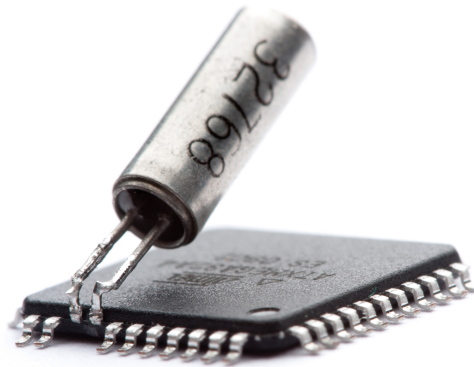

为 AVR®单片机选择和测试 32 kHz 晶振

简介

作者：Microchip Technology Inc.的 Torbjørn Kjølraug

本应用笔记总结了晶振基础知识、PCB 布线注意事项以及如何测试应用中的晶振。晶振选型指南给出了经专家测试、适用于不同 Microchip AVR®系列中各种振荡器模块的推荐晶振。本应用笔记还包括来自不同晶振供应商的测试固件和测试报告。

**特性**

- 晶振基础知识
- PCB 设计注意事项
- 测试晶振稳健性
- 包括测试固件
- 晶振建议指南

目录

简介.....	1
特性.....	1
1. 晶振基础知识.....	4
1.1. 简介.....	4
1.2. 振荡器.....	4
1.3. 电气模型.....	5
1.4. 等效串联电阻 (ESR)	6
1.5. Q 因数和稳定性.....	6
1.6. 起振时间.....	7
1.7. 温度容差.....	7
2. PCB 布线和设计注意事项.....	9
3. 测试晶振稳健性.....	10
3.1. 简介.....	10
3.2. 负电阻测试和安全系数.....	12
3.3. 测量有效负载电容.....	14
4. 测试固件.....	16
4.1. tinyAVR®	16
4.2. megaAVR®	16
4.3. XMEGA®	16
4.4. UC3.....	16
5. 晶振建议.....	17
6. 振荡器模块概述.....	19
7. 版本历史.....	25
Microchip 网站.....	26
变更通知客户服务.....	26
客户支持.....	26
Microchip 器件代码保护功能.....	26
法律声明.....	27
商标.....	27
DNV 认证的质量管理体系.....	28

全球销售及服务网点..... 29

1. 晶振基础知识

许多读者都熟悉基本晶振理论，他们只关注如何测试其应用。这类读者可能会跳过第 1 章 *晶振基础知识* 和第 2 章 *PCB 布局和设计注意事项* 中的主题，直接开始阅读第 3 章 *测试晶振稳健性*。

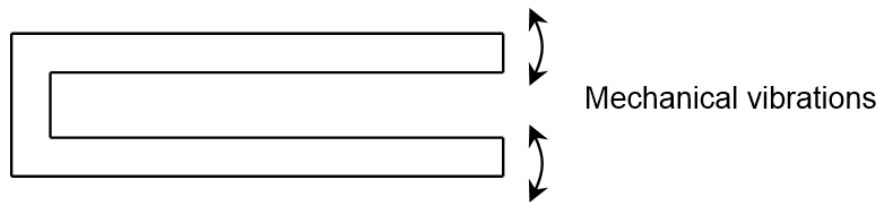
1.1 简介

晶振利用振动压电材料的机械谐振来产生非常稳定的时钟信号。通常借助频率提供稳定的时钟信号或跟踪时间；因此，晶振广泛用于 RF 和数字电路。

晶振可由不同供应商提供，形状和尺寸也不尽相同，在性能和规格方面有很大差异。为在温度、湿度、电源和工艺发生变化时使稳健的应用保持稳定，了解各个参数和振荡器电路至关重要。

所有物理对象都具有固有的振动频率，振动频率由其形状、大小、弹性和材料中的声速决定。压电材料在施加电场时会变形，在恢复到其原始形状时会产生电场。电子电路中最常用的压电材料是石英晶振，但也使用陶瓷谐振器——通常用于低成本或非时序关键型应用。32 kHz (32768 Hz) 晶振通常被切割成音叉形状，可以形成非常精确的频率。

图 1-1. 32 kHz 音叉晶振的形状



1.2 振荡器

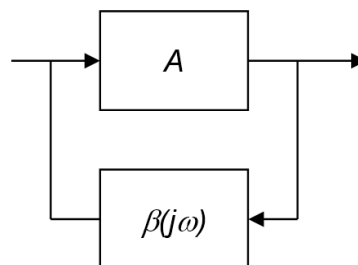
巴克豪森稳定性准则是用于确定电子电路何时振荡的两个条件。其中规定，如果 A 是电路中放大元件的增益， $\beta(j\omega)$ 是反馈路径的传递函数，则电路将仅在符合以下条件的频率下维持稳态振荡：

环路增益的绝对值等于单位增益，即 $|\beta A| = 1$

环路的相移为 0 或 2π 的整数倍，即 $\angle \beta A = 2\pi n$, $n \in 0, 1, 2, 3...$

第一条准则将确保恒定幅值信号。小于 1 的数会将信号衰减到 0，大于 1 的数会将信号放大到无穷大。第二条准则将确保稳定的频率。对于其他相移值，正弦波输出将因反馈环而被抵消。

图 1-2. 反馈环

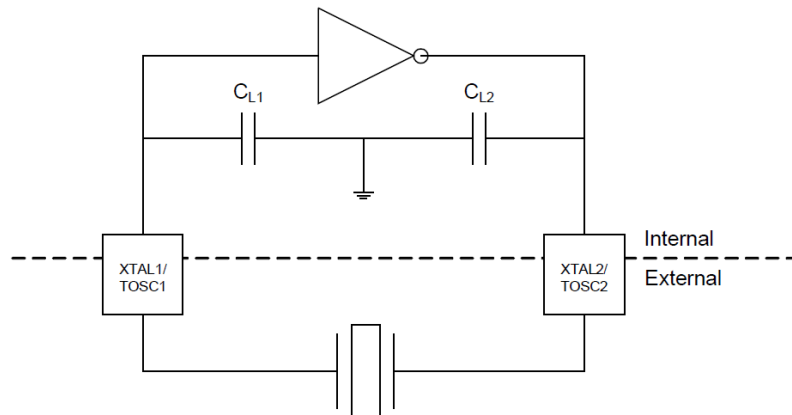


Microchip AVR 单片机中的 32 kHz 振荡器如图 1-3 所示，它由反相放大器（内部）和晶振（外部）组成。大多数 AVR 单片机都具有内部容性负载 (C_{L1} 和 C_{L2})，因此通常不需要外部电容。但在某些情况下，必

