
tinyAVR® 0 和 1 系列以及 megaAVR® 0 系列的稳健性

简介

作者：Per Andreas Gulbrandsen 和 Øyvind A. Sandberg, Microchip Technology Inc.

在 *IEEE 标准 610.12-1990 软件工程术语词汇表* 中，稳健性定义为“系统或组件在存在无效输入或极限环境条件下正常运行的程度。”本文档是 tinyAVR® 0 和 1 系列以及 megaAVR® 0 系列中可用外设的指南，可用于稳健性应用。

目录

简介.....	1
1. 相关器件.....	3
1.1. tinyAVR 0 系列.....	3
1.2. tinyAVR 1 系列.....	3
1.3. megaAVR 0 系列.....	4
2. 上电复位.....	5
3. 欠压检测器.....	6
3.1. 电压监视器.....	6
4. 看门狗定时器.....	7
5. CRCSCAN.....	8
6. B 类.....	9
7. 配置更改保护.....	10
8. 闪存段.....	11
9. 熔丝.....	12
10. 事件和故障处理.....	13
11. 版本历史.....	14
Microchip 网站.....	15
产品变更通知服务.....	15
客户支持.....	15
Microchip 器件代码保护功能.....	15
法律声明.....	15
商标.....	16
质量管理体系.....	16
全球销售及服务网点.....	17

