
AVR® DA 系列单片机的低功耗特性和休眠模式

简介

作者: Ioan Pop, Microchip Technology Inc.

本文档概述了 AVR® DA 单片机系列的低功耗模式和特性，并借助功率调试器（[ATPOWERDEBUGGER](#)）比较了不同休眠模式下的电流消耗。

此外，本文还介绍了如何修改 Curiosity Nano 板以读取功率和如何使用功率调试器，并说明了可用的休眠模式以及其他节能特性。



[View Code Used for Testing on GitHub](#)

Click to browse repositories

目录

简介.....	1
1. 休眠模式和休眠控制器.....	3
1.1. 空闲休眠模式.....	3
1.2. 待机休眠模式.....	3
1.3. 掉电休眠模式.....	3
1.4. avr/sleep.h 库.....	3
1.5. 进入休眠模式.....	4
1.6. 退出休眠模式.....	4
2. 修改 Curiosity Nano 板.....	5
3. 使用功率调试器读取功率.....	6
4. 测试单片机的功耗模式.....	9
4.1. MCC 配置.....	9
5. 降低功耗的技巧与诀窍.....	16
6. 结论.....	17
7. 参考资料.....	18
8. 版本历史.....	19
Microchip 网站.....	20
产品变更通知服务.....	20
客户支持.....	20
Microchip 器件代码保护功能.....	20
法律声明.....	20
商标.....	21
质量管理体系.....	21
全球销售及服务网点.....	22

1. 休眠模式和休眠控制器

AVR DA 单片机可在四种模式下工作：工作、空闲、待机和掉电模式。在工作模式下，可以执行代码。其他三种模式均为休眠模式，可以降低应用的总体功耗。

这些模式通过休眠控制器的控制 A（SMODE.CTRLA）寄存器中的休眠模式（SMODE）位域进行设置。要激活其中一种休眠模式，需将同一寄存器中的休眠使能（SEN）位置 1。

当温度高于 70°C 时，可以使用 SLPCTRL.VREGCTRL 寄存器中的 HTLLEN 位来降低功耗（高温低泄漏使能）。使能后，地址匹配和可配置定制逻辑（Configurable Custom Logic, CCL）唤醒源将不可用，必须由用户禁止。

图 1-1. 休眠控制器的控制 A 寄存器

Name:	CTRLA
Offset:	0x00
Reset:	0x00
Property:	-

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
					SMODE[2:0]			SEN
Access					R/W	R/W	R/W	R/W
Reset					0	0	0	0

Bits 3:1 – SMODE[2:0] Sleep Mode

Writing these bits selects the desired sleep mode when the Sleep Enable (SEN) bit is written to '1' and the SLEEP instruction is executed.

Value	Name	Description
0x0	IDLE	Idle mode enabled
0x1	STANDBY	Standby mode enabled
0x2	PDOWN	Power-Down mode enabled
Other	-	Reserved

Bit 0 – SEN Sleep Enable

This bit must be written to '1' before the SLEEP instruction is executed to make the microcontroller enter the selected sleep mode.

1.1 空闲休眠模式

在空闲休眠模式下，代码执行停止，但所有外设仍运行，所有中断源均可将器件从休眠模式中唤醒。

1.2 待机休眠模式

在待机休眠模式下，功耗取决于使能的外设。大多数外设都有一个待机模式下运行（RUNSTBY）位，将该位置 1 可允许外设在此休眠模式下运行。

1.3 掉电休眠模式

在掉电休眠模式下，除看门狗定时器（Watchdog Timer, WDT）和周期性中断定时器（Periodic Interrupt Timer, PIT）外，所有外设都将停止。唤醒源只包括引脚电平变化中断、TWI 地址匹配和 CCL（禁止滤波器和边沿检测时）。

在该模式下，高频振荡器（OSCHF）停振，只有 32.768 kHz 振荡器运行。

1.4 avr/sleep.h 库

用于告知单片机进入休眠模式的汇编指令为 SLEEP 指令。为了更加轻松地与 C 代码相集成，创建了 avr/sleep.h 库以提供方便进入休眠模式的函数。

C 语言库 `avr/sleep.h` 提供了以下函数：`sleep_enable()`、`sleep_disable()`、`set_sleep_mode(<mode>)`、`sleep_cpu()` 和 `sleep_mode()`。

`set_sleep_mode(<mode>)` 函数将以下宏之一作为参数：`SLEEP_MODE_IDLE`、`SLEEP_MODE_STANDBY` 或 `SLEEP_MODE_PWR_DOWN`。将此函数与其中一个宏搭配使用即可设置相应的休眠模式。

`sleep_enable()` 和 `sleep_disable()` 函数分别用于置 1 和清零 `SEN` 位。

`sleep_cpu()` 函数用于调用 `SLEEP` 指令。

`sleep_mode()` 函数综合了前面的函数。它可以先调用 `sleep_enable()`，再调用 `sleep_cpu()`。当器件唤醒后，会调用 `sleep_disable()` 函数，然后继续照常运行程序。

1.5 进入休眠模式

要进入休眠模式，可以先使用 `set_sleep_mode(<mode>)` 函数设置所需的休眠模式，然后再调用 `sleep_mode()`。单片机现在处于休眠模式，并将在接收到正确的中断时唤醒。

1.6 退出休眠模式

单片机在接收到中断时会从休眠模式中唤醒。这意味着必须允许全局中断才能从休眠模式中唤醒。在不同的休眠模式下，能够唤醒器件的中断源也会有所不同。

在空闲休眠模式下，任何允许的中断源都将唤醒器件。

在待机休眠模式下，只有配置为在待机休眠模式下运行的外设才能产生中断。

在掉电休眠模式下，只有来自 `PIT`、看门狗、引脚电平变化、`TWI` 地址匹配和 `CCL`（禁止滤波器和边沿检测时）的中断才能唤醒器件。

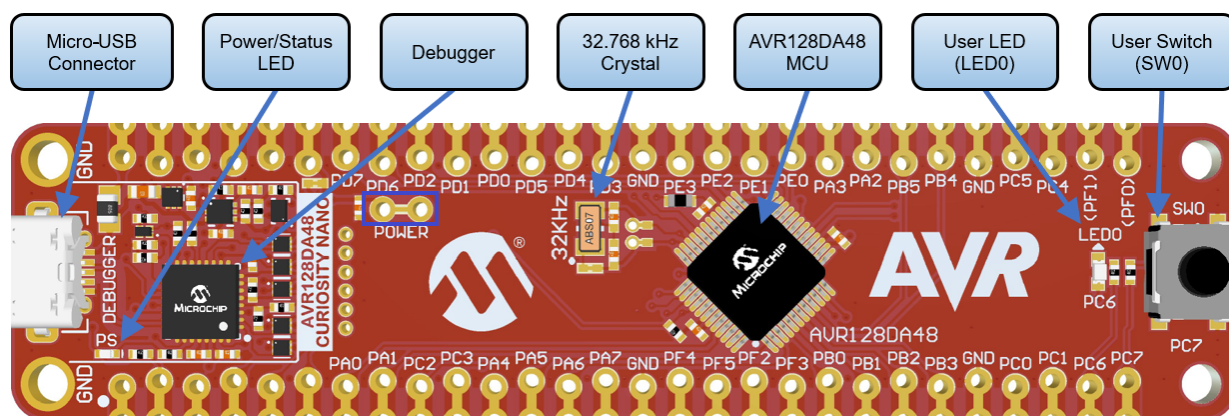
从空闲休眠模式中唤醒需要 6 个时钟周期，而从待机或掉电休眠模式中唤醒则需要再加上主振荡器和稳压器启动所需的时间。