须添加外部负载以满足晶振规范。某些 AVR 单片机可选择应使用 CKOPT 熔丝连接还是断开内部电容。有关更多详细信息，请参见 AVR 器件的数据手册。

反相放大器将提供一个 π 弧度（180 度）相移，剩下的 π 弧度相移将由晶振和容性负载（频率为 32768 Hz）提供，得到的总相移为 2π 弧度。在起振期间，放大器输出将增大，直到建立环路增益为 1 的稳态振荡，即满足巴克豪森准则。此过程由 AVR 单片机振荡器电路自动控制。

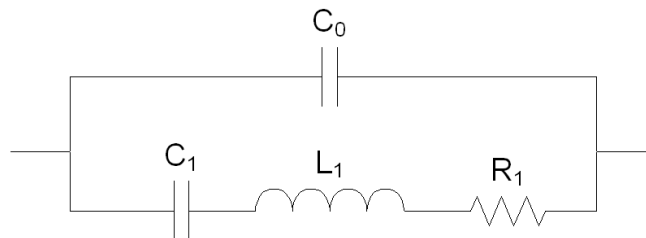
图 1-3. AVR 器件中的皮尔斯晶振电路（简化电路）



1.3 电气模型

晶振的等效电路如图 1-4 所示。串联 RLC 网络称为动态臂，给出了晶振机械行为的电气描述，其中 C_1 表示石英的弹性， L_1 表示振动质量， R_1 表示由于阻尼造成的损失。 C_0 称为并联电容或静态电容，是晶振外壳和电极引起的电寄生电容的总和。如果使用电容表测量晶振电容，则只测量 C_0 (C_1 无作用)。

图 1-4. 晶振等效电路



通过使用拉普拉斯变换，可以在该网络中找到两个谐振频率。串联谐振频率 f_s 仅取决于 C_1 和 L_1 ，并联或抗谐振频率 f_p 则还取决于 C_0 。电抗与频率特性如图 1-5 所示。

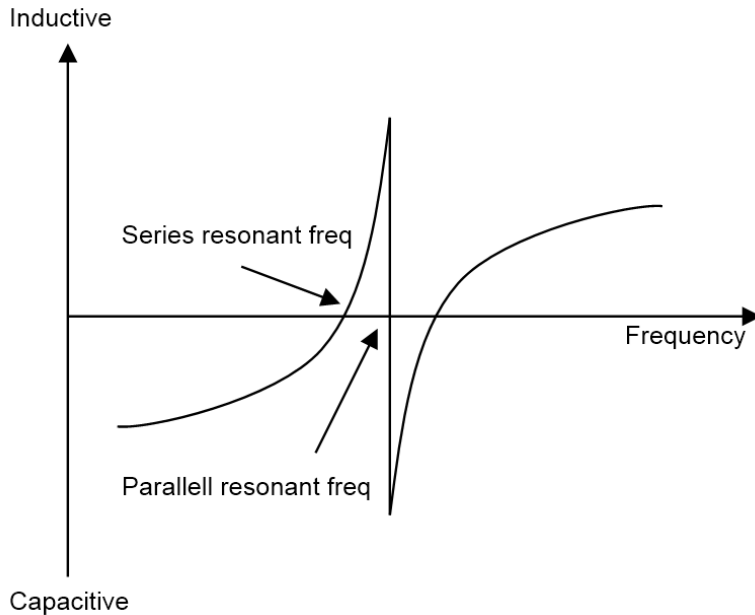
公式 1-1. 串联谐振频率

$$f_s = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C_1}}$$

公式 1-2. 并联谐振频率

$$f_p = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C_1}} \sqrt{1 + \frac{C_1}{C_0}}$$

图 1-5. 晶振电抗特性



低于 30 MHz 的晶振可工作在串联和并联谐振频率之间的任何频率下，即，其在工作时处于感性状态。30 MHz 以上的高频晶振通常工作在串联谐振频率或泛音频率下，泛音频率出现在基频的倍数处。向晶振添加容性负载 C_L 将导致频率偏移公式 1-3 中的值。晶振频率可通过改变负载电容来调节，这称为频率牵引。

公式 1-3. 偏移的并联谐振频率

$$\Delta f = f_s \left(\frac{C_1}{2(C_0 + C_L)} \right)$$

1.4 等效串联电阻（ESR）

等效串联电阻（Equivalent Series Resistance, ESR）是机械损耗的电气表示，在串联谐振频率 f_s 下，它等于电气模型中的 R_1 。ESR 是一个非常重要的参数，在晶振数据手册中提供。ESR 通常取决于晶振的物理尺寸，小晶振（特别是小型 SMD 晶振）的损耗和 ESR 值通常高于大晶振。

ESR 值越高，反相放大器的负载就越高，而 ESR 过高可能会导致振荡器运行不稳定。无法实现单位增益，也无法满足巴克豪森准则。

1.5 Q 因数和稳定性

晶振的频率稳定性通过 Q 因数来衡量。Q 因数是存储在晶振中的能量与所有能量损耗之和的比值。通常，石英晶振的 Q 值范围为 10,000 至 100,000，而 LC 振荡器的 Q 值可能为 100。陶瓷谐振器的 Q 值低于石英晶振，对容性负载更敏感（牵引能力更高）。

公式 1-4. Q 因数

$$Q = \frac{E_{STORED}}{\Sigma E_{LOSS}}$$

以下几个因素会影响频率稳定性：由安装、冲击或振动应力引起的机械应力、电源变化、负载阻抗变化、温度变化、磁场变化、电场变化以及晶振老化都可能产生影响。晶振供应商通常会其数据手册中列出这些参数。

1.6 起振时间

在起振期间，噪声将在反相放大器中放大。晶振将充当带通滤波器并且仅反馈将被放大的晶振谐振频率分量。在实现稳态振荡之前，晶振/反相放大器环路的环路增益大于 1，信号幅值将增大。达到稳态时，环路增益将满足巴克豪森准则，环路增益为 1，幅值恒定。