1. 相关器件

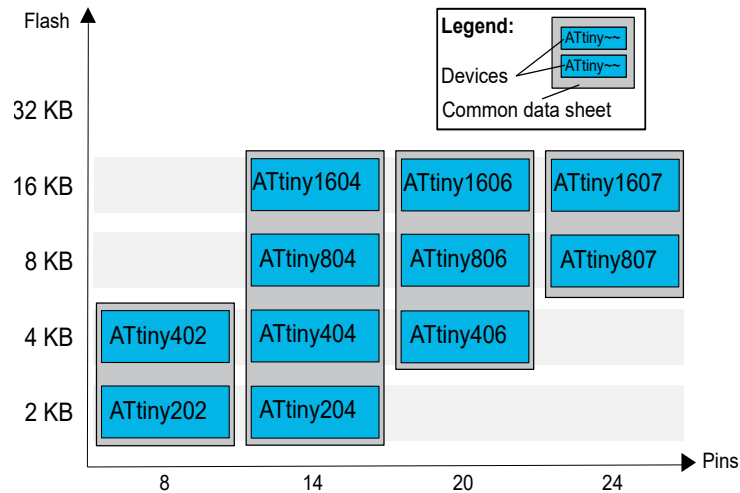
本章列出了文中涉及的相关器件。

1.1 tinyAVR 0 系列

下图所示为 tinyAVR 0 系列器件，注明了不同的引脚数与存储器大小：

- 垂直迁移无需修改代码，因为这些器件的引脚互相兼容，后者可提供相同甚至更多的功能。
- 从右到左迁移会减少引脚数，进而减少可用的功能。

图 1-1. tinyAVR® 0 系列概览



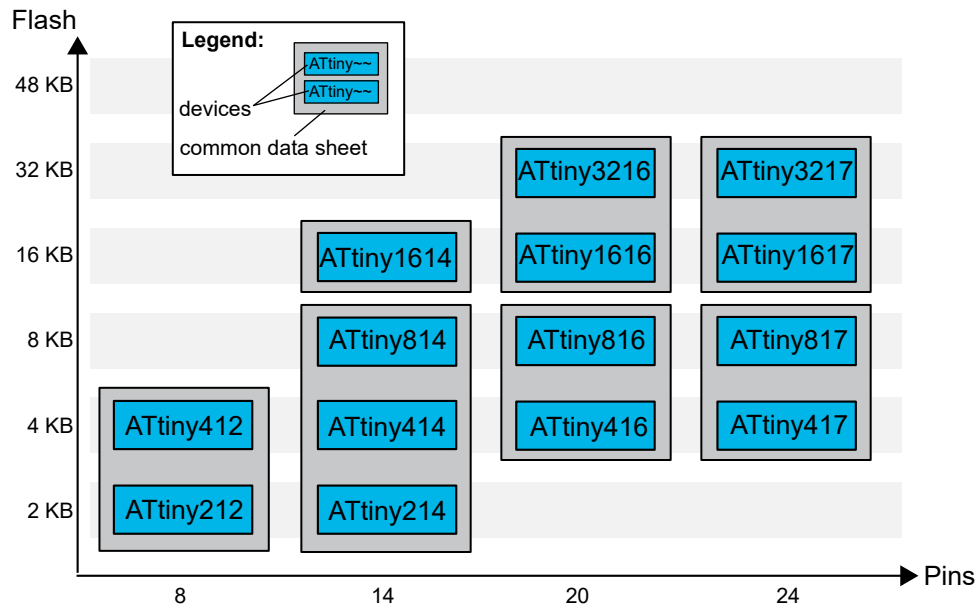
具有不同闪存大小的器件通常也具有不同的 SRAM 和 EEPROM。

1.2 tinyAVR 1 系列

下图所示为 tinyAVR 1 系列器件，注明了不同的引脚数与存储器大小：

- 从下到上迁移无需修改代码，因为这些器件的引脚互相兼容，后者可提供相同甚至更多的功能。而从下到上迁移可能需要修改代码，因为部分外设的可用引脚数较少。
- 从右到左迁移会减少引脚数，进而减少可用的功能。

图 1-2. tinyAVR® 1 系列概览



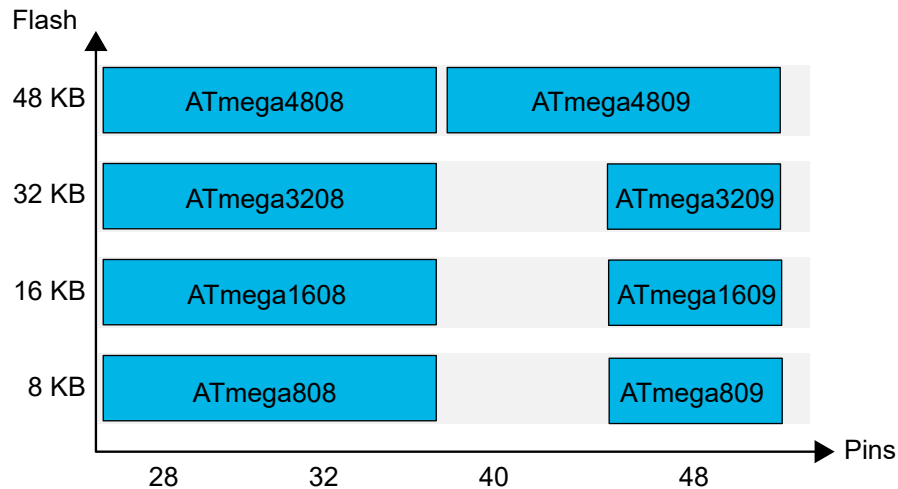
具有不同闪存大小的器件通常也具有不同的 SRAM 和 EEPROM。

1.3 megaAVR 0 系列

下图所示为 megaAVR 0 系列器件，注明了不同的引脚数与存储器大小：

- 垂直迁移无需修改代码，因为这些器件的引脚和功能完全兼容。
- 从右到左迁移会减少引脚数，进而减少可用的功能。

图 1-3. megaAVR® 0 系列概览



具有不同闪存大小的器件通常也具有不同的 SRAM 和 EEPROM。

2. 上电复位

上电复位（Power-on Reset, POR）电路是一种不可配置的电路，可确保在上电时将设备复位，即所谓的上电复位。在 POR 期间，所有逻辑都将复位，并且所有寄存器都将初始化，包括从熔丝加载的寄存器。此过程可确保 MCU 在已知良好的状态下开始执行。

POR 电路始终处于工作状态，其工作原理为将电源电压与固定阈值电压（上升或下降）进行比较。与 BOD 电压不同，这些阈值电压是不可配置的。请参见 [3. 欠压检测器](#) 部分。