2. 修改 Curiosity Nano 板

AVR128DA48 Curiosity Nano 板配有上述单片机、稳压器和 Nano 嵌入式调试器。这些器件有助于通过 USB 端口实现快速编程，但同时也会产生功耗，进而导致无法获得准确的功率读数。

幸运的是，Curiosity Nano 板提供了两个引脚孔。这两个孔与标有 POWER 的铜走线相连。如果将该走线切断并在两个孔上焊接引脚，则可以连接电流表，从而提供精确的器件电流消耗。

图 2-1. Curiosity Nano 板



电流从最靠近 USB 连接器的孔流向最靠近单片机的孔。

切断走线意味着如果要正常对单片机进行编程，需通过跳线将焊接的两个引脚连接在一起。

图 2-2. 修改后的 Curiosity Nano 板

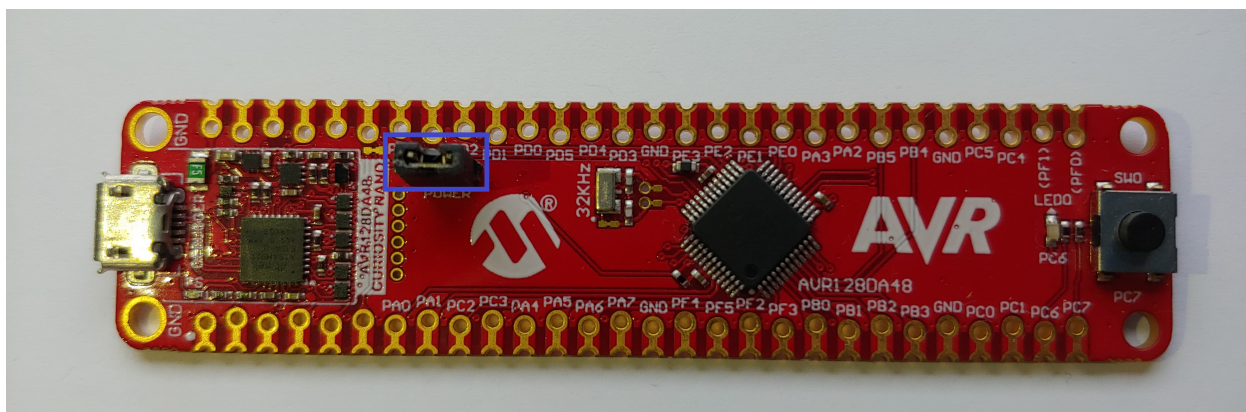


图 2-2 给出了修改后的电路板，其中两个引脚已通过跳线连接在一起，以便能够进行编程。

3. 使用功率调试器读取功率



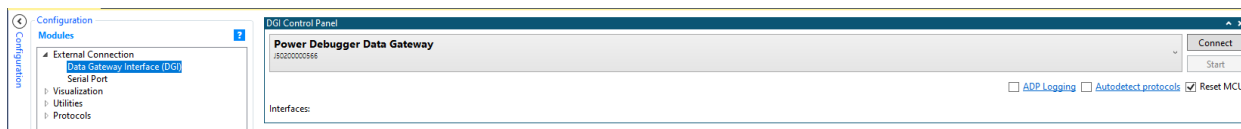
信息：可在 Curiosity Nano 板的两个焊接引脚之间连接万用表（设为电流表模式）来读取功率。

图 3-1. 通过设置万用表读取电流



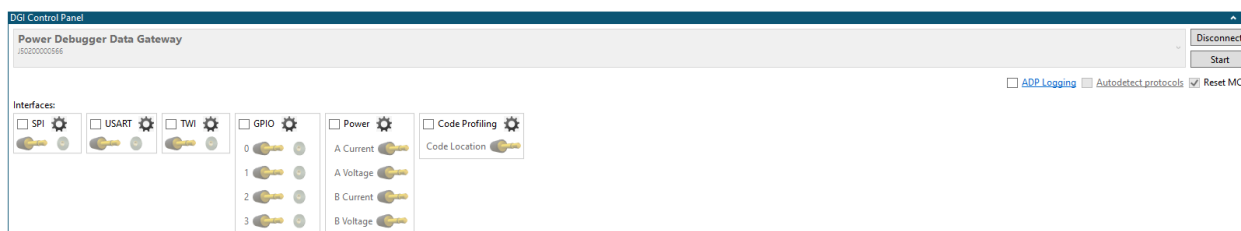
要使用功率调试器，需使用 Atmel Studio 数据可视化器。打开 Atmel Studio，然后转到 **Tools → Data Visualizer**（工具 → 数据可视化器）。展开 **DGI Control Panel**（DGI 控制面板）选项卡，然后选择 **Power Debugger Data Gateway**（功率调试器数据网关）。