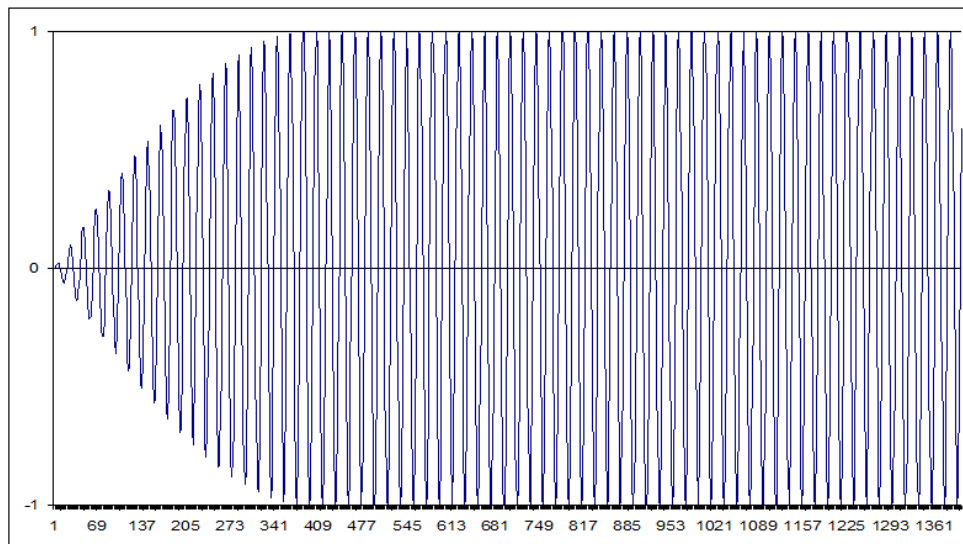
影响起振时间的因素：

- 高 ESR 晶振的起振速度慢于低 ESR 晶振
- 高 Q 因数晶振的起振速度慢于低 Q 因数晶振
- 高负载电容会增加起振时间

振荡器放大器驱动能力（有关振荡器裕度的更多详细信息，请参见第 3.2 节 [负电阻测试和安全系数](#)）。

此外，晶振频率也会影响起振时间（晶振频率越高，起振就越快），但对于 32 kHz 晶振，此参数固定。

图 1-6. 晶振的起振信号



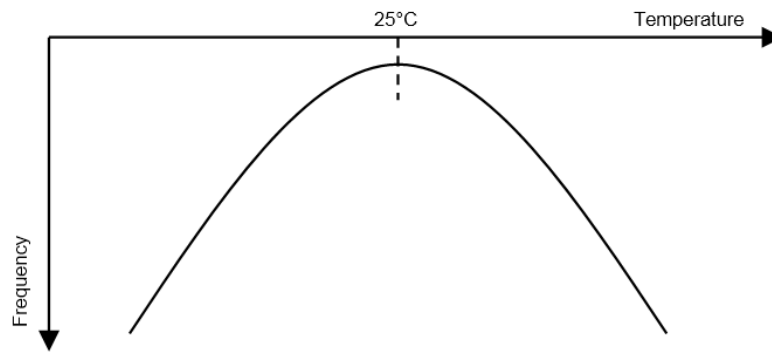
1.7 温度容差

典型的音叉晶振通常被切割成使标称频率集中于 25°C。高于和低于 25°C 时，频率都将因抛物线特性而降低，如图 1-7 所示。频移由公式 1-5 得出，其中 f_0 为 T_0 时的目标频率（25°C 时通常为 32768 Hz），PPM 为晶振数据手册提供的温度容差系数。

公式 1-5. 温度变化的影响

$$f = f_0(1 - PPM(T - T_0))^2$$

图 1-7. 典型温度与晶振频率特性



2. PCB 布线和设计注意事项

如果不谨慎考虑 PCB 布线和装配过程中使用的材料，即使是性能最佳的振荡器电路和高质量晶振也不会表现出良好性能。超低功耗 32 kHz 振荡器的功耗通常远低于 1 μ W，因此流入电路中的电流非常小。此外，晶振频率高度依赖于容性负载。

为提高振荡器的稳健性，我们建议在 PCB 布线期间遵循以下准则：

- 从 XTAL1/TOSC1 和 XTAL2/TOSC2 连接到晶振的信号线应尽可能短，以减小寄生电容并提高抗噪性和抗串扰性。应避免使用任何类型的插座。
- 在晶振和信号线的周围放置地平面和保护环，对其进行屏蔽。
- 避免在晶振线附近布数字线（特别是时钟线）。对于多层 PCB 板，避免在晶振线下方布信号线。
- 使用高质量 PCB 和焊接材料。
- 灰尘和湿度会增加寄生电容并减弱信号隔离，因此建议使用保护涂层。

3. 测试晶振稳健性

3.1 简介

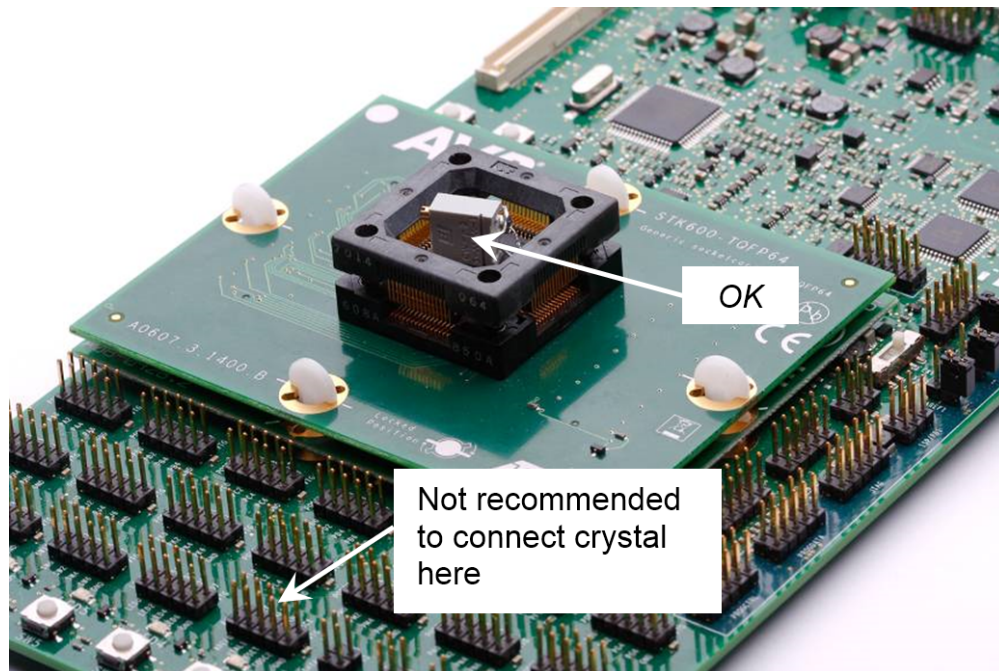
AVR 单片机的 32 kHz 晶振驱动器针对极低功耗进行了优化，因此晶振驱动器驱动强度有限。晶振驱动器过载可能导致振荡器无法起振，或者可能导致其受到影响（暂时停止），例如，因污染或手接近引起的噪声尖峰或容性负载增加所导致。

这意味着在选择和测试晶振时必须小心谨慎，以确保在您的应用中实现适当的稳健性。等效串联电阻（ESR）和负载电容（Load Capacitance, CL）是两个重要的晶振参数。

对晶振进行测量时，晶振应尽可能靠近 32 kHz 振荡器引脚放置，以减少寄生电容。通常，我们始终建议您在最终应用中进行测量。但是，对于晶振的初始测试，使用入门工具包（例如，STK600）即可。

