

PIC32MX 器件的 辅助振荡器 (Sosc) 晶振设计注意事项

简介

本应用笔记旨在提供 PIC32MX 系列的辅助振荡器 (Sosc) 晶振的特殊需求, 这对于在不同的电压、温度和元件安装分布情况下实现准确的 RTCC 来说是必不可少的。

对于 PIC32MX 系列器件来说, 校准 RTCC 微调值似乎是可行的解决方案, 但这并不像看上去那么简单。事实上, 对于不同的安装配置/温度来说, 可重复性根本不够, 会出现 ±5 到 ±30 分钟/月的误差。这个问题可能源于 Sosc 电路的微调灵敏度和 PIC32MX 器件独特的 Sosc 设计, 需要执行特殊过程。

微调灵敏度

问题: PIC32MX 器件的实时时钟和日历 (Real-Time Clock and Calendar, RTCC) 模块在不同环境条件下变化很大, 无法准确计时。

微调灵敏度是负载频率相对于负载电容的衍生值, 如 [公式 1](#) 所示。

公式 1: 微调灵敏度

$$\text{微调灵敏度} = \left(\frac{5000000 \cdot C1}{(C0 + C_{LOAD})^2} \right)$$

其中,

C1 = 动态电容

C0 = 并联电容

CLOAD = 负载电容

通常, 使用 [公式 2](#) 来计算 Sosc 晶振负载电容。

公式 2: 计算 Sosc 晶振负载

$$C_{LOAD} = \left\{ \frac{[C_{IN} + C1] \cdot [C_{OUT} + C2]}{[C_{IN} + C1 + C2 + C_{OUT}]} \right\} + \text{振荡器 PCB 杂散电容}$$

其中,

CIN = COUT = PIC32 OSC2 引脚电容

振荡器 PCB 杂散电容 (即, 12 mm 长) = 2.5 pF

C1 = C2 = 晶振电路设计中使用的实际物理负载电容, 用以保证电路中晶振的有效电容, 从而满足晶振制造商的规范

CLOAD = 晶振制造商数据手册规范值

假设 C1 = C2 且 CIN = COUT, [公式 2](#) 可进一步简化, 如 [公式 3](#) 所示。

公式 3: 计算 Sosc 晶振负载

$$C1 = C2 = ((2 \cdot \text{制造商 CLOAD 规范值}) - C_{IN} - (2 \cdot \text{PCB 电容}))$$

一般情况下，通过公式3可以得到最佳的负载电容，整个电压/温度范围内的精度近似为0 PPM。但是，这种方法仅适用于高频PIC32MX主振荡器（Posc），对于低速PIC32MX系列Sosc来说并不适用，因为后者采用CMOS电流饥饿型逆变器设计。

为了确保Sosc和RTCC在不同安装配置、电压和温度条件下达到最佳精度（即PPM），用户必须确定微调灵敏度并选择C1和C2负载电容值，即找到微调灵敏度曲线彼此之间在线性区域最接近甚至相交的位置，这样才能最大限度确保在不同安装配置和温度条件下稳定工作。

为了使PIC32MX RTCC达到最佳精度和可重复性，请务必根据相应的晶振微调灵敏度曲线选择晶振以及C1和C2负载电容值。数据表明，在最坏的情况下，系统Sosc PPM的变化量是多种因素共同作用的结果，其中一些因素在电路设计期间处于用户的控制范围之内，而另一些则不受用户控制。

取决于用户的Sosc晶振电路PPM精度因素

- 选择具有合适微调灵敏度的晶振（即“动态电容”规范值 ≤ 0.0035 pF）
- 选择与晶振微调灵敏度曲线部分相匹配的CLOAD
- Sosc负载电容和Rs串联电阻的元件容差
- PIC32MX RTCC硬件 \pm 时钟数/分钟微调寄存器

固定的Sosc晶振电路PPM精度参数

- 选定的晶振频率容差 PPM 规范值（取决于晶振制造商，通常为 ± 20 PPM）
- 由于制造工艺差异而导致的 PIC32MX 单片机 Sosc PPM（特性值最大为 ± 5 PPM）

对于一个未经校准的Sosc晶振电路而言，即使使用经过校准（即微调）的RTCC，也会因为应用板安装配置的不同而产生 ± 5 至 ± 30 分钟/月的误差。这在大多数计时应用中通常是不可接受的，而这还没有考虑温度等环境因素的附加影响。用户可以使用RTCC微调寄存器来单独校准每个应用板，但是每个应用板都需要使用不同的软件，因此这种方法不切实际。

建议

本应用笔记中建议的解决方案是校准Sosc电路的微调灵敏度。这种方法只需要在一块电路板上执行一次。由此获得的电路元件和软件随后可以应用于所有电路板，以确保RTCC的精度和稳定性。