图 3-2. DGI 控制面板



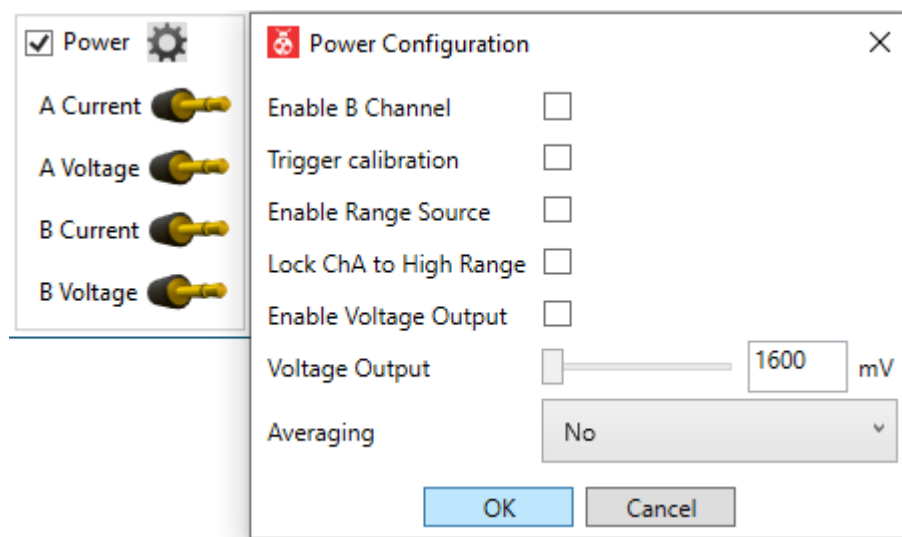
按下 **Connect**（连接），随即会显示多个接口。

图 3-3. 功率调试器接口



通过选中左上角的空白框使能电源接口，然后打开设置菜单。

图 3-4. 电源配置

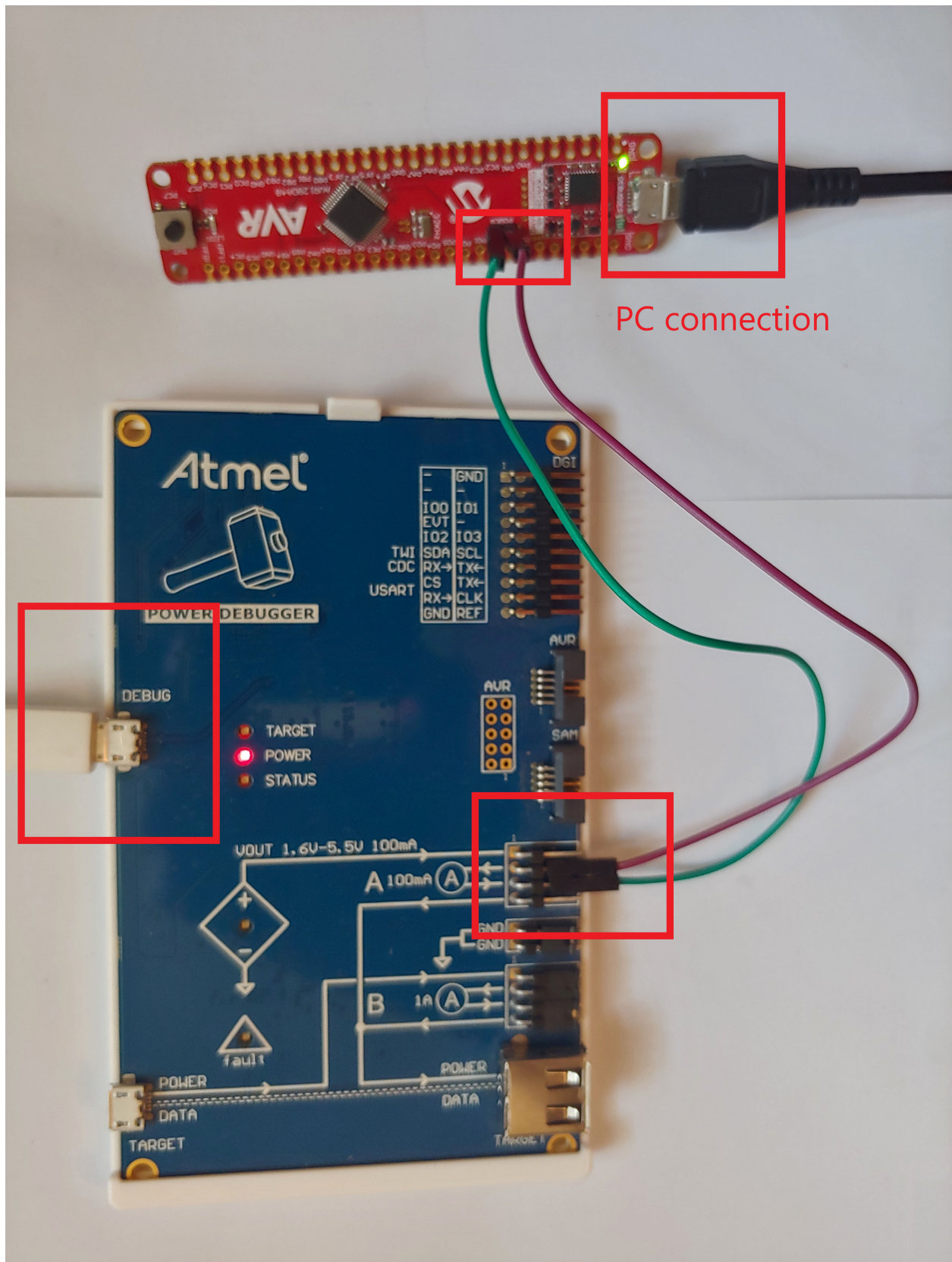


在 **Settings**（设置）选项卡中，禁止 B 通道。通过使能输出电压并将其设置为所需值，还可以通过功率调试器来为这些器件供电。

对于此应用，只需使用功率调试器的电流表功能即可。将 A 电流表的输入端与 Curiosity Nano 板上最靠近 Nano 嵌入式调试器的引脚相连，将电流表的输出端与 Curiosity Nano 上最靠近单片机的引脚相连。

正确配置所有设置后，在 Atmel Studio DGI 控制面板中按下 **Start**（开始），然后观察器件实时消耗的电流。

图 3-5. 功率调试器连接



4. 测试单片机的功耗模式

本章使用一个通过 USART 控制的程序显示各种模式下的功耗。该程序启动时会打印一个菜单，用户可以通过按下相应的按键来选择其中一项可用的功能。

用户可以在六项功能之间进行选择。前四项功能可设置模式来测试静态功耗。后两项功能比较复杂。其中一项功能会循环逐个开启所有的可用模式，每个模式下保持四秒钟。另一项功能会模拟电池供电传感器应用的长时间深度休眠和短时间唤醒操作。

该应用程序在 MPLAB® X IDE 中通过 MPLAB 代码配置器（MPLAB Code Configurator, MCC）进行配置，可从 [GitHub 资源库](#) 中获取。