我们建议不要将晶振连接到 STK600 末端的 XTAL/TOSC 输出插针（如图 3-1 所示），因为信号路径对噪声非常敏感，从而会增加额外的容性负载。不过，将晶振直接焊接到引脚可获得良好的结果。为了避免从插座引入额外的容性负载以及在 STK600 上布线，我们建议向上弯曲 XTAL/TOSC 引脚（如图 3-2 和图 3-3 所示），使其不接触插座。带引脚的晶振（插孔式安装）更容易处理，但也可通过引脚扩展将 SMD 直接焊接到 XTAL/TOSC 引脚，如图 3-4 所示。也可以将晶振焊接到引脚间距较窄的封装上（如图 3-5 所示），但操作起来困难，需要保持手的稳定。

图 3-1. 不要将晶振连接到 STK600 末端的 XTAL/TOSC 插针。这将产生一个非常长的信号路径，此路径会增加寄生电容并对噪声和串扰敏感



容性负载对振荡器的影响很大，因此除非您拥有适合晶振测量的高质量设备，否则不应直接使用示波器探头测量晶振。标准的 10X 示波器探头施加 10-15 pF 的负载，对测量结果有很大影响。用手指或 10X 探头接触晶振的引脚足以导致起振或停振或产生错误结果。本应用笔记随附用于将时钟信号输出到标准 I/O 引脚的固件。与 XTAL/TOSC 引脚不同，I/O 引脚可使用标准 10X 示波器探头进行测量，而不会影响测量结果。有关更多详细信息，请参见第 4 章 *测试固件*。

图 3-2. 晶振直接焊接到弯曲的 XTAL/TOSC 引脚上



图 3-3. 确保 XTAL/TOSC 引脚不接触插座

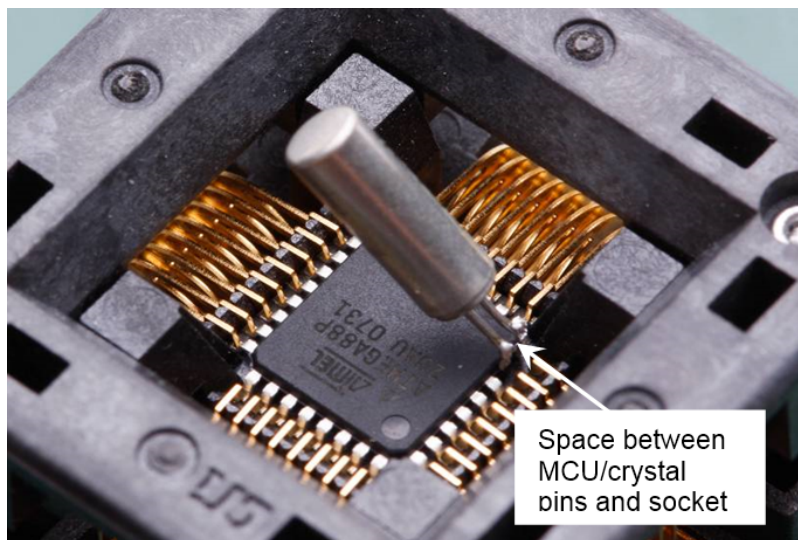


图 3-4. SMD 晶振通过引脚扩展直接焊接到 MCU

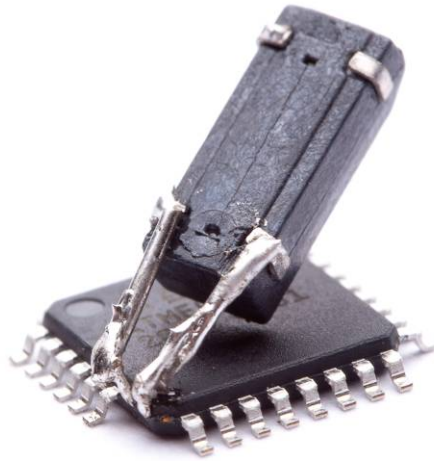


图 3-5. 还可使用引脚间距较窄的 100 引脚 TQFP 封装（例如，ATmega6490、ATmega2560 和 ATxmega128A1），但在焊接时需要保持手的稳定



3.2 负电阻测试和安全系数

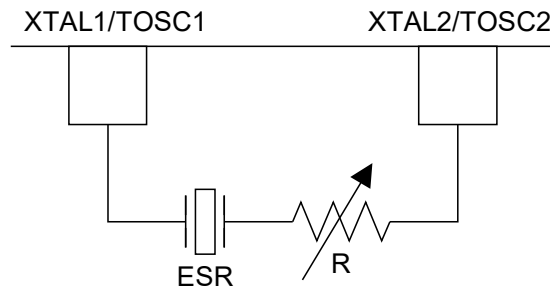
负电阻测试可以确定应用中使用的晶振放大器负载与最大负载之间的裕量。在最大负载时，放大器将饱和，振荡将停止。此点称为振荡器裕度（Oscillator Allowance, OA）。可通过在放大器输出（XTAL2/TOSC2）引脚和晶振之间临时添加可变串联电阻确定振荡器裕度，如图 3-6 所示。应增大串联电阻，直到晶振停止振荡。振荡器裕度将是该串联电阻 R_{MAX} 与 ESR 之和。我们建议使用范围至少为 $ESR < R_{POT} < 5 ESR$ 的电位器。

很难确定合适的 R_{MAX} 值，因为不存在精确的振荡器裕度点。在振荡器停振之前，可能会观察到频率逐渐降低，并且可能还存在起振-停振滞后。在振荡器停振之后，需要将 R_{MAX} 值减小 10-50 k Ω ，之后才会恢复振荡。我们建议每次增大可变电阻后都循环上电。之后， R_{MAX} 将成为循环上电后振荡器未起振时对应的电阻值。请注意，在振荡器裕度点起振时间会很长，请耐心等待。

公式 3-1. 振荡器裕度

$$OA = R_{MAX} + ESR$$

图 3-6. 测量振荡器裕度/RMAX



我们建议使用具有低寄生电容的高质量电位器（适用于 RF 的 SMD 电位器通常可得到最佳结果）。但是，如果您能够使用便宜的电位器获得良好的振荡器裕度/RMAX，也未尝不可。

确定最大串联电阻后，可根据公式 3-2 得到安全系数。不同的 MCU 和晶振供应商的安全系数建议也各不相同。安全系数旨在针对不同变量（如振荡器放大器增益、因电源和温度变化引起的变化、工艺变化以及负载电容）的负面影响增加裕量。AVR 单片机上的 32 kHz 振荡器放大器具有温度和功率补偿功能，因此通过使这些变量大概保持恒定，可相对于其他 MCU/IC 制造商降低对安全系数的要求。表 3-1 中给出了安全系数建议。