注： 关于经验证的完整Sosc交钥匙解决方案，请参见“[PIC32MX系列经验证的Sosc和RTCC参考设计解决方案](#)”。

Sosc精度决定因素汇总

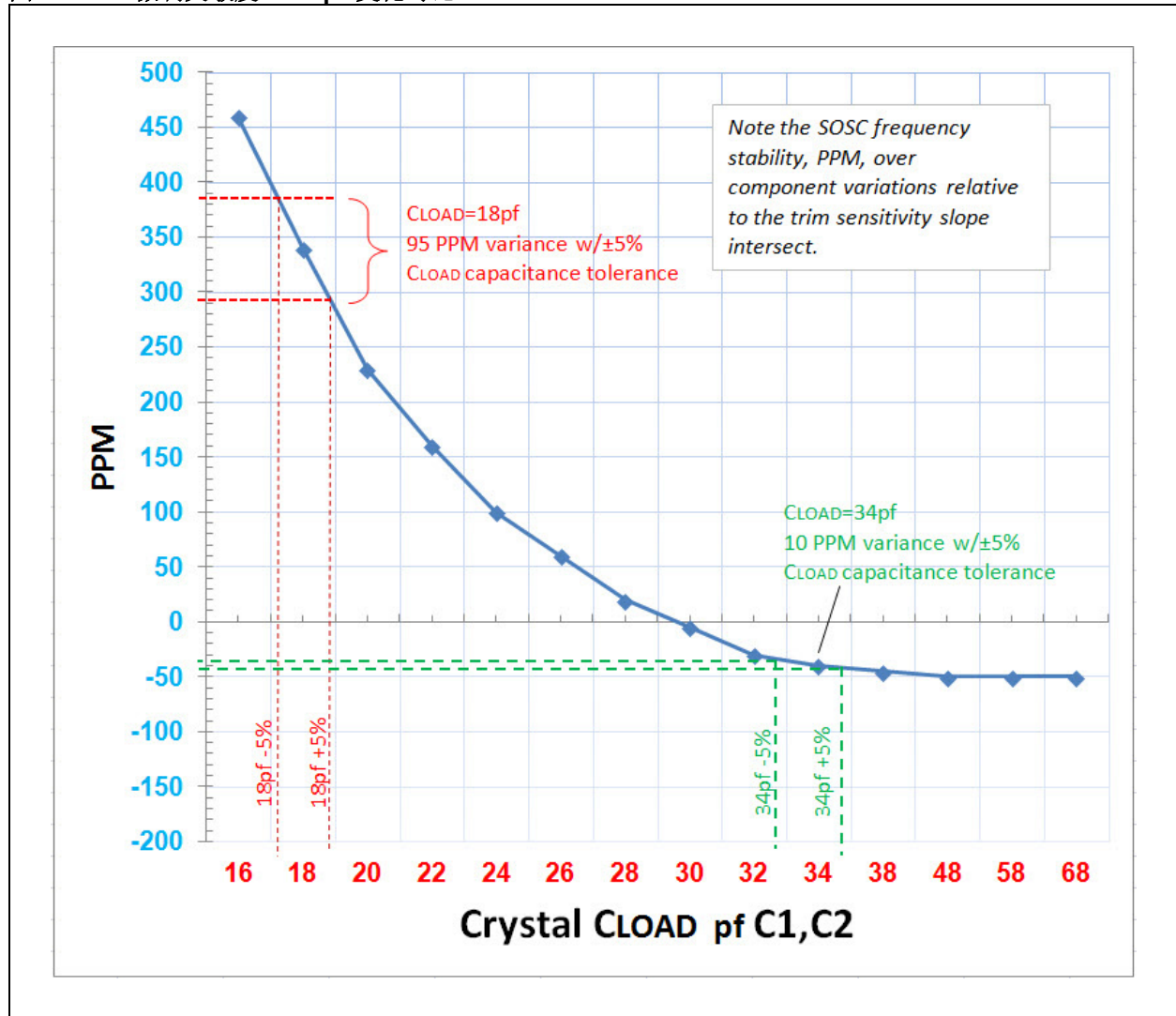
- 晶振ESR规范（30k至100k）
- 晶振频率容差（ ± 10 至 ± 30 PPM）
- 晶振负载电容和元件容差（最大 $\pm 1\%$ ）
- PIC32MX硅片制造工艺差异（ ± 5 PPM）
- 晶振动态电容（微调灵敏度）
- Rs串联衰减电阻和容差（最大 $\pm 1\%$ ）
- 晶振并联电容规范
- 晶振频率系数规范（PPM/ $^{\circ}$ C）
- 晶振老化规范（ ± 3 至 $\pm 5\%$ PPM）

Sosc 晶振微调灵敏度曲线图示例

图1比较了晶振的CLOAD = 18 pF (±5%) 和34 pF (±5%) 时，微调灵敏度PPM/pF的变化。

注：图1仅用于举例说明。

图1： 微调灵敏度PPM/pF变化对比



主要特点

通过分析图1所示的晶振微调灵敏度曲线，可以观察到以下现象：

- C1和C2负载电容在晶振微调灵敏度曲线垂直区域上的微小变化会导致PPM精度发生巨大变化。为了最大限度地提高稳定性/精度，只能使用容差为 $\pm 1\%$ 的元件。
- C1和C2负载电容在晶振微调灵敏度曲线水平区域上的微小变化只会导致PPM精度发生细微变化。该特性不仅可确保单个应用板获得更好的稳定性，还能够确保在所有应用板安装配置条件下都获得更好的稳定性。
- 即使在标称值为0 PPM的情况下，电路和元件差异也仍然会导致PPM发生巨大变化（即不稳定性）。因此，PIC32MX的目标不是获得0 PPM的标称Sosc频率；而是要找到一个PPM稳定的工作点，然后使用RTCC微调位对产生的 \pm PPM进行补偿。
- 就整个生产过程中的晶振频率可重复性而言，由于受到元件容差、PIC32MX因素和晶振制造微调灵敏度（即PPM/pF）曲线的影响，C1和C2晶振负载和较低的初始PPM会使静态非易失性软件RTCC校准面临巨大挑战，因此并非始终为最佳选择。使用“动态电容”规范值较低的晶振可以将微调灵敏度降至最低。因此，为了获得更好的PPM/pF稳定性/可重复性，并尽量减小晶振频率变化对元件容差的影响，请使用“动态电容”规范值较低的晶振。
- 较高的C1和C2电容值搭配“动态电容”规范较低的晶振，可以使晶振微调灵敏度（即PPM/pF）和内部PIC32MX Sosc因素产生的影响降至最低，从而提高稳定性/可重复性。许多晶振制造商不提供“动态电容”规范值，据推测是因为不符合规范。相反，如果晶振具有良好的“动态电容”规范值，制造商一定会将其发布在晶振数据手册中。