POR 上升阈值电压和 POR 下降阈值电压在[相关器件](#)数据手册的电气特性部分进行指定。

当电源电压低于上升阈值时，POR 电路将使能内部复位。当电源电压高于阈值时，将允许器件启动。

在电源电压下降的情况下，POR 电路会将电源电压与 POR 下降阈值电压进行比较。如果电源电压下降到该阈值以下，则将重新使能内部复位，直到电源电压再次超过 POR 上升阈值。

如果器件通过 POR 复位，则复位标志（RSTCTRL.RSTFR）寄存器中的 POR 标志将置 1。在 POR 之后，只有 POR 标志置 1，其他所有标志都将清零。

3. 欠压检测器

为了使 CPU 成功译码并执行指令，所提供的电压必须始终保持高于最小电压。最小电压由所选的工作频率定义。例如，如果[相关器件](#)的工作频率为 10 MHz，则必须施加最小 2.7V 的工作电压。如果电压下降到该阈值以下，则单片机（MCU）可能会发生意外行为，包括指令执行错误、CPU 寄存器损坏、闪存损坏以及引脚意外翻转。此外，它还可能导致逻辑闭锁，从而可能进入错误状态。

为避免上述问题，可以使用欠压检测器（Brown-out Detector，BOD）。[相关器件](#)中包含片上可配置的 BOD，它可以监视电源并将电压与可编程的欠压阈值电压进行比较。当 BOD 检测到电源电压超过配置的阈值时，它将使能内部复位。只要电源电压低于配置的阈值电压，器件就会保持在复位状态。当电源电压高于阈值电压，并且可以安全地继续正常操作时，BOD 将禁用内部复位，从而允许器件执行指令。

复位后，将从熔丝加载 BOD 设置。有两种熔丝可用于控制 BOD 功能，详见器件数据手册中“熔丝”章节下的 BOD 配置（BODCFG）。

第一个熔丝 ACTIVE 定义了处于工作或空闲休眠模式下的工作模式。这些位不能由软件更改。

第二个熔丝 SLEEP 定义了处于待机或掉电休眠模式下的工作模式。这些位可以由软件进行更改，并受到配置更改保护（Configuration Change Protection，CCP）寄存器的保护。

可以通过如下方式配置 ACTIVE 和 SLEEP 熔丝：

- **禁止模式**——BOD 已停用
- **使能模式**——表示 BOD 持续工作
- **采样模式**——BOD 在给定时间内短暂激活以检查电源电压。在采样频率（BODCFG.SAMPFREQ）熔丝中，频率设置为 125 Hz 或 1 kHz

此外，ACTIVE 还提供第四个选项：

- **在唤醒时使能，直至 BOD 就绪**——BOD 在休眠期间不工作。唤醒时，代码执行将停止，直至 BOD 就绪。这样可以确保在每次执行代码时都提供正确的电源电压。唤醒时间可能会延长。

采样频率（SAMPLEFREQ）和 BOD 电压（LVL）也可在 BODCFG 中找到。这两个值用于控制 BOD 的行为方式。

BOD 电压

BOD 可将电源电压与阈值电压进行比较。该阈值是可编程的，用户可以从 8 个不同的电压中进行选择。[表 3-1](#) 给出了 ATtiny3217 数据手册中的 BOD 电压。请务必查看[相关器件](#)数据手册以获取正确的 BOD 电压。

表 3-1. BOD 阈值电压示例

名称	说明
BODLEVEL0	1.80V
BODLEVEL2	2.60V
BODLEVEL7	4.30V

当设置 BOD 电压时，需要考虑几点注意事项。如前文所述，BOD 可避免系统受到不安全操作的影响。此外，BOD 还可用于确保电压，例如在使用 ADC 时。如果将 ADC 设置为使用 4.3V 内部参考进行采样，并且电源电压低于该电压，则 ADC 结果将不正确。