公式 3-2. 安全系数

$$SF = \frac{OA}{ESR} = \frac{R_{MAX} + ESR}{ESR}$$

图 3-7. XTAL2/TOSC2 引脚与晶振之间的串联电位器

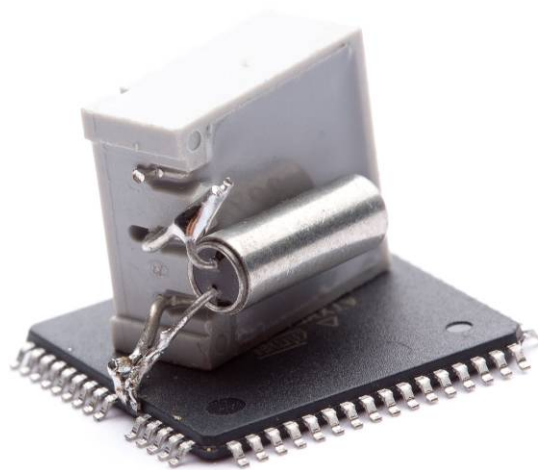


图 3-8. 插座中的裕度测试

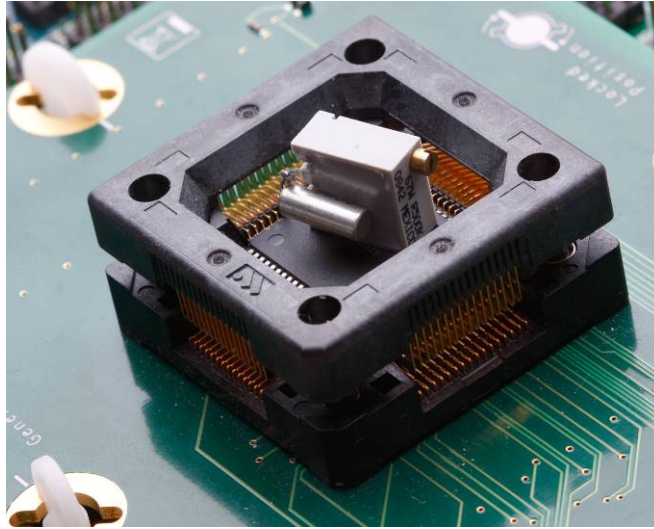


表 3-1. 安全系数建议

安全系数	建议
>5	卓越
4	非常好
3	良好
<3	不推荐

3.3 测量有效负载电容

晶振频率取决于所施加的容性负载，如公式 1-2 所示。施加晶振数据手册中规定的容性负载将得到非常接近 32768 Hz 标称频率的频率。如果施加其他容性负载，频率将发生变化。如果容性负载减小，频率将增大；如果负载增大，频率将减小，如图 3-9 所示。

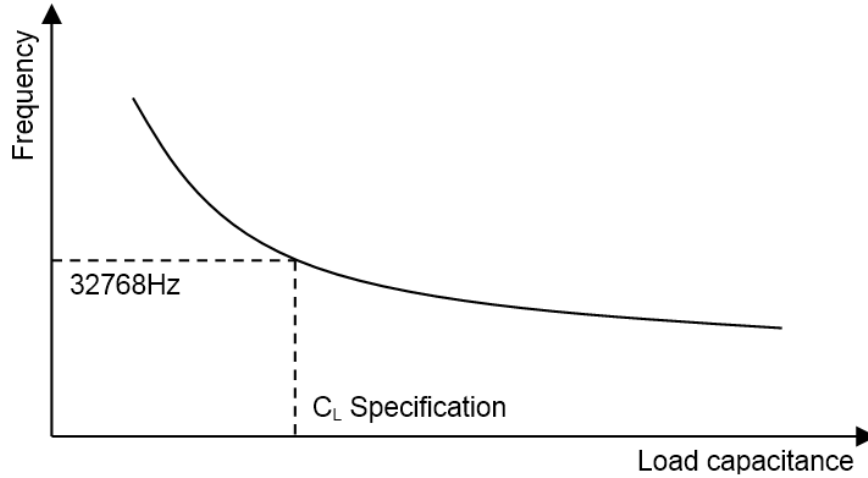
频率牵引能力或带宽（可通过施加负载强制使谐振频率与标称频率偏移的量）取决于谐振器的 Q 因数。带宽由标称频率除以 Q 因数得出，对于高 Q 值石英晶振，可用带宽将非常有限。如果测量频率偏离标称频率，则振荡器稳健性降低。这是因为反馈环 $\beta(j\omega)$ 中的衰减增大，导致要实现单位增益的放大器 A 的负载增大（见图 1-2）。

公式 3-3. 带宽

$$BW = \frac{f_{resonant}}{Q}$$

测量有效负载电容（负载电容和寄生电容之和）的最好方法是，测量振荡器频率并将其与标称频率 32768 Hz 进行比较。如果测得的频率接近 32768 Hz，则有效负载电容将接近规范值。此过程可使用本应用笔记随附的固件和可测量 I/O 引脚上时钟输出的标准 10X 示波器探头来完成，或者，如果可能，使用用于晶振测量的高阻抗探头直接测量晶振。有关更多详细信息，请参见第 4 章 测试固件。

图 3-9. 频率与负载电容



如果没有外部电容，总负载电容将通过公式 3-4 计算得出。在某些情况下，必须添加外部电容（CEL1 和 CEL2）以匹配晶振数据手册中规定的容性负载。如果使用外部电容，总容性负载将通过公式 3-5 计算得出。

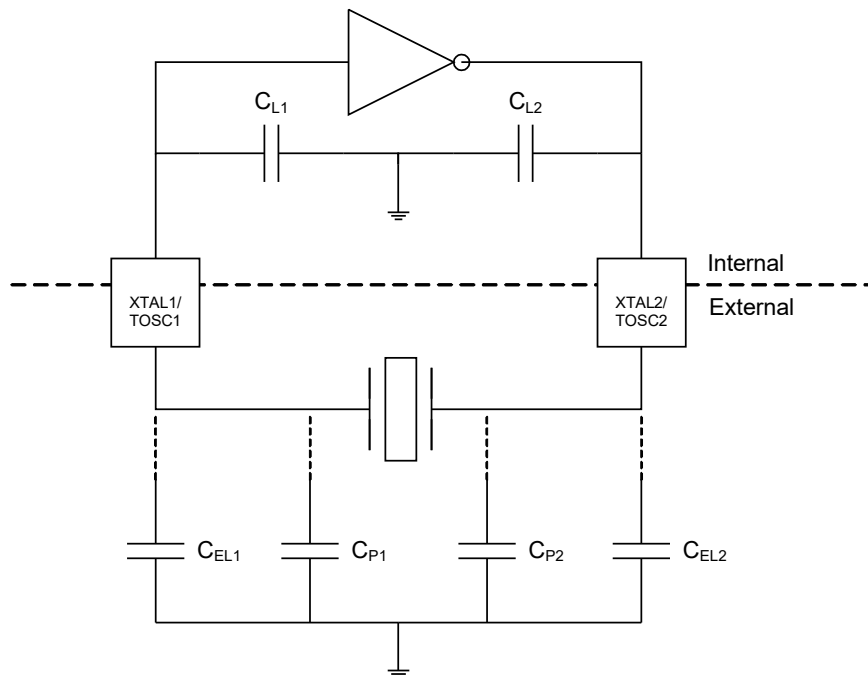
公式 3-4. 无外部电容时的总容性负载

$$\Sigma C_L = \frac{(C_{L1} + C_{P1})(C_{L2} + C_{P2})}{C_{L1} + C_{L2} + C_{P1} + C_{P2}}$$