Sosc 晶振 PPM 稳定性和精度测试结果

表1给出了晶振PPM测试组规范。

表1: 晶振测试规范

晶振制造商规范	制造商/部件编号			
	Abracon ABS07-32.768KHZ-T	Abracon ABS07L-32.768KHZ-T	Abracon ABS06L-32.768KHZ-T	Epson MC-306 32.7680K-A0
CLOAD	12.5 pF	12.5 pF	12.5 pF	12.5 pF
并联电容	0.9至1.2 pF	1.4 pF (典型值)	未指定	0.9 pF
ESR	70k (最大值)	80k	100k	50k
频率容差 (PPM)	±20 PPM	±20 PPM	±20 PPM	±20 PPM
动态电容	未指定	0.0035 pF	未指定	0.0018 pF

表2给出了晶振PPM测试结果矩阵。

表2: 晶振测试结果

测试用例	C1/C2 (pF)	制造商/部件编号							
		Abracon ABS07-32.768KHZ-T		Abracon ABS07L-32.768KHZ-T		Abracon ABS06L-32.768KHZ-T		Epson MC-306 32.7680K-A0	
		PPM	PPM/pF Δ变化用例 (n - (n - 1))	PPM	PPM/pF Δ变化用例 (n - (n - 1))	PPM	PPM/pF Δ变化用例 (n - (n - 1))	PPM	PPM/pF Δ变化用例 (n - (n - 1))
1	75	-152	—	-49	—	-134	—	-37	—
2	68	-134	-3	-34	-2	-121	-2	-34	0
3	52	-101	-2	-12	-1	-82	-2	-28	0
4	47	—	—	-6	-1	—	—	—	—
5	43	-68	-4	6	-3	-51	-4	-18	-1
6	39	-36	-8	—	—	-21	-8	-12	-2
7	33	26	-10	117	-11	37	-9	3	-2
8	25	—	—	—	—	402	-46	113	-14
9	22	144	-11	—	—	—	—	—	—
10	16	437	-49	—	—	—	—	—	—

PPM 晶振测试结果结论

以下主要特点与晶振微调灵敏度曲线一致:

- PPM/pF (即微调灵敏度) 的变化量随负载电容的增大而减小 (曲线水平区域的精度更稳定)。
- 反之, PPM/pF 的变化量随负载电容的减小而增加 (曲线垂直区域的精度更不稳定)。
- 对于微调灵敏度曲线水平区域的精度稳定性, 容性负载元件、PCB容差/变化和PIC32MX因素的影响较小。

AN2351

晶振制造商 ESR 规范对 PIC32MX Sosc 幅值的影响

表3给出了晶振制造商 ESR 规范对 PIC32MX Sosc 幅值的影响。

表3: 晶振制造商 ESR 规范

晶振制造商规范	制造商/部件编号			
	Epson MC-306 32.7680K-A0	Abracon ABS07-32.768KHZ-T	Abracon ABS07L-32.768KHZ-T	Abracon ABS06L-32.768KHZ-T
晶振 ESR	50k	70k	80k	100k
SOSCI 峰-峰值电压	2.45V	2V	1.75V	1.5V
SOSCO 峰-峰值电压	3.25V	3.1V	3.0V	2.9V

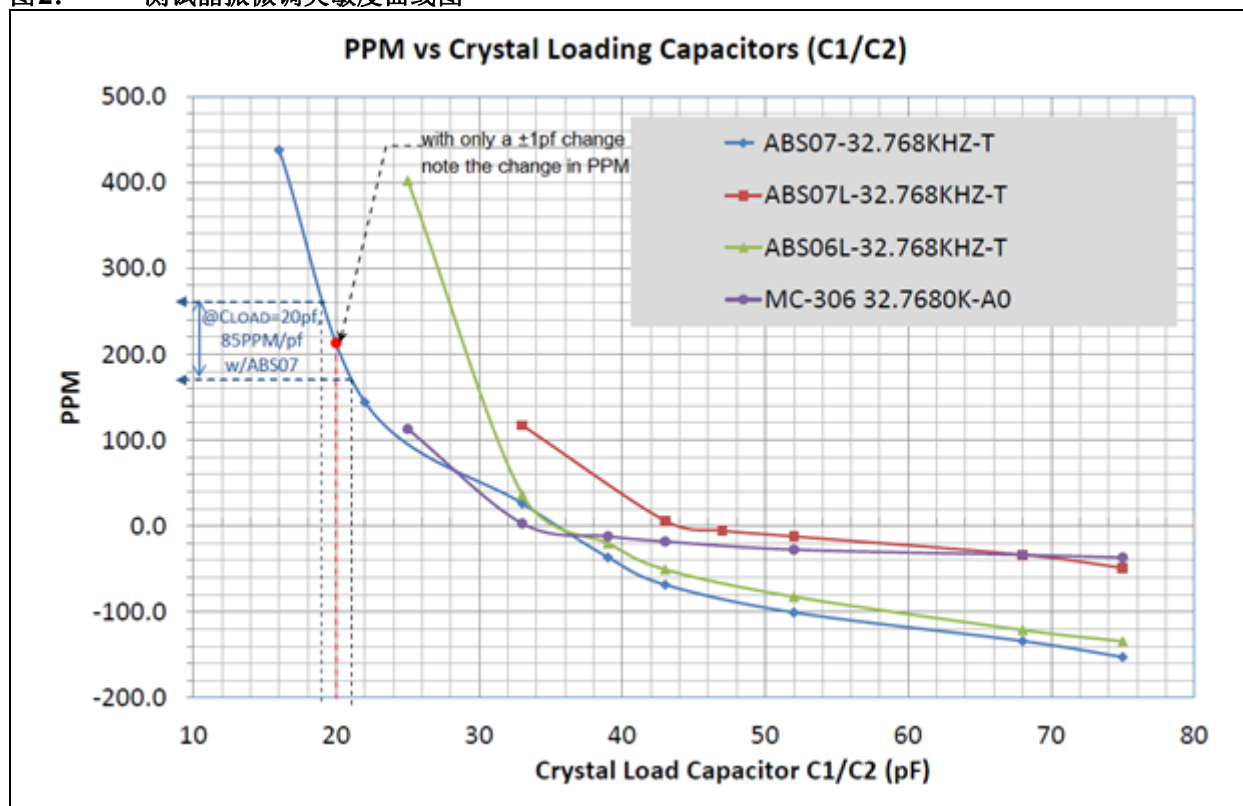
Sosc 幅值受到以下影响:

- 晶振 ESR 规范值越高, Sosc 幅值越小, 反之亦然
- 晶振负载电容越大, Sosc 幅值越小, 反之亦然
- SOSCO 串联电阻越大, Sosc 幅值越小, 反之亦然

测试晶振微调灵敏度曲线图

图2给出了测试晶振微调灵敏度曲线图。

图2: 测试晶振微调灵敏度曲线图



测试晶振微调灵敏度曲线图结论

以下是测试晶振微调灵敏度的主要特点：

- 不同晶振的制造商ESR、功率驱动级别和动态电容规范都会有所不同，因此呈现的微调灵敏度曲线也会存在差异。（一条曲线并不能代表所有晶振，甚至同一晶振制造商和部件编号的晶振之间也会存在差异）。
- 微调灵敏度曲线斜坡越平缓（即呈线性），Sosc晶振电路的工作区域越稳定，对电路和负载电容的变化也越不敏感。
- 晶振在水平区域的斜坡线性度越高，“动态电容”性能越好，因此整体稳定性也会更加出色。

注： 根据表1可知，图2中微调灵敏度较为优异的两个晶振恰巧也是仅有的两个晶振制造商指定了动态电容规范值的晶振。

- 负载电容越大，PIC32MX系列的Sosc晶振电路越稳定。

PIC32MX SOSC 电路设计目标

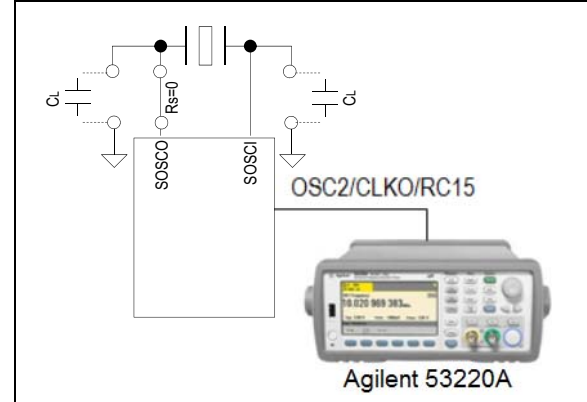
- 第一个目标不是找到初始PPM为0的负载电容，而是找到可以在元件、容差、温度、电压和应用板安装配置各不相同的所有条件下保证稳定性的负载电容。RTCC微调值（即校准值）是必不可少的，它能够使同一个软件源适用于所有器件，同时保证时钟日历的精度和准确性（低微调灵敏度）。
- 第二个目标是确保电路不会超出晶振制造商的驱动级别规范值。如果超出驱动级别规范值，则会导致晶振的预期寿命缩短。晶振上的负载主要是SOSCI侧的负载电容，因此如果增加负载电容，尽管会提高Sosc PPM的稳定性，但同时也会增加晶振上的负载，进而导致晶振的功耗需求增加。若要对此进行限制，用户需要在PIC32MX的SOSCO引脚上串联一个电阻，以限制晶振端子SOSCO侧的电压。由于 $P = IE$ ，因此晶振将衰减SOSCI信号的幅值，从而减小晶振负载。

PIC32MX Sosc 电路元件确定与选择方法总结（第1部分，共2部分）

1. 按图3所示配置最终确定的PCB Sosc电路。

注： 进行PPM测量时，Sosc晶振的两个引脚上都不允许外接示波器探头，因为示波器探头电容会影响PPM的测量。

图3: Sosc微调灵敏度/负载电容测量电路



2. 配置PIC32MX振荡器，具体如下：

PIC32MX软件配置：

- DEVCFG1<OSCIOFNC> = 1 //使能CLKO
- DEVCFG1<POSCMOD> = 0b11 //禁止POSC
- DEVCFG1<FSOSCEN> = 1 //使能Sosc
- DEVCFG1<FNOSC> = 0b100 //选择Sosc作为PIC32MX的时钟源
- DEVCFG1<IESO> = 0 //禁止双速启动
- 用户应用程序代码执行while(1)循环

3. 将用户选择的同一制造商和器件编号的两个晶振中的第一个焊接到应用PCB上。

注： 两个晶振必须来自不同的制造商生产批次。这一点很重要，因为晶振制造商不同生产批次的PPM也会有所不同。请从两家不同的分销商订购同一制造商和器件编号的晶振。

4. 将CLOAD负载电容焊接到应用PCB上，以CLOAD = 28 pF为初始值。
5. 为PIC32MX器件供电，并使用与Agilent 53220A示波器相当的频率计测量输出频率，精度至少为8位。