如果未使用 BOD，则会将其设置为最低电压，以确保在内部复位和全片擦除期间安全工作。

3.1 电压监视器

如果电源电压即将低于给定的阈值电压，则电压监视器（Voltage Level Monitor，VLM）会发出预警信号并生成中断请求。这样可确保系统安全关断。

BOD 外设中包含 VLM 阈值电压，可将它配置为比 BOD 电压高出 5%、15%或 25%。VLM 遵循 BOD 功能。如果 BOD 处于采样模式，则 VLM 也将被采样。如果禁止 BOD，则 VLM 也将被禁止。

当电源电压在上方、下方或任意方向超过阈值电压时，可能触发 VLM 中断。

4. 看门狗定时器

许多问题都可能导致系统进入非法状态或冻结状态，例如软件错误或电气噪声。[相关器件](#)中提供了一种安全措施，即看门狗定时器（Watchdog Timer, WDT）。该定时器独立于系统的其余部分运行，具有独立的时钟源。当该定时器溢出时，将导致复位。系统固件必须使用专用的看门狗定时器复位指令（WDR）定期将 WDT 清零。如果固件无法执行此操作，例如由于系统挂起或跑飞的代码，则将复位系统。

正常模式

在正常模式下，看门狗从 0 计数到最大值，并且可以随时清零。在正常模式下，可以将周期持续时间配置为 8 ms 至 8s。

窗口模式

为了提高稳健性，可以使用窗口模式。在窗口模式下，可以配置关闭的窗口和打开的窗口，周期开始时为关闭的窗口。在关闭的窗口中，将 WDT 清零是非法操作，这将导致复位。当关闭的窗口结束后，打开的窗口随即启动，此时可以将 WDT 清零。由于固件只能在打开的窗口中将看门狗清零，因此使用窗口模式时对固件的要求更多。两个窗口的持续时间均可以配置为 8 ms 至 8s。因此，总 WDT 周期为 16 ms 至 16s。

WDT 周期和窗口超时可以通过熔丝配置，以便在复位后立即激活。如果固件出现任何问题，导致其无法正常启动，则 WDT 将复位系统。在复位后，无论复位源如何，WDT 都将从 0 开始计数。

由于实现看门狗定时器的目标之一是能够从跑飞的代码中恢复，因此软件工程师可能需要做一些考量。跑飞的代码不会影响中断的执行。即使系统出于某种原因执行了错误的代码，也将正确加载任何中断向量。因此，不要从中断处理程序将 WDT 清零。另外，尝试限制 WDR 指令的数量。如果固件中有很多条 WDT 清零指令，则一旦代码跑飞，很可能会执行某条 WDT 指令。理想情况下只需要实现一条 WDR 指令。即使无法完全做到，也要尽量限制 WDR 指令的数量。此外，使用窗口模式也有助于捕捉错误执行的 WDR 指令。

5. CRCSCAN

循环冗余校验（Cyclic Redundancy Check, CRC）可为数据块创建校验和，从而对数据块进行错误检测。[相关器件](#)中包含 CRCSCAN 外设，可检查[闪存段](#)并将其与闪存段尾部存储的校验和进行比较。如果意外更改了闪存段，例如损坏或意外写入，则 CRCSCAN 将检测到此情况并向 CPU 发送信号，以指示闪存已损坏。

在自举程序中，CRCSCAN 可用于在开始执行之前验证应用程序映像。这样可以确保不会执行损坏的软件，从而避免产生灾难性后果。如果检查失败，自举程序可以选择不启动应用程序，而是执行固件更新，或者向外部系统发送错误信号。

CRCSCAN 可以在启动时运行，也可以在应用程序控制的特定间隔内运行。如果在启动时运行，则在执行任何指令之前，将检查闪存是否存在错误。这样便可在执行之前验证应用程序的完整性。可使用熔丝配置启动时运行 CRCSCAN。

当 CRCSCAN 由应用程序控制时，可以通过寄存器访问将其启动。由于 CRCSCAN 对闪存具有优先访问权限，因此在它启动后，CPU 会在检查完成时停止，这样便可阻断 CPU。