公式 3-5. 有外部电容时的总容性负载

$$\Sigma C_L = \frac{(C_{L1} + C_{P1} + C_{EL1})(C_{L2} + C_{P2} + C_{EL2})}{C_{L1} + C_{L2} + C_{P1} + C_{P2} + C_{EL1} + C_{EL2}}$$

图 3-10. 具有内部、寄生和外部电容的晶振电路



4. 测试固件

测试固件用于将时钟信号输出到可能连接有标准 10X 探头的 I/O 端口，其包含在随本应用笔记发布的.zip 文件中。如果您没有用于此类测量的极高阻抗探头，则不应直接测量晶振电极。

编译源代码并将.hex 文件编程到器件中。

施加数据手册中列出的工作范围内的 V_{CC} ，在 XTAL1/TOSC1 和 XTAL2/TOSC2 之间连接晶振，并测量输出引脚上的时钟信号。

输出比较引脚因器件而异，因此需要查看代码以明确将输出时钟信号的 I/O 引脚。

4.1 tinyAVR[®]

通过使用可翻转端口电平的无限 while 循环将时钟信号输出到 PORTB，因此时钟信号将进行 10 分频（标称频率为 3276.8 Hz）。支持所有 Microchip tinyAVR[®] 器件。要使用 32768 Hz 晶振作为器件的时钟源，必须通过设置 CKSEL 熔丝来选择低频晶振。有关详细信息，请参见数据手册。

4.2 megaAVR[®]

异步定时器溢出用于翻转 I/O 引脚电平，因此时钟信号将进行 2 分频（标称频率为 16384 Hz）。支持所有 megaAVR[®] 器件，但需要设置器件系列定义（见.c 文件中的定义列表）。

4.3 XMEGA[®]

Microchip AVR XMEGA[®] 系列支持直接将外设时钟输出到 I/O 端口。不会进行时钟分频。固件将外部低频晶振设置为系统时钟并使能低功耗模式。时钟信号将在端口 PC7 上输出。

4.4 UC3

在本应用笔记的未来版本中，将包含 UC3 支持。

5. 晶振建议

表 5-2 提供了经测试、适用于不同 AVR 单片机的精选晶振。使用下表中的晶振-MCU 组合可确保良好的兼容性，强烈建议晶振专业知识不足或有限的用户使用。尽管晶振-MCU 组合由各晶振供应商经验丰富的晶振专家测试，我们仍建议您按照第 3 章 *测试晶振稳健性* 中的说明测试您的设计，以确保在布线和焊接等过程中不会出现任何问题。

有关测试报告和晶振数据手册的信息，请参见本应用笔记附带的 .zip 文件。

表 5-1 提供了不同振荡器模块的列表，包含这些模块的器件的列表在第 6 章 *振荡器模块概述* 中提供。

表 5-1. AVR 器件中的振荡器概览

编号	振荡器模块	说明
1	X32K_2v7 ⁽¹⁾	megaAVR 器件中使用的 2.7-5.5V 振荡器
2	X32K_1v8 ⁽¹⁾	megaAVR/tinyAVR 器件中使用的 1.8-5.5V 振荡器
3	X32K_1v8_ULP	megaAVR/tinyAVR picoPower [®] 器件中使用的 1.8-3.6V 超低功耗振荡器
4	X32K_XMEGA	XMEGA 器件中使用的 1.6-3.6V 超低功耗振荡器——正常模式下的振荡器设置
5	X32K_XMEGA	XMEGA 器件中使用的 1.6-3.6V 超低功耗振荡器——低功耗模式下的振荡器设置
6	X32K_XRTC32	带备用电池的 XMEGA 器件中使用的 1.6-3.6V 超低功耗 RTC 振荡器
7	X32K_1v8_5v5_ULP	tinyAVR 1 系列和 megaAVR 0 系列器件中使用的 1.8-5.5V 超低功耗振荡器

注：

1. 不适用于 megaAVR 以及 tinyAVR 1 和 0 系列

表 5-2. 推荐的 32 kHz 晶振

供应商	类型	安装方式	经测试和批准的振荡器模块（见表 5-1）	频率容差 [±ppm]	负载电容 [pF]	等效串联电阻 (ESR) [kΩ]
Microcrystal	CC7V-T1A	SMD	1、2、3、4 和 5	20/100 ⁽¹⁾	7.0/9.0/12.5	50/70
Abracon	ABS06	SMD	2	20	12.5	90
Cardinal	CPFB	SMD	2、3、4 和 5	20	12.5	50
Cardinal	CTF6	插孔式	2、3、4 和 5	20	12.5	50
Cardinal	CTF8	插孔式	2、3、4 和 5	20	12.5	50
Endrich Citizen	CFS206	插孔式	1、2、3 和 4	20	12.5	35

..... (续)						
供应商	类型	安装方式	经测试和批准的振荡器模块 (见表 5-1)	频率容差 [±ppm]	负载电容 [pF]	等效串联电阻 (ESR) [kΩ]
Endrich Citizen	CM315	SMD	1、2、3 和 4	20	12.5	70
Epson Tyocom	MC-306	SMD	1、2 和 3	20/50	12.5 ⁽²⁾	50
Fox	FSXLF	SMD	2、3、4 和 5	20	12.5	65
Fox	FX135	SMD	2、3、4 和 5	20	12.5	70
Fox	FX122	SMD	2、3 和 5	20	12.5	90
Fox	FSRLF	SMD	1、2、3、4 和 5	20	12.5	50
NDK	NX3215SA	SMD	1、2 和 3	20	12.5	80
Seiko	SSP-T7-FL	SMD	3	20	6	65
Seiko	SSP-T7-F	SMD	1 和 2	20	12.5	65
Seiko	SSP-T7-F	SMD	4	20	7	65
Seiko	SSP-T7-FL	SMD	5	20	4.4	65

注:

1. 应要求可提供更窄和更宽的频率容差
2. 标准值为 12.5 pF, 但应要求可提供 6 pF 到∞的值

6. 振荡器模块概述

表 6-1 列出了各 Microchip megaAVR、Microchip tinyAVR 和 Microchip XMEGA 器件中包含的 32 kHz 振荡器。在未来版本中，该列表将扩展为包含 UC3 器件。