AN2351

- 将测得的频率和CLOAD负载电容值记录到电子表格中，如表4所示。

表4: 电子表格示例

负载电容 (pF±1%)	理想晶振 频率	CLKO引脚测得的频率 (晶振1)	PPM 晶振1	CLKO引脚测得的频率 (晶振2)	PPM 晶振2
28	32768				
32	32768				
36	32768				
40	32768				
44	32768				
48	32768				
52	32768				
56	32768				
60	32768				

- 在电子表格中，使用公式4计算PPM:

公式4: 计算PPM

$$PPM = \left(\left(\frac{\text{测得的PIC32 CLKO 引脚频率}}{32768} \right) - 1 \right) \cdot 1000000$$

- 将CLOAD负载电容值增加4 pF（使用的电容容差必须为±1%）。
- 重复步骤4至步骤8，直到负载电容值至少增加至60 pF。
- 取下第一个晶振，换成同一制造商和器件编号但生产批次不同的第二个晶振。

注: 两个晶振必须来自不同的制造商生产批次。这一点很重要，因为晶振制造商不同生产批次的PPM也会有所不同。请从两家不同的分销商订购同一制造商和器件编号的晶振。

- 重复步骤4到步骤10，然后跳转到步骤13。
- 使用图表工具（例如 Excel），在同一图表中为上述两个晶振绘制晶振微调灵敏度PPM（y轴）与CLOAD负载电容（x轴）的关系曲线。
- 从图表中找到两条微调灵敏度曲线最接近的位置（即两条曲线最接近的点或者交叉点），该点即为PIC32MX应用的CLOAD负载电容值。

选择用于晶振驱动的PIC32MX Sosc Rs (第2部分, 共2部分)

本过程的第2部分用于确保所选负载电容对应的负载不会超过晶振制造商的功率驱动规范值, 否则会给晶振施加压力并缩短其使用寿命。晶振功率驱动规范值是指晶振消耗的最大功率。如果增加晶振的输出负载(即负载电容), 晶振的功耗也会随之增加。步骤13确定了负载电容, 因此衰减功率级别的唯一方法是降低信号幅值。这通常需要在SOSCO引脚上串联一个电阻Rs。Rs电阻会衰减Sosc信号, 由于 $P = IE$, 减小Sosc电压幅值会降低晶振所需的功率驱动级别。

注: 添加串联电阻Rs会改变微调灵敏度曲线并因此导致PPM发生偏移, 但这并不会改变负载电容微调灵敏度的交点。否则, 整个过程需要重复执行多次。

测量晶振功率的方法有很多种, 具体会涉及到专用示波器电流探头、网络分析仪以及用于计算Sosc正弦波的RMS电流与电压比率的公式, 由于太过复杂, 此处不一一说明。请注意, 在互联网上可以找到这些方法的相关信息。

以下部分给出了一种快捷的Rs近似法, 晶振的使用寿命将不再是亟待解决的问题。

PIC32MX系列器件尚未确定特性值, 为了确保其可靠工作, 最小信号峰-峰SOSCI幅值需大于400 mV。SOSCI信号幅值越低(即驱动级别或功率越低), Sosc启动越慢, 在-40°C时的最差情况下, 可能需要大约5秒钟时间。

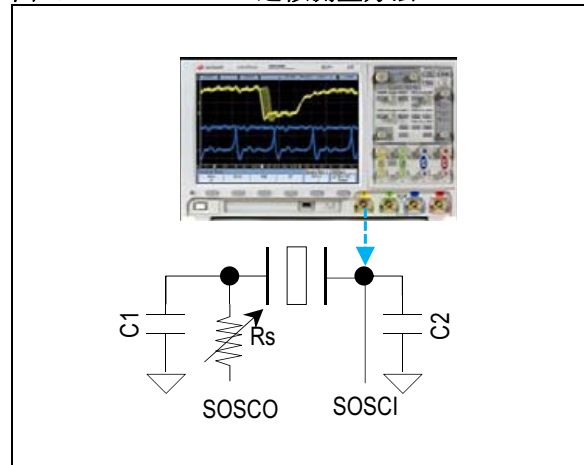
晶振R串联快捷近似法(第1部分续)

注: 最后一系列步骤的目标是确保能够使用固定的Rs电阻, 在不连接示波器探头的情况下, 使SOSCI引脚上具有大约600 mV至900 mV的电压, 以确保电路处于晶振功率驱动规范值的合理范围内。

14. 按照图4所示配置Sosc电路。Sosc走线/引线长度应尽可能短, 以最大限度减小杂散电容, 从而避免对Sosc电路产生影响。

- Rs电位器: 兼具低电感和低电容的0-200 kΩ多转型电位器(例如, Bourns Inc. P/N3224X-1-204E)

图4: Sosc RS近似测量方法

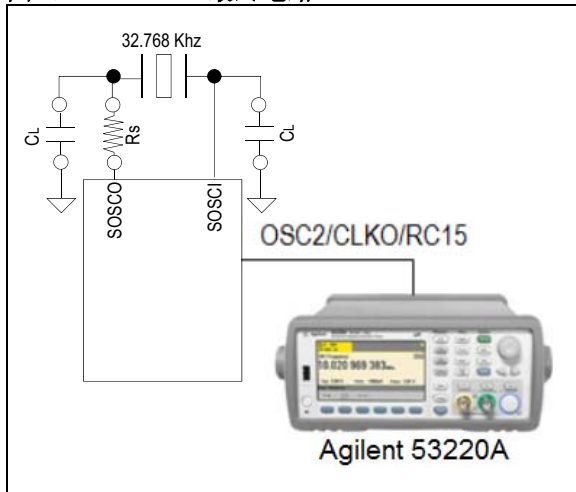


由于本过程中使用的示波器探头和Rs电位器会衰减Sosc信号(大约50 mV到200 mV), 并且会在电路中产生附加的电容和电感, 我们将通过调节电位器Rs来对其进行补偿, 以使示波器测得的SOSCI幅值接近于700 mV峰-峰值。当移除示波器并使用固定电阻 $\pm 1\%$ 替代电位器Rs后, SOSCI幅值应处于700 mV至900 mV的范围内。