有关更多信息，请参见 [tinyAVR® 0 和 1 系列](#)以及 [megaAVR® 0 系列](#)应用笔记。

6. B 类

大部分的现代化电器都采用电子控制。电子控制提供更高效率和更多功能，还能提升用户体验。但如果发生问题呢？IEC 60730 的出现解决了电器中电子控制的安全问题。其他针对安全关键型设备的标准（例如 IEC 60335）也参考了这一标准。目前，IEC 60730 主要用于在欧洲销售的电器。

IEC 60730 附录 H 定义了三类家电控制软件：

- A 类——与设备安全性无关的控制功能
- B 类——软件中包含在家电发生故障（软件故障除外）时防止危险的代码
- C 类——软件中包含在不使用其他保护设备的情况下防止危险的代码

对于符合 B 类要求的家电，控制软件必须检测并处理系统组件的故障。对于希望证明产品符合 B 类要求的客户，Microchip 针对 tinyAVR 1 系列提供了一个 B 类库。该库实现了符合 B 类所需的测试，并且可以缩短开发时间和降低认证成本。

测试针对 CPU 寄存器、程序计数器、频率、CRC、中断处理和执行、时钟、SRAM、闪存、EEPROM 以及外设（例如 ADC、DAC 和 WDT）。

有关更多信息，请参见[关于 tinyAVR® 1 系列的 IEC 60730 B 类符合性指南](#)。

7. 配置更改保护

保护系统关键寄存器以防意外修改，并且保护闪存自编程以防意外执行。这是由配置更改保护（CPU.CCP）寄存器全局处理的。只有在向 CCP 寄存器写入签名之后，才能执行其中一项操作。在向 CCP 寄存器写入正确的签名之后，必须在四条指令内执行所需的操作。在这四个周期中，中断保持待处理状态。

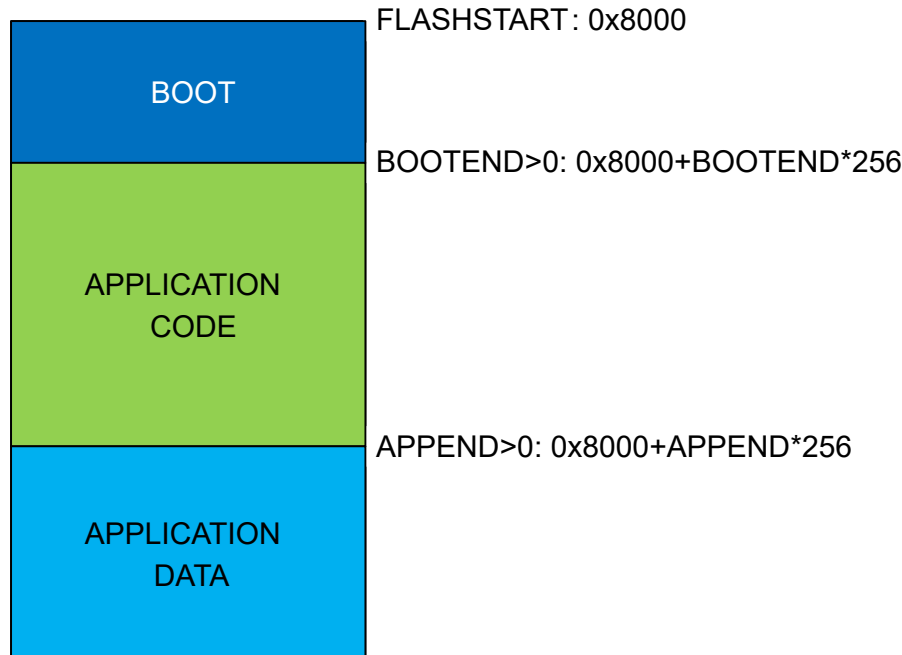
有关 CCP 的详细信息，请参见[相关器件](#)数据手册中的 CPU 一章。

8. 闪存段

相关器件的闪存可以分为三个独立的段：引导（BOOT）、应用程序代码（APPCODE）和应用程序数据（APPDATA）。此方案可以保护和存储几个单独的代码段或数据段。分配的粒度为 256 字节。