表 6-1. 振荡器模块概览

器件系列	器件	振荡器模块
megaAVR	ATmega128	X32K_2v7
megaAVR	ATmega1280	X32K_1v8
megaAVR	ATmega1281	X32K_1v8
megaAVR	ATmega1284P	X32K_1v8_ULP
megaAVR	ATmega128A	X32K_2v7
megaAVR	ATmega16	X32K_2v7
megaAVR	ATmega162	X32K_1v8
megaAVR	ATmega164A	X32K_1v8_ULP
megaAVR	ATmega164P	X32K_1v8_ULP
megaAVR	ATmega164PA	X32K_1v8_ULP
megaAVR	ATmega165A	X32K_1v8_ULP
megaAVR	ATmega165P	X32K_1v8_ULP
megaAVR	ATmega165PA	X32K_1v8_ULP
megaAVR	ATmega168	X32K_1v8
megaAVR	ATmega168A	X32K_1v8_ULP
megaAVR	ATmega168P	X32K_1v8_ULP
megaAVR	ATmega168PA	X32K_1v8_ULP
megaAVR	ATmega168PB	X32K_1v8_ULP
megaAVR	ATmega169	X32K_1v8
megaAVR	ATmega169A	X32K_1v8_ULP
megaAVR	ATmega169P	X32K_1v8_ULP
megaAVR	ATmega169PA	X32K_1v8_ULP
megaAVR	ATmega16A	X32K_2v7
megaAVR	ATmega2560	X32K_1v8
megaAVR	ATmega2561	X32K_1v8
megaAVR	ATmega32	X32K_2v7
megaAVR	ATmega324A	X32K_1v8_ULP

..... (续)		
器件系列	器件	振荡器模块
megaAVR	ATmega324P	X32K_1v8_ULP
megaAVR	ATmega324PA	X32K_1v8_ULP
megaAVR	ATmega3250A	X32K_1v8_ULP
megaAVR	ATmega3250P	X32K_1v8_ULP
megaAVR	ATmega3250PA	X32K_1v8_ULP
megaAVR	ATmega325A	X32K_1v8_ULP
megaAVR	ATmega32A	X32K_2v7
megaAVR	ATmega48	X32K_1v8
megaAVR	ATmega48A	X32K_1v8_ULP
megaAVR	ATmega324PA	X32K_1v8_ULP
megaAVR	ATmega324PB	X32K_1v8_ULP
megaAVR	ATmega325P	X32K_1v8_ULP
megaAVR	ATmega325PA	X32K_1v8_ULP
megaAVR	ATmega328	X32K_1v8
megaAVR	ATmega328P	X32K_1v8_ULP
megaAVR	ATmega328PA	X32K_1v8_ULP
megaAVR	ATmega328PB	X32K_1v8_ULP
megaAVR	ATmega329	X32K_1v8
megaAVR	ATmega3290A	X32K_1v8_ULP
megaAVR	ATmega3290P	X32K_1v8_ULP
megaAVR	ATmega3290PA	X32K_1v8_ULP
megaAVR	ATmega329A	X32K_1v8_ULP
megaAVR	ATmega329P	X32K_1v8_ULP
megaAVR	ATmega329PA	X32K_1v8_ULP
megaAVR	ATmega32A	X32K_2v7
megaAVR	ATmega48	X32K_1v8
megaAVR	ATmega48A	X32K_1v8_ULP
megaAVR	ATmega48P	X32K_1v8_ULP
megaAVR	ATmega48PA	X32K_1v8_ULP
megaAVR	ATmega48PB	X32K_1v8_ULP
megaAVR	ATmega64	X32K_2v7

..... (续)		
器件系列	器件	振荡器模块
megaAVR	ATmega640	X32K_1v8
megaAVR	ATmega644A	X32K_1v8_ULP
megaAVR	ATmega644P	X32K_1v8_ULP
megaAVR	ATmega644PA	X32K_1v8_ULP
megaAVR	ATmega6450A	X32K_1v8_ULP
megaAVR	ATmega6450P	X32K_1v8_ULP
megaAVR	ATmega645A	X32K_1v8_ULP
megaAVR	ATmega645P	X32K_1v8_ULP
megaAVR	ATmega649	X32K_1v8
megaAVR	ATmega6490	X32K_1v8_ULP
megaAVR	ATmega6490A	X32K_1v8_ULP
megaAVR	ATmega6490P	X32K_1v8_ULP
megaAVR	ATmega649A	X32K_1v8_ULP
megaAVR	ATmega649P	X32K_1v8_ULP
megaAVR	ATmega64	X32K_2v7
megaAVR	ATmega640	X32K_1v8
megaAVR	ATmega644A	X32K_1v8_ULP
megaAVR	ATmega644P	X32K_1v8_ULP
megaAVR	ATmega644PA	X32K_1v8_ULP
megaAVR	ATmega6450A	X32K_1v8_ULP
megaAVR	ATmega6450P	X32K_1v8_ULP
megaAVR	ATmega645A	X32K_1v8_ULP
megaAVR	ATmega645P	X32K_1v8_ULP
megaAVR	ATmega649	X32K_1v8
megaAVR	ATmega6490	X32K_1v8_ULP
megaAVR	ATmega6490A	X32K_1v8_ULP
megaAVR	ATmega6490P	X32K_1v8_ULP
megaAVR	ATmega649A	X32K_1v8_ULP
megaAVR	ATmega649P	X32K_1v8_ULP
megaAVR	ATmega64A	X32K_2v7
megaAVR	ATmega8	X32K_2v7

..... (续)		
器件系列	器件	振荡器模块
megaAVR	ATmega88	X32K_1v8
megaAVR	ATmega88A	X32K_1v8_ULP
megaAVR	ATmega88P	X32K_1v8_ULP
megaAVR	ATmega88PA	X32K_1v8_ULP
megaAVR	ATmega88PB	X32K_1v8_ULP
megaAVR	ATmega8A	X32K_2v7
megaAVR 0 系列	ATmega3208	X32K_1v8_5v5_ULP
megaAVR 0 系列	ATmega3209	X32K_1v8_5v5_ULP
megaAVR 0 系列	ATmega4808	X32K_1v8_5v5_ULP
megaAVR 0 系列	ATmega4809	X32K_1v8_5v5_ULP
tinyAVR	ATtiny84A	X32K_1v8
tinyAVR	ATtiny85	X32K_1v8
tinyAVR	ATtiny861	X32K_1v8
tinyAVR	ATtiny2313A	X32K_1v8
tinyAVR	ATtiny24	X32K_1v8
tinyAVR	ATtiny24A	X32K_1v8
tinyAVR	ATtiny25	X32K_1v8
tinyAVR	ATtiny261	X32K_1v8
tinyAVR	ATtiny261A	X32K_1v8
tinyAVR	ATtiny4313	X32K_1v8
tinyAVR	ATtiny44	X32K_1v8
tinyAVR	ATtiny44A	X32K_1v8
tinyAVR	ATtiny45	X32K_1v8
tinyAVR	ATtiny461	X32K_1v8
tinyAVR	ATtiny461A	X32K_1v8
tinyAVR	ATtiny84	X32K_1v8
tinyAVR	ATtiny861A	X32K_1v8
tinyAVR 1 系列	ATtiny212	X32K_1v8_5v5_ULP
tinyAVR 1 系列	ATtiny214	X32K_1v8_5v5_ULP
tinyAVR 1 系列	ATtiny412	X32K_1v8_5v5_ULP
tinyAVR 1 系列	ATtiny414	X32K_1v8_5v5_ULP