View Code Used for Testing on GitHub

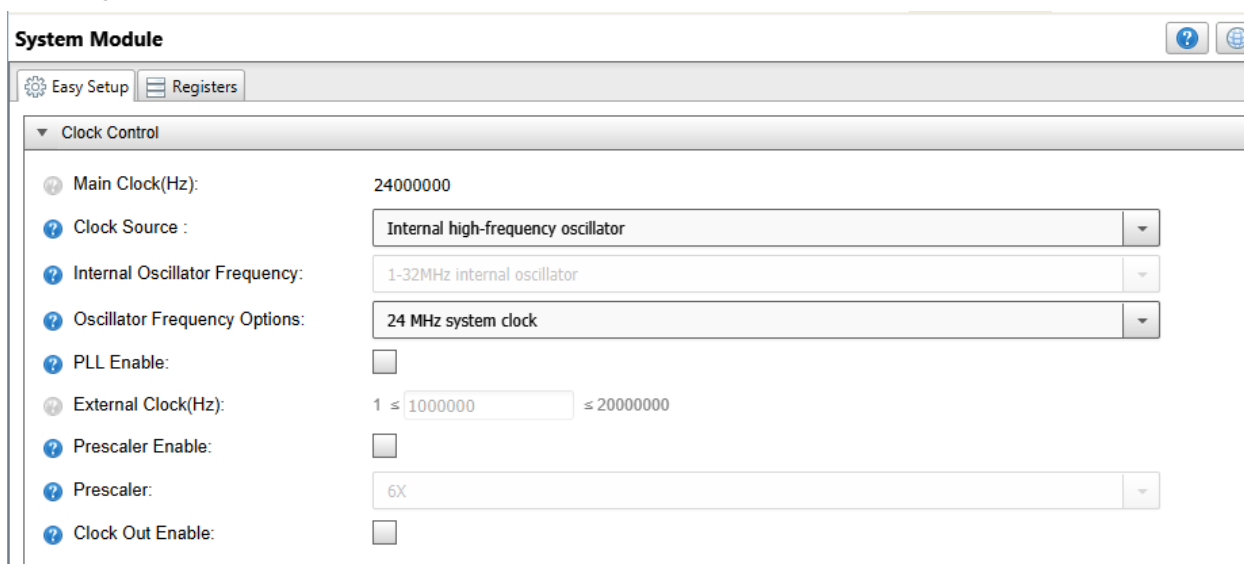
Click to browse repositories

4.1 MCC 配置

系统模块

- 时钟源：内部高频振荡器
- 振荡器频率：24 MHz
- 预分频比：禁止

图 4-1. System Module（系统模块）配置



RTC

- RTC 时钟源选择：内部 1.024 kHz 振荡器
- PIT：周期性中断允许：已选中

图 4-2. RTC 和 PIT 配置

?

Easy Setup Registers

▼ Software Settings

API Prefix:

▼ Hardware Settings

Enable RTC:

RTC Clock(Hz):

RTC Clock Source Selection:

External Clock(Hz): ≤ ≤

Prescaling Factor:

Compare: ≤ ≤

Actual Compare:

Period: ≤ ≤

Actual Period:

▼ Periodic Interrupt Timer

PIT Enable:

Period Selection:

Periodic interrupt Enable:

USART

- API Prefix (API 前缀): 终端
- Interrupt Driven (中断驱动): 已选中
- Printf support (Printf 支持): 已选中
- Baud Rate (波特率): 115200
- Transmit Interrupt Enable (发送中断允许): 已选中
- Receive Interrupt Enable (接收中断允许): 已选中

图 4-3. USART 配置

USART1
? | 🌐

⚙️ Easy Setup | 📄 Registers

Software Settings

API Prefix:

Interrupt Driven:

RX Buffer Size (Bytes):

TX Buffer Size (Bytes):

Printf support:

Hardware Settings

Mode:

Baud Rate: 1 ≤ ≤ 1000000

Error Percent: -0.040%

Enable USART Receiver:

Enable USART Transmitter:

Parity Mode:

Stop Bit Mode:

Character Size:

Interrupt Settings

Transmit Interrupt Enable:

Receive Interrupt Enable:

引脚模块和管理器

- PC0 作为输出 TXD
- PC1 作为输入 RXD
- PC6 设置为输出，高电平启动
- PC7 命名为“Button”（按钮），使能上拉，在两个边沿检测中断

图 4-4. Pin Module（引脚模块）配置

Pin Module
? | 🌐

⚙️ Easy Setup | 📄 Registers

Selected Package : QFN48

Pin Name ▲	Module	Function	Custom Name	OUTPUT	START HIGH	INVEN	PULLUPEN	ISC
PC0	USART1	TXD		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Interru... ▼
PC1	USART1	RXD		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Interru... ▼
PC6	Pin Module	GPIO	<input type="text" value="IO_PC6"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Interru... ▼
PC7	Pin Module	GPIO	<input type="text" value="Button"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Sense B... ▼

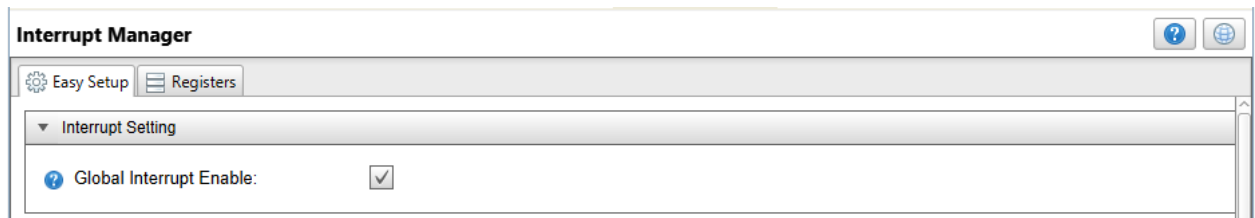
图 4-5. Pin Manager: Grid View (引脚管理器: 网格视图)

Output		Notifications [MCC]	Pin Manager: Grid View x																																													
Package:	QFN48		Pin No:																																													
			44	45	46	47	48	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40					
			Port A ▼							Port B ▼							Port C ▼							Port D ▼							Port E ▼			Port F ▼														
Module	Function	Direction	0	1	2	3	4	5	6	7	0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5	6	7	0	1	2	3	4	5	6	7	0	1	2	3	0	1	2	3	4	5	6					
Pin Module ▼	GPIO	input	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒			
	GPIO	output	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒		
RSTCTRL	RESET	input																																														
USART1 ▼	RXD	in/out																																														
	TXD	output																																														

中断管理器

- Global Interrupt Enable (全局中断允许): 已选中

图 4-6. Interrupt Manager (中断管理器) 配置



在生成的 `pin_manager.c` 文件中, 修改以下行以将所有未使用的引脚设置为输出, 从而避免功率读数受到干扰。

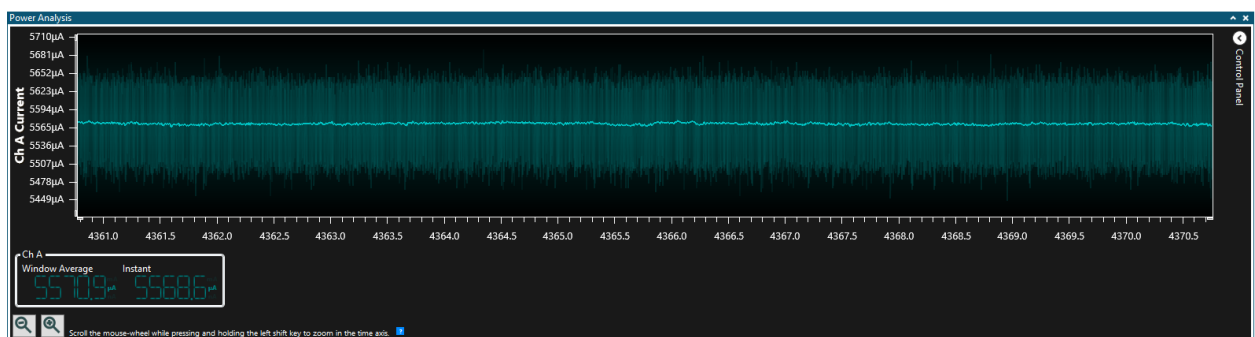
```
/* DIR 寄存器初始化 */
PORTA.DIR = 0xFF;
PORTB.DIR = 0xFF;
PORTC.DIR = 0x7D;
PORTD.DIR = 0xFF;
PORTE.DIR = 0xFF;
PORTF.DIR = 0xFF;
```