三个段的大小是使用引导段末尾（BOOTEND）熔丝和应用程序代码段末尾（APPEND）熔丝设置的。BOOTEND 用于确定 BOOT 的大小。APPEND 用于确定 APPCODE 的大小。APPCODE 将紧接着置于 BOOT 之后。其余页将作为 APPDATA 的一部分紧接着置于 APPCODE 之后。如果两个熔丝都设置为零，则将所有页分配给 BOOT。这种操作适用于只向闪存写入应用程序而没有自举程序的情况。

图 8-1. 闪存段



如果 FUSE.BOOTEND 写入 0x04 并且 FUSE.APPEND 写入 0x08，则前 $4 * 256$ 字节是 BOOT，接下来的 $4 * 256$ 字节是 APPCODE，剩余的闪存部分是 APPDATA。

为了保护三个段中的数据，系统实现了定向写保护：

- BOOT 段中的代码可以写入 APPCODE 和 APPDATA
- APPCODE 段中的代码可以写入 APPDATA
- APPDATA 段中的代码无法写入闪存或 EEPROM

除了定向写保护之外，还可以使用两个寄存器位来增加限制。

通过向应用程序代码段写保护（APCWP）位写入 1，可以防止对应用程序代码段进行其他写操作。可以在非易失性存储器控制器（NVMCTRL）外设的控制 B（CTRLB）寄存器中找到该位。该位在复位时清零。

由于 CPU 永远无法写入 BOOT 段，因此无需以相同的方式保护 BOOT 段免受写操作。通过向 NVMCTRL 外设的 CTRLB 寄存器中的引导段锁定（BOOTLOCK）位写入 1，可以防止从 BOOT 读取和执行代码。该位在复位时清零。

有关更多详细信息，请参见**相关器件**数据手册中的非易失性存储器控制器（NVMCTRL）一章。

9. 熔丝

熔丝是非易失性存储器的一部分，用于配置系统设置，例如时钟源、启动时间和闪存段等。熔丝可由 CPU 和外部编程器读取，但只能由外部编程器编译或清零。某些寄存器需要复位才能使用熔丝（例如振荡器校准）中存储的值。这些值在启动序列结束时写入。因此，当此类熔丝发生更改时，必须复位器件才能使更改生效。

用于外设配置的熔丝包括：

- **看门狗定时器**：用于在启动时设置 WDT 窗口和超时周期，因此无需执行任何代码即可运行。
- **欠压检测器**：用于设置 BOD 电压、采样频率、活动和待机工作模式，因此无需执行任何代码即可运行。
- **16/20 MHz 振荡器**：将工作频率配置为 16 MHz 或 20 MHz。对于校准寄存器，在向其加载出厂校准值之后，还可以将其锁定。
- **定时器/计数器 D**：用于使能或禁止 TCD 输出引脚，以及设置引脚的默认状态。此熔丝仅适用于 tinyAVR 1 系列器件。
- **系统配置 0**：用于将 CRCSCAN 配置为在启动时运行，并选择要检查的闪存段。
- **系统配置 1**：用于配置器件的附加启动时间。
- **应用程序代码末尾**：用于配置应用程序代码段的大小。
- **引导末尾**：用于配置引导段的大小。
- **锁定位**：用于锁定器件并防止外部编程器访问熔丝、闪存、SRAM 和 EEPROM。仍可以从应用程序内部的常规存储器访问。必须执行全片擦除才能解锁器件。

在执行任何代码之前，使用熔丝（例如 WDT）进行设置可以提高系统的稳健性。这是因为损坏的闪存可能导致 WDT 的软件驱动配置失败。假设用于使能 WDT 的指令已损坏并且未正确执行，结果将导致系统行为异常，用于检测错误行为的机制也会被禁止。因此，使用熔丝来使能安全功能是一种优势。

