悬空输入。 	<ul style="list-style-type: none"> 配置为所需功能引脚。
模拟	SYSPLL	<ul style="list-style-type: none"> 进入 LPM 之前禁用 SYSPLL 模块。 	<ul style="list-style-type: none"> 如有外设使用 SYSPLL 作为时钟源，则启用 SYSPLL 模块。
	VREF	<ul style="list-style-type: none"> 禁用 VREF 模块； 禁用 VREF 电源。 	<ul style="list-style-type: none"> 启用 VREF 电源； 启用 VREF 模块。
	ADC	<ul style="list-style-type: none"> 禁用 VREF (如果使用了内部基准)； 停止 ADC 转换； 禁用 ADC 电源。 	<ul style="list-style-type: none"> 启用 VREF (如果使用了内部基准)； 启用 ADC 电源； 启用 ADC 转换； 开始 ADC 转换。

重要声明和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、某特定用途方面的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他功能安全、信息安全、监管或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的应用。严禁对这些资源进行其他复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 的销售条款](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款/TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

邮寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265

Copyright © 2024，德州仪器 (TI) 公司