`main.c` 文件中包含可以从 USART 调用的各种指令的代码。

工作模式

通过 USART 发送“a”或“A”字符可以访问该模式, 从而使单片机保持工作状态, 随后发送一个新的字符即可退出该模式。

图 4-7. 工作模式下的功耗

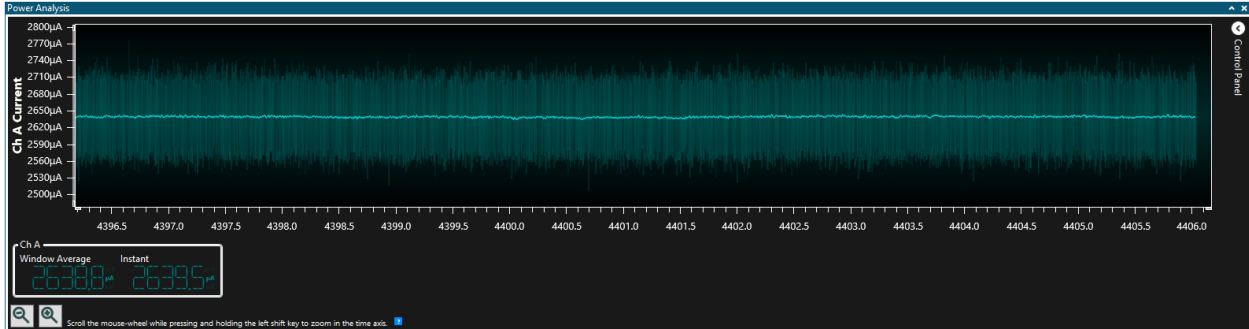


该功耗为高频振荡器全功率运行时所消耗的平均功率。

空闲睡眠模式

通过 USART 发送 “i” 或 “I” 字符可以访问空闲睡眠模式，从而使单片机进入该模式，其中高频振荡器设为低功耗模式，但仍运行并准备在单片机退出睡眠模式时启动。通过 USART 发送一个新的字符即可退出该模式。

图 4-8. 空闲睡眠模式下的功耗

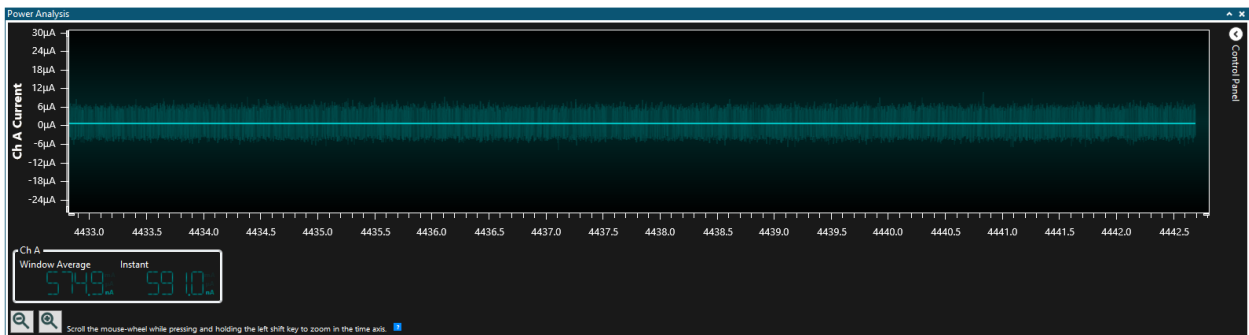


高频振荡器在空闲睡眠模式下的功耗大约是工作模式下的一半。在空闲睡眠模式模式下，运行的外设越多，功耗越高。

待机睡眠模式

通过 USART 发送 “s” 或 “S” 字符可以访问待机睡眠模式，从而使单片机进入该模式。在本程序中，没有外设在待机睡眠模式下运行，因此功耗仅由振荡器产生。要退出该模式，必须按下板上按钮，然后还必须再发送一个新的字符。

图 4-9. 待机睡眠模式下的功耗

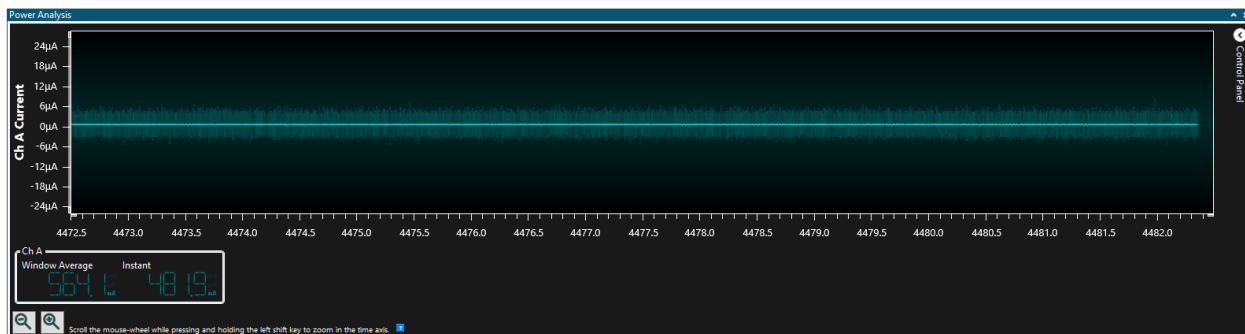


该模式下的功耗主要取决于运行的外设数量。在本示例中，没有外设运行，因此该模式下的功耗与掉电睡眠模式下的功耗相同。

掉电睡眠模式

通过 USART 发送 “p” 或 “P” 字符可以访问掉电睡眠模式，从而使单片机进入该模式。在该模式下，高频振荡器关闭，只有 32.768 kHz 内部振荡器运行。要退出该模式，必须按下板上按钮，然后还必须再发送一个新的字符。

图 4-10. 掉电休眠模式下的功耗



该模式下的功耗与待机休眠模式（无外设工作）下的功耗大致相同。

循环指令

通过 USART 发送“c”或“C”字符可以启动该指令。该命令将循环逐个开启上述所有模式，每个模式下保持四秒钟，由 PIT 计时。该指令必须运行完毕才能停止。之后，可以发送新的字符。