通过熔丝使能 **CRCSCAN** 后，系统先对闪存进行扫描以查看是否存在错误，然后再从闪存中取出指令。

有关更多信息，请参见[相关器件](#)数据手册中存储器一章的熔丝小节。

10. 事件和故障处理

此部分仅与 tinyAVR 1 系列器件有关。D 型定时器/计数器（TCD）经过了专门设计，可用于控制各种电源应用，例如驱动 LED、电机控制、H 桥和电源转换器。TCD 的一项重要安全功能是内置的故障处理程序。通过此故障处理程序，可在出现故障时将 TCD 的输出钳位到预定义的电平。故障为传入事件，必须配合其他一些内部或外部外设才能发现故障。

假设使用 TCD 驱动风扇的电机。此外，模拟比较器（Analog Comparator, AC）也连接到风扇，并监视电流消耗。如果电流消耗超过预定义的阈值（例如，某个物体卡在风扇中时），则 AC 会向 TCD 发送事件。TCD 在接收到事件后会立即将所有输出钳位到预定义的电平，电机将停止。这样可以确保安全地停止电机，而不会造成电机过热或损坏导致堵塞的物体。

当使用外部电路而不是内部外设时，事件是由连接到外部电路的引脚的边沿或电平变化引起的。同样，此事件会发送到 TCD，随后 TCD 会立即将所有输出钳位到预定义的状态。

事件是通过事件系统（EVSYS）发送的。EVSYS 支持在外设之间直接发送信号。一个外设（事件发生器）可以向一个或多个其他外设（事件用户）发送信号，而无需使用 CPU。

上述示例中的所有功能模块均为独立于内核的外设（Core Independent Peripheral, CIP），这意味着即使 CPU 发生死锁，此安全功能也将按预期正常运行。

11. 版本历史

文档版本	日期	备注
C	2019 年 11 月	更改了标题以表示应用笔记与 tinyAVR 0 系列和 megaAVR 0 系列也相关。 删除了表 3-1 中不支持的 BOD 电压。 在 B 类、熔丝和事件与故障处理章节中阐明了 tinyAVR 1 系列的特定功能。
B	2018 年 10 月	更新了“相关器件”章节，加入了 8/16 KB megaAVR 0 系列器件。
A	2018 年 06 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指标。
- Microchip 确信: 在正常使用的情况下, Microchip 系列产品是当今市场上同类产品中最安全的产品之一。
- 目前, 仍存在着恶意、甚至是非法破坏代码保护功能的行为。就我们所知, 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。这样做的人极可能侵犯了知识产权。
- Microchip 愿意与关心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 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，包括但不限于针对其使用情况、质量、性能、适销性或特定用途的适用性的声明或担保。Microchip 对因这些信息及使用这些信息而引起的后果不承担任何责任。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伤害、索赔、诉讼或费用时，会维护和保障 Microchip 免于承担法律责任，并加以赔偿。除非另外声明，否则在 Microchip 知识产权保护下，不得暗中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、PackerTime、PIC、picoPower、PICSTART、PIC32 徽标、PolarFire、Prochip Designer、QTouch、SAM-BA、SenGenuity、SpyNIC、SST、SST 徽标、SuperFlash、Symmetricom、SyncServer、Tachyon、TempTrackr、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。

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、Vite、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、BlueSky、BodyCom、CodeGuard、CryptoAuthentication、CryptoAutomotive、CryptoCompanion、CryptoController、dsPICDEM、dsPICDEM.net、Dynamic Average Matching、DAM、ECAN、EtherGREEN、In-Circuit Serial Programming、ICSP、INICnet、Inter-Chip Connectivity、JitterBlocker、KleerNet、KleerNet 徽标、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、SAM-ICE、Serial Quad I/O、SMART-I.S.、SQI、SuperSwitcher、SuperSwitcher II、Total Endurance、TSHARC、USBCheck、VariSense、ViewSpan、WiperLock、Wireless DNA 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。

© 2020, Microchip Technology Incorporated 版权所有。

ISBN: 978-1-5224-7210-0

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 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	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