15. 在示波器的垂直刻度为500 mV/div的条件下, 调节Rs电位器, 直到SOSCI为700 mV。
16. 测量Rs的电阻值, 然后使用一个同阻值的固定电阻替代Rs, 或者使用一个最接近Rs的低阻值表面贴装标准值固定电阻 $\pm 1\%$ 替代Rs(即使有阻值较高的固定电阻更接近Rs也不使用)。
17. 使用示波器重新测量SOSCI的幅值, 以确保SOSCI的峰-峰值仍处于600 mV至900 mV范围内。如果超出范围, 则返回到步骤15, 并相应地增加或减去与700 mV的差值来进行补偿。如果未超出范围, 请继续步骤18。

18. 按照图5所示，使用步骤13中的CLOAD负载电容值±1%和步骤16中的固定Rs电阻值±1%配置Sosc电路。

图5: Sosc最终电路



19. 使用7位精度的频率计测量PIC32MX CLKO引脚的频率。

20. 计算新的PPM:

$$PPM = (((\text{测得的PIC32 CLKO 引脚频率} / 32768) - 1) * 1000000)$$

21. 将新的PPM转换为时钟数/分钟:

$$\text{时钟数/分钟} = (32768 * 60 \text{秒} * PPM) / 1000000$$

22. PIC32MX RTCC模块具有用户软件微调寄存器、RTCCON和CAL位，其值设置范围为±512个时钟/分钟。根据步骤21中的时钟数/分钟计算结果，使用RTCCON寄存器中的CAL位选择适当的RTCC微调设置。如果步骤21中的时钟数/分钟为负(-)，则CAL位选择最接近的正(+)时钟数/分钟值。如果步骤21中的时钟数/分钟为正(+)，则CAL位选择最接近的负(-)时钟数/分钟值。

23. 现在，Sosc和RTCC应已校准为最佳精度和稳定性。

PIC32MX系列经验证的Sosc和RTCC参考设计解决方案

注: 下面是一个经验证的交钥匙解决方案的示例。

使用以下元件，请参见图6:

- PIC32MX330/350/370/430/450/470 单片机
- 晶振ABS07-32.768KHZ-T
- 晶振最大功率驱动规范值 = 1 μW
- RS = 169k±1%
- 晶振负载电容 = 39 pF±1%

主要特点如下:

- Rs = 选择169k±1%的SOSCO串联电阻，将晶振功率驱动级别限制为720 nW，裕量大约为28%。
- 为同一制造商和器件编号但至少来自两个不同生产批次的三个晶振绘制微调灵敏度曲线。
- 添加Rs = 169k±1%后，存在一个介于-35±5 PPM到-45.8±0 PPM之间的未校准RTCC PPM偏移。
- 更改或添加晶振串联电阻Rs会改变晶振微调灵敏度曲线(PPM y轴截距收敛)，但不会影响x轴负载电容的截点。

根据微调灵敏度曲线图计算Sosc PPM

根据图7，可得出以下PPM计算结果:

校准前的PPM (-45.8 PPM, 39 pF±1%)。

校准前的误差 = $((32768 * 60 \text{秒} * (-45.8) \text{ PPM}) / 1000000) = -90.046$ 个时钟/分钟。

PIC32MX RTCCON<CAL> = 0b0001011010; //

选择RTCC微调 = 加90个时钟/分钟:

- 校准后的原始RTCC时钟数/分钟精度

$$= -0.046 \text{ 个时钟/分钟} // (90 - 90.046)$$

- 校准后的原始RTCC秒/月精度

$$= ((60 * -0.046 \text{ 个时钟/分钟} * 24 * 30) / 32768)$$

$$= -0.06 \text{ 秒/月 (即校准后的原始RTCC精度)}$$

$$\text{校准后的PPM} = [-0.060645 / (60 * 60 * 24 * 30)] * 1000000 = -0.0234 \text{ PPM}$$

注: 上面列出的数字不包括由于晶振制造商晶振频率容差±PPM和硅片制造工艺差异而导致的误差。有关更多信息，请参见“[最坏情况下的PPM精度](#)”一节。

最坏情况下的PPM精度

本部分给出了在最坏情况下计算得出的总体应用精度理论值。

- = [非硅片精度 + PIC32 工艺误差 + 晶振频率容差]
- = [-0.0234 + (±5) + (±20)]
- = ±25 PPM (考虑到所有误差源的最坏情况下)