图 4-11. 各种模式下的功耗对比

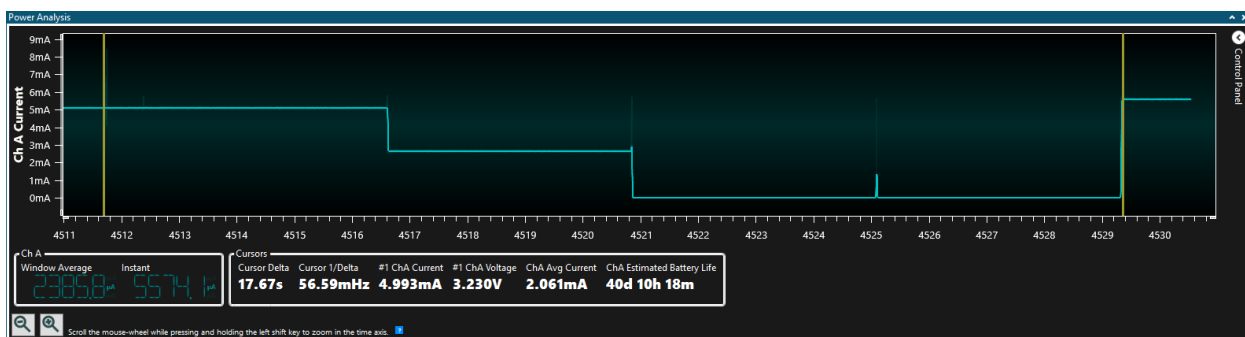
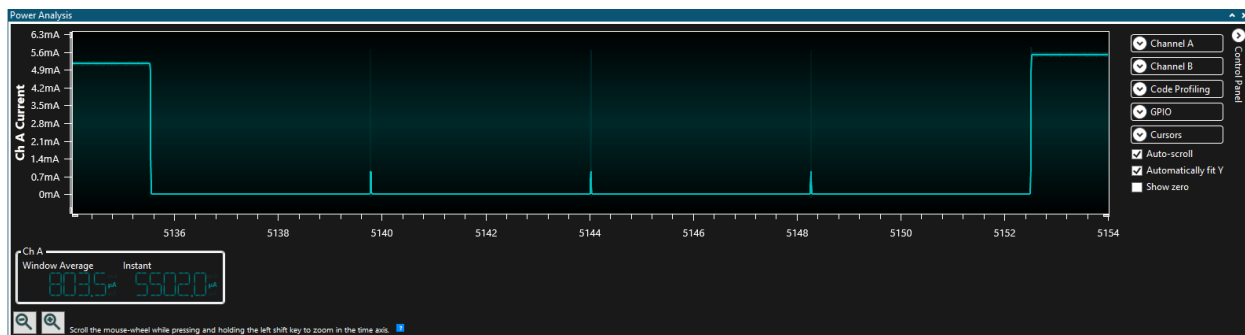


图 4-11 显示了各种模式下的功耗之间的差异。空闲休眠模式下的功耗大约是工作模式下的一半，而待机和掉电休眠模式与其他模式相比几乎没有功耗。

深度休眠和短时间唤醒指令

通过 USART 发送“w”或“W”字符可以启动该指令。该指令将模拟由电池供电的典型传感器应用。该指令将在掉电休眠模式下停留四秒钟，然后发送一条模拟短时间读取传感器的消息。此循环重复四次，由 PIT 计时。该指令必须运行完毕才能停止。之后，可以发送新的字符。

图 4-12. 唤醒以读取传感器时的功耗



短时间电流尖峰代表单片机唤醒以读取传感器的时间。

默认命令

除之前出现的字符外，任何其他字符都将使单片机再次打印带有可用命令的菜单。

5. 降低功耗的技巧与诀窍

降低功耗的最佳方法是在不需要运行代码时将单片机置于休眠模式。确定代码停止运行的时间，并尽可能地将单片机置于休眠模式。

代码执行意味着单片机处于唤醒状态，因此越能够最大程度地缩短唤醒时间，节省的功耗就越多。一些外设以及其他外设的一些硬件特性可能对此有所帮助。

1. 事件系统

事件系统是最有助于节省功耗的外设之一。该外设提供了一种无需使用代码即可在外设之间连接信号的方法。

外设可以生成类似于中断条件但不会唤醒器件的事件。这些事件可以通过事件系统进行连接，以激活其他外设的功能。

例如，定时器溢出将产生一个可以传输到 ADC 的事件，因此每当达到溢出条件时就会启动转换。

有关事件系统的更多信息，请参见 AVR DA 器件的数据手册。

2. 硬件特性

许多外设通过硬件实现了通常在软件中完成的功能。

下面给出了一些可以通过硬件实现的最为实用的功能示例。

- ADC 具有硬件累加功能，最多可以累加 128 个采样。ADC 还可以进入自由运行模式，在该模式下，每完成一次转换后都会启动另一次转换。
- 可以级联两个定时器 B 实例，以获得一个 32 位定时器
- USART 提供了错误检测和校正功能
- TWI 可以在任何休眠模式下提供地址匹配功能

此外，模拟比较器具有节能模式，可以降低功耗，但代价是开关速度会有所降低。该功能由模拟比较器（Analog Comparator, AC）的控制 A（CTRLA）寄存器控制。

图 5-1. 模拟比较器的功率配置文件

Bits 4:3 – POWER[1:0] Power Profile

This setting controls the current through the comparator, which allows the AC to trade power consumption for the response time. Refer to the *Electrical Characteristics* section for power consumption and response time.

Value	Name	Description
0x0	PROFILE0	Power profile 0. Shortest response time and highest consumption.
0x1	PROFILE1	Power profile 1
0x2	PROFILE2	Power profile 2
0x3	-	Reserved

3. 可配置定制逻辑（CCL）模块

该模块可用于在硬件中直接生成定制逻辑功能，这样便可以将通常在软件中完成的任务分配给该外设，然后将单片机内核置于休眠模式。

例如，既可以通过延时和引脚电平变化在软件中实现发送 SOS 信号的应用程序，也可以通过 CCL 来创建产生 SOS 信号的定制电路。更多信息，请参见“[Core Independent Solution Using AVR DA Peripherals Lab](#)”培训手册。

6. 结论

设计应用时，如果需要尽可能地降低功耗，有几个设计注意事项需要考虑。

单片机必须尽可能地缩短 CPU 的运行时间。应用必须尽可能地保持在休眠模式下，执行任务时快速唤醒，执行完毕后再次进入休眠模式。

AVR DA 单片机的三种休眠模式（空闲、待机和掉电）为低功耗应用设计提供了极大的灵活性。此外，支持外设间通信的事件系统使外设可以在没有 CPU 干预的情况下触发彼此之间的操作。这样，CPU 就可以在零功耗时或执行其他任务时继续保持在休眠模式下。