..... (续)		
器件系列	器件	振荡器模块
tinyAVR 1 系列	ATtiny416	X32K_1v8_5v5_ULP
tinyAVR 1 系列	ATtiny417	X32K_1v8_5v5_ULP
tinyAVR 1 系列	ATtiny814	X32K_1v8_5v5_ULP
tinyAVR 1 系列	ATtiny816	X32K_1v8_5v5_ULP
tinyAVR 1 系列	ATtiny817	X32K_1v8_5v5_ULP
tinyAVR 1 系列	ATtiny1614	X32K_1v8_5v5_ULP
tinyAVR 1 系列	ATtiny1616	X32K_1v8_5v5_ULP
tinyAVR 1 系列	ATtiny1617	X32K_1v8_5v5_ULP
XMEGA	ATxmega128A1	X32K_XMEGA
XMEGA	ATxmega128A3	X32K_XMEGA
XMEGA	ATxmega128A4	X32K_XMEGA
XMEGA	ATxmega128B1	X32K_XMEGA
XMEGA	ATxmega128B3	X32K_XMEGA
XMEGA	ATxmega128D3	X32K_XMEGA
XMEGA	ATxmega128D4	X32K_XMEGA
XMEGA	ATxmega16A4	X32K_XMEGA
XMEGA	ATxmega16D4	X32K_XMEGA
XMEGA	ATxmega192A1	X32K_XMEGA
XMEGA	ATxmega192A3	X32K_XMEGA
XMEGA	ATxmega192D3	X32K_XMEGA
XMEGA	ATxmega256A1	X32K_XMEGA
XMEGA	ATxmega256D3	X32K_XMEGA
XMEGA	ATxmega32A4	X32K_XMEGA
XMEGA	ATxmega32D4	X32K_XMEGA
XMEGA	ATxmega348A1	X32K_XMEGA
XMEGA	ATxmega64A1	X32K_XMEGA
XMEGA	ATxmega64A3	X32K_XMEGA
XMEGA	ATxmega64A4	X32K_XMEGA
XMEGA	ATxmega64B1	X32K_XMEGA
XMEGA	ATxmega64B3	X32K_XMEGA
XMEGA	ATxmega64D3	X32K_XMEGA

..... (续)		
器件系列	器件	振荡器模块
XMEGA	ATxmega64D4	X32K_XMEGA
XMEGA	ATxmega256A3B	X32K_XRTC32

7. 版本历史

文档版本	日期	备注
8333A	2010 年 8 月	文档初始版本。
8333B	2010 年 11 月	进行了多处更新和更正。
8333C	2011 年 2 月	更新了建议列表。
8333D	2011 年 7 月	更新了建议列表。
8333E	2015 年 3 月	<ol style="list-style-type: none">1. 将 XMEGA 时钟输出从 PD7 更改为 PC7。2. 增加了 XMEGA B。
A	2018 年 2 月	<ol style="list-style-type: none">1. 转换为 Microchip 格式并替换了 Atmel 文档编号 8333。2. 增加了对 tinyAVR 0 和 1 系列的支持。
B	2018 年 9 月	<ol style="list-style-type: none">1. 更正了 表 5-12. 更正了交叉引用

Microchip 网站

Microchip 网站 <http://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。只要使用常用的互联网浏览器即可访问，网站提供以下信息：

- **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（FAQ）、技术支持请求、在线讨论组以及 Microchip 顾问计划成员名单
- **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

变更通知客户服务

Microchip 的变更通知客户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，请登录 Microchip 网站 <http://www.microchip.com/>。在“支持”（Support）下，点击“变更通知客户”（Customer Change Notification）服务后按照注册说明完成注册。

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（FAE）
- 技术支持

客户应联系其代理商、代表或应用工程师（FAE）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。

也可通过以下网站获得技术支持：<http://www.microchip.com/support>

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

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、AnyRate、AVR、AVR 徽标、AVR Freaks、BitCloud、chipKIT、chipKIT 徽标、CryptoMemory、CryptoRF、dsPIC、FlashFlex、flexPWR、Heldo、JukeBlox、KeeLoq、Kleer、LANCheck、LINK MD、maXStylus、maXTouch、MediaLB、megaAVR、MOST、MOST 徽标、MPLAB、OptoLyzer、PIC、picoPower、PICSTART、PIC32 徽标、Prochip Designer、QTouch、SAM-BA、SpyNIC、SST、SST 徽标、SuperFlash、tinyAVR、UNI/O 和 XMEGA 是 Microchip Technology Incorporated 在美国和其他国家或地区的注册商标。

ClockWorks、The Embedded Control Solutions Company、EtherSynch、Hyper Speed Control、HyperLight Load、IntelliMOS、mTouch、Precision Edge 和 Quiet-Wire 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、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、motorBench、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.、SQL、SuperSwitcher、SuperSwitcher II、Total Endurance、TSHARC、USBCheck、VariSense、ViewSpan、WiperLock、Wireless DNA 和 ZENA 为 Microchip Technology Incorporated 在美国和其他国家或地区的商标。

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

Silicon Storage Technology 为 Microchip Technology Inc. 在除美国外的国家或地区的注册商标。

GestIC 是 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。

© 2019, Microchip Technology Incorporated 版权所有。

ISBN: 978-1-5224-4274-5

DNV 认证的质量管理体系

ISO/TS 16949

Microchip 位于美国亚利桑那州 Chandler 和 Tempe 与位于俄勒冈州 Gresham 的全球总部、设计和晶圆生产厂及位于美国加利福尼亚州和印度的设计中心均通过了 ISO/TS-16949:2009 认证。Microchip 的 PIC[®] MCU 和 dsPIC[®] DSC、KEELOQ[®]跳码器件、串行 EEPROM、单片机外设、非易失性存储器及模拟产品严格遵守公司的质量体系流程。此外，Microchip 在开发系统的设计和生产方面的质量体系也已通过了 ISO 9001:2000 认证。

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. 钱德勒, 亚利桑那州 85224-6199 电话: 480-792-7200 传真: 480-792-7277 技术支持: http://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 - 檳榔嶼 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: 45-4450-2828 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: 49-7131-67-3636 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			



全球销售及服务网点