表5: 参考设计 Sosc 加 RTCC 精度

典型值	最大值
±15 PPM	±25 PPM

图6: 经验证的 PIC32MX Sosc 晶振解决方案

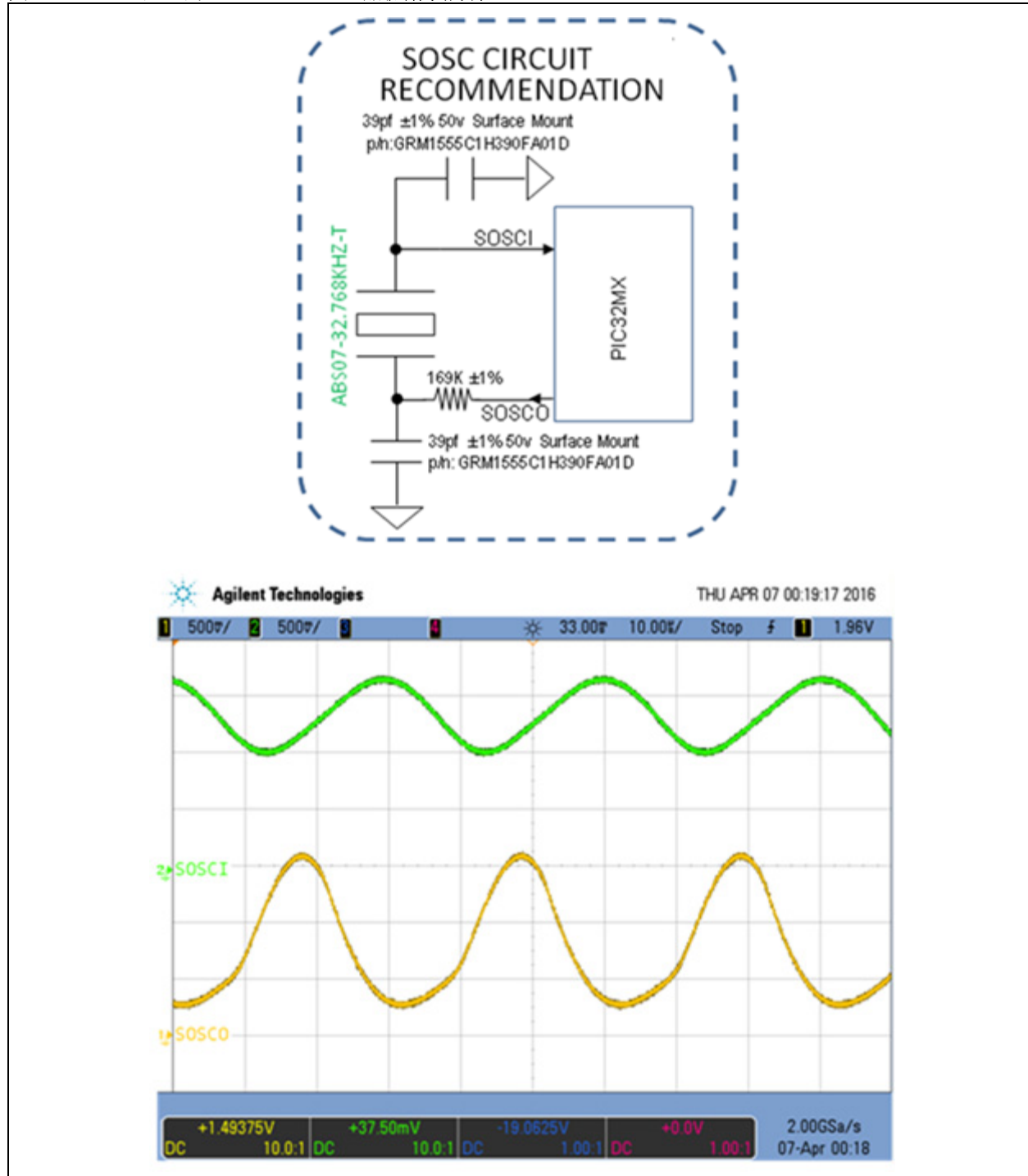
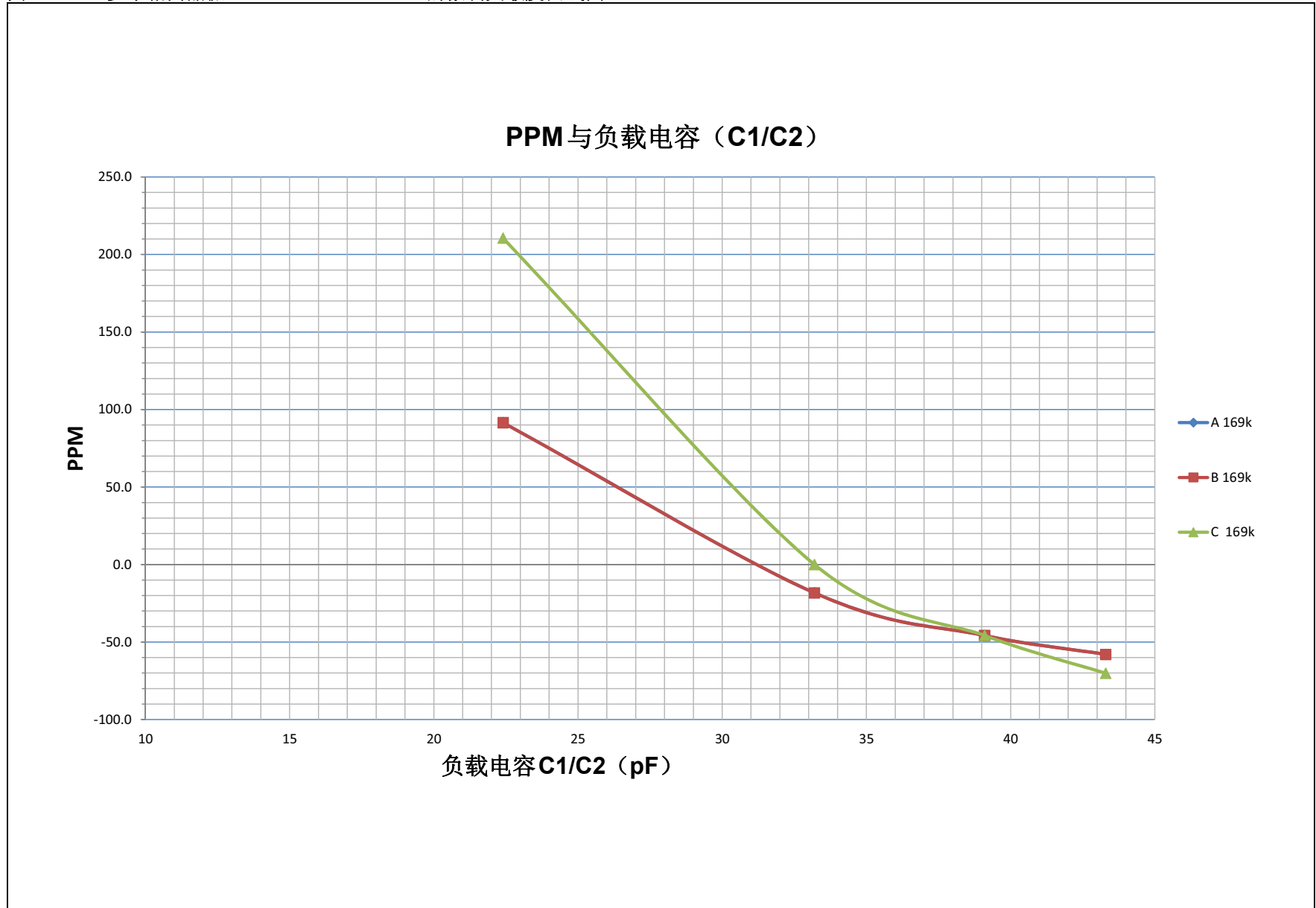