低功耗设计可以利用休眠控制器的特性以及 CPU 休眠时的外设间通信来实现。

7. 参考资料

1. [AVR128DA28/32/48/64 Data Sheet](#)
2. [Getting Started with CCL](#)
3. [AVR® DA 培训手册](#):
 - [Low-Power Modes Using Curiosity Nano](#)
 - [Differential ADC Using the AVR128DA48 Curiosity Nano](#)
 - [Core Independent Solution Using AVR DA Peripherals Lab](#)
4. [AVR® DA 代码示例](#)

8. 版本历史

文档版本	日期	备注
A	2020 年 10 月	文档初始版本

Microchip 网站

Microchip 网站 (www.microchip.com/) 为客户提供在线支持。客户可通过该网站方便地获取文件和信息。我们的网站提供以下内容：

- **产品支持**——数据手册和勘误表、应用笔记和示例程序、设计资源、用户指南以及硬件支持文档、最新的软件版本以及归档软件
- **一般技术支持**——常见问题解答 (FAQ)、技术支持请求、在线讨论组以及 Microchip 设计伙伴计划成员名单
- **Microchip 业务**——产品选型和订购指南、最新 Microchip 新闻稿、研讨会和活动安排表、Microchip 销售办事处、代理商以及工厂代表列表

产品变更通知服务

Microchip 的产品变更通知服务有助于客户了解 Microchip 产品的最新信息。注册客户可在他们感兴趣的某个产品系列或开发工具发生变更、更新、发布新版本或勘误表时，收到电子邮件通知。

欲注册，请访问 www.microchip.com/pcn，然后按照注册说明进行操作。

客户支持

Microchip 产品的用户可通过以下渠道获得帮助：

- 代理商或代表
- 当地销售办事处
- 应用工程师 (ESE)
- 技术支持

客户应联系其代理商、代表或 ESE 寻求支持。当地销售办事处也可为客户提供帮助。本文档后附有销售办事处的联系方式。

也可通过 www.microchip.com/support 获得网上技术支持。

Microchip 器件代码保护功能

请注意以下有关 Microchip 器件代码保护功能的要点：

- Microchip 的产品均达到 Microchip 数据手册中所述的技术规范。
- Microchip 确信：在正常使用的情况下，Microchip 系列产品非常安全。
- 目前，仍存在着用恶意、甚至是非法的方法来试图破坏代码保护功能的行为。我们确信，所有这些行为都不是以 Microchip 数据手册中规定的操作规范来使用 Microchip 产品的。这种试图破坏代码保护功能的行为极可能侵犯 Microchip 的知识产权。
- Microchip 愿与那些注重代码完整性的客户合作。
- Microchip 或任何其他半导体厂商均无法保证其代码的安全性。代码保护并不意味着我们保证产品是“牢不可破”的。代码保护功能处于持续发展中。Microchip 承诺将不断改进产品的代码保护功能。任何试图破坏 Microchip 代码保护功能的行为均可视为违反了《数字器件千年版权法案 (Digital Millennium Copyright Act)》。如果这种行为导致他人在未经授权的情况下，能访问您的软件或其他受版权保护的成果，您有权依据该法案提起诉讼，从而制止这种行为。

法律声明

提供本文档的中文版本仅为为了便于理解。请勿忽视文档中包含的英文部分，因为其中提供了有关 Microchip 产品性能和使用情况的有用信息。Microchip Technology Inc. 及其分公司和相关公司、各级主管与员工及事务代理机构对译文中可能存在的任何差错不承担任何责任。建议参考 Microchip Technology Inc. 的英文原版文档。

本出版物中提供的信息仅仅是为方便您使用 Microchip 产品或使用这些产品来进行设计。本出版物中所述的器件应用信息及其他类似内容仅为您提供便利，它们可能由更新之信息所替代。确保应用符合技术规范，是您自身应负的责任。

Microchip “按原样”提供这些信息。Microchip 对这些信息不作任何明示或暗示、书面或口头、法定或其他形式的声明或担保，包括但不限于针对非侵权性、适销性和特定用途的适用性的暗示担保，或针对其使用情况、质量或性能的担保。

在任何情况下，对于因这些信息或使用这些信息而产生的任何间接的、特殊的、惩罚性的、偶然的或间接的损失、损害或任何类型的开销，Microchip 概不承担任何责任，即使 Microchip 已被告知可能发生损害或损害可以预见。在法律允许的最大范围内，对于因这些信息或使用这些信息而产生的所有索赔，Microchip 在任何情况下所承担的全部责任均不超出您为获得这些信息向 Microchip 直接支付的金额（如有）。如果将 Microchip 器件用于生命维持和/或生命安全应用，一切风险由买方自负。买方同意在由此引发任何一切损害、索赔、诉讼或费用时，会维护和保障 Microchip 免于承担法律责任。除非另外声明，在 Microchip 知识产权保护下，不得暗或以其他方式转让任何许可证。

商标

Microchip 的名称和徽标组合、Microchip 徽标、Adaptec、AnyRate、AVR、AVR 徽标、AVR Freaks、BesTime、BitCloud、chipKIT、chipKIT 徽标、CryptoMemory、CryptoRF、dsPIC、FlashFlex、flexPWR、HELDO、IGLOO、JukeBlox、KeeLoq、Kleer、LANCheck、LinkMD、maXStylus、maXTouch、MediaLB、megaAVR、Microsemi、Microsemi 徽标、MOST、MOST 徽标、MPLAB、OptoLyzer、PackeTime、PIC、picoPower、PICSTART、PIC32 徽标、PolarFire、Prochip Designer、QTouch、SAM-BA、SenGenuity、SpyNIC、SST、SST 徽标、SuperFlash、Symmetricom、SyncServer、Tachyon、TimeSource、tinyAVR、UNI/O、Vectron 及 XMEGA 均为 Microchip Technology Incorporated 在美国和其他国家或地区的注册商标。

AgileSwitch、APT、ClockWorks、The Embedded Control Solutions Company、EtherSynch、FlashTec、Hyper Speed Control、HyperLight Load、IntelliMOS、Libero、motorBench、mTouch、Powermite 3、Precision Edge、ProASIC、ProASIC Plus、ProASIC Plus 徽标、Quiet-Wire、SmartFusion、SyncWorld、Temux、TimeCesium、TimeHub、TimePictra、TimeProvider、WinPath 和 ZL 均为 Microchip Technology Incorporated 在美国的注册商标。

Adjacent Key Suppression、AKS、Analog-for-the-Digital Age、Any Capacitor、AnyIn、AnyOut、Augmented Switching、BlueSky、BodyCom、CodeGuard、CryptoAuthentication、CryptoAutomotive、CryptoCompanion、CryptoController、dsPICDEM、dsPICDEM.net、Dynamic Average Matching、DAM、ECAN、Espresso T1S、EtherGREEN、IdealBridge、In-Circuit Serial Programming、ICSP、INICnet、Intelligent Paralleling、Inter-Chip Connectivity、JitterBlocker、maxCrypto、maxView、memBrain、Mindi、MiWi、MPASM、MPF、MPLAB Certified 徽标、MPLIB、MPLINK、MultiTRAK、NetDetach、Omniscient Code Generation、PICDEM、PICDEM.net、PICKit、PICtail、PowerSmart、PureSilicon、QMatrix、REAL ICE、Ripple Blocker、RTAX、RTG4、SAM-ICE、Serial Quad I/O、simpleMAP、SimpliPHY、SmartBuffer、SMART-I.S.、storClad、SQI、SuperSwitcher、SuperSwitcher II、Switchtec、SynchroPHY、Total Endurance、TSHARC、USBCheck、VariSense、VectorBlox、VeriPHY、ViewSpan、WiperLock、XpressConnect 和 ZENA 均为 Microchip Technology Incorporated 在美国和其他国家或地区的商标。

SQTP 为 Microchip Technology Incorporated 在美国的服务标记。

Adaptec 徽标、Frequency on Demand、Silicon Storage Technology 和 Symmcom 均为 Microchip Technology Inc. 在除美国外的国家或地区的注册商标。

GestIC 为 Microchip Technology Inc. 的子公司 Microchip Technology Germany II GmbH & Co. KG 在除美国外的国家或地区的注册商标。

在此提及的所有其他商标均为各持有公司所有。

© 2021, Microchip Technology Incorporated 版权所有。

ISBN: 978-1-5224-8707-4

质量管理体系

有关 Microchip 的质量管理体系的信息，请访问 www.microchip.com/quality。

全球销售及服务中心

美洲	亚太地区	亚太地区	欧洲
公司总部 2355 West Chandler Blvd. Chandler, AZ 85224-6199 电话: 480-792-7200 传真: 480-792-7277 技术支持: www.microchip.com/support 网址: www.microchip.com	澳大利亚 - 悉尼 电话: 61-2-9868-6733 中国 - 北京 电话: 86-10-8569-7000 中国 - 成都 电话: 86-28-8665-5511 中国 - 重庆 电话: 86-23-8980-9588 中国 - 东莞 电话: 86-769-8702-9880 中国 - 广州 电话: 86-20-8755-8029 中国 - 杭州 电话: 86-571-8792-8115 中国 - 香港特别行政区 电话: 852-2943-5100 中国 - 南京 电话: 86-25-8473-2460 中国 - 青岛 电话: 86-532-8502-7355 中国 - 上海 电话: 86-21-3326-8000 中国 - 沈阳 电话: 86-24-2334-2829 中国 - 深圳 电话: 86-755-8864-2200 中国 - 苏州 电话: 86-186-6233-1526 中国 - 武汉 电话: 86-27-5980-5300 中国 - 西安 电话: 86-29-8833-7252 中国 - 厦门 电话: 86-592-2388138 中国 - 珠海 电话: 86-756-3210040	印度 - 班加罗尔 电话: 91-80-3090-4444 印度 - 新德里 电话: 91-11-4160-8631 印度 - 浦那 电话: 91-20-4121-0141 日本 - 大阪 电话: 81-6-6152-7160 日本 - 东京 电话: 81-3-6880-3770 韩国 - 大邱 电话: 82-53-744-4301 韩国 - 首尔 电话: 82-2-554-7200 马来西亚 - 吉隆坡 电话: 60-3-7651-7906 马来西亚 - 槟榔屿 电话: 60-4-227-8870 菲律宾 - 马尼拉 电话: 63-2-634-9065 新加坡 电话: 65-6334-8870 台湾地区 - 新竹 电话: 886-3-577-8366 台湾地区 - 高雄 电话: 886-7-213-7830 台湾地区 - 台北 电话: 886-2-2508-8600 泰国 - 曼谷 电话: 66-2-694-1351 越南 - 胡志明市 电话: 84-28-5448-2100	奥地利 - 韦尔斯 电话: 43-7242-2244-39 传真: 43-7242-2244-393 丹麦 - 哥本哈根 电话: 45-4485-5910 传真: 45-4485-2829 芬兰 - 埃斯波 电话: 358-9-4520-820 法国 - 巴黎 电话: 33-1-69-53-63-20 传真: 33-1-69-30-90-79 德国 - 加兴 电话: 49-8931-9700 德国 - 哈恩 电话: 49-2129-3766400 德国 - 海尔布隆 电话: 49-7131-72400 德国 - 卡尔斯鲁厄 电话: 49-721-625370 德国 - 慕尼黑 电话: 49-89-627-144-0 传真: 49-89-627-144-44 德国 - 罗森海姆 电话: 49-8031-354-560 以色列 - 若那那市 电话: 972-9-744-7705 意大利 - 米兰 电话: 39-0331-742611 传真: 39-0331-466781 意大利 - 帕多瓦 电话: 39-049-7625286 荷兰 - 德卢内市 电话: 31-416-690399 传真: 31-416-690340 挪威 - 特隆赫姆 电话: 47-72884388 波兰 - 华沙 电话: 48-22-3325737 罗马尼亚 - 布加勒斯特 电话: 40-21-407-87-50 西班牙 - 马德里 电话: 34-91-708-08-90 传真: 34-91-708-08-91 瑞典 - 哥德堡 电话: 46-31-704-60-40 瑞典 - 斯德哥尔摩 电话: 46-8-5090-4654 英国 - 沃金厄姆 电话: 44-118-921-5800 传真: 44-118-921-5820
亚特兰大 德卢斯, 佐治亚州 电话: 678-957-9614 传真: 678-957-1455 奥斯汀, 德克萨斯州 电话: 512-257-3370 波士顿 韦斯特伯鲁, 马萨诸塞州 电话: 774-760-0087 传真: 774-760-0088 芝加哥 艾塔斯卡, 伊利诺伊州 电话: 630-285-0071 传真: 630-285-0075 达拉斯 阿迪森, 德克萨斯州 电话: 972-818-7423 传真: 972-818-2924 底特律 诺维, 密歇根州 电话: 248-848-4000 休斯顿, 德克萨斯州 电话: 281-894-5983 印第安纳波利斯 诺布尔斯特维尔, 印第安纳州 电话: 317-773-8323 传真: 317-773-5453 电话: 317-536-2380 洛杉矶 米慎维荷, 加利福尼亚州 电话: 949-462-9523 传真: 949-462-9608 电话: 951-273-7800 罗利, 北卡罗来纳州 电话: 919-844-7510 纽约, 纽约州 电话: 631-435-6000 圣何塞, 加利福尼亚州 电话: 408-735-9110 电话: 408-436-4270 加拿大 - 多伦多 电话: 905-695-1980 传真: 905-695-2078			