图7: 多个相同晶振ABS07-32.768 KHZ-T的微调灵敏度曲线图



主要特点

注： 所有晶振均来自同一制造商且器件编号相同。

图7说明了使用不同生产批次的晶振进行测试的重要性。三个晶振中有两个（晶振“A”和晶振“B”）来自同一生产批次，晶振“A”曲线隐藏在晶振“B”曲线下面，因此不可见。这两个晶振的曲线相同，这意味着微调灵敏度截点也相同，所以无法确定在多种安装配置下能够使Sosc操作达到最稳定状态的正确容性负载。幸运的是，晶振“C”虽然来自同一制造商且器件编号相同，但是于不同日期从不同分销商处订购，因此特性会略微不同，这使得用户可以在负载电容为 $39\text{ pF}\pm 1\%$ 的情况下，根据工艺差异确定真正的交点/临近交点。

注： 对于同一制造商和器件编号的晶振，只要它们的批次不同，即便不相交，也应该存在一个临近相交的点。如果曲线彼此之间在斜坡的线性水平区域某点最接近于相交，则选择该点的负载电容值。

由于晶振的制造工艺、PPM和ESR规范值的差异，即使是同一制造商和器件编号的晶振微调灵敏度曲线也会有所不同。

结论

Sosc RTCC在应用的整个工作范围和所有安装配置条件下的精度和可靠性，会受到本应用笔记中描述的与PIC32MX系列器件许多因素相关的Sosc微调灵敏度特性的影响。因此，想要得到稳定的RTCC精度，只能通过绘制PPM与负载电容的关系曲线，确定微调灵敏度曲线的水平部分中最接近的PPM和负载电容的点，然后使用RTCC微调位进行适当的补偿（即根据需要增加或减少RTCC时钟数/分钟）。对于给定的晶振制造商器件编号，只需要在一个应用板上完成一次校准，即可无限制地应用到所有其他相同的应用板，这样可以最大限度减小板间偏差。

AN2351

注:

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。

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，是您自身应尽的责任。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、适用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，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。

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 与 dsPIC[®] DSC、KeeLoq[®] 跳码器件、串行 EEPROM、单片机外设、非易失性存储器 and 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。

QUALITY MANAGEMENT SYSTEM
CERTIFIED BY DNV
== ISO/TS 16949 ==

商标

Microchip 的名称和徽标组合、Microchip 徽标、AnyRate、dsPIC、FlashFlex、flexPWR、Heldo、JukeBlox、KeeLoq、KeeLoq 徽标、Kleer、LANCheck、LINK MD、MediaLB、MOST、MOST 徽标、MPLAB、OptoLyzer、PIC、PICSTART、PIC32 徽标、RightTouch、SpyNIC、SST、SST 徽标、SuperFlash 及 UNI/O 均为 Microchip Technology Inc. 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 均为 Microchip Technology Inc. 在美国的注册商标。

Analog-for-the-Digital Age、Any Capacitor、AnyIn、AnyOut、BodyCom、chipKIT、chipKIT 徽标、CodeGuard、dsPICDEM、dsPICDEM.net、Dynamic Average Matching、DAM、ECAN、EtherGREEN、In-Circuit Serial Programming、ICSP、Inter-Chip Connectivity、JitterBlocker、KleerNet、KleerNet 徽标、MiWi、motorBench、MPASM、MPF、MPLAB Certified 徽标、MPLIB、MPLINK、MultiTRAK、NetDetach、Omniscient Code Generation、PICDEM、PICDEM.net、PICkit、PICtail、PureSilicon、RightTouch 徽标、REAL ICE、Ripple Blocker、Serial Quad I/O、SQI、SuperSwitcher、SuperSwitcher II、Total Endurance、TSHARC、USBCheck、VariSense、ViewSpan、WiperLock、Wireless DNA 和 ZENA 均为 Microchip Technology Inc. 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 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。

© 2018, Microchip Technology Inc. 版权所有。

ISBN: 978-1-5224-2508-3



全球销售及服务中心

美洲

公司总部 Corporate Office
2355 West Chandler Blvd.
Chandler, AZ 85224-6199
Tel: 1-480-792-7200
Fax: 1-480-792-7277

技术支持:
<http://www.microchip.com/support>

网址: www.microchip.com

亚特兰大 Atlanta
Duluth, GA

Tel: 1-678-957-9614
Fax: 1-678-957-1455

奥斯汀 Austin, TX
Tel: 1-512-257-3370

波士顿 Boston
Westborough, MA
Tel: 1-774-760-0087
Fax: 1-774-760-0088

芝加哥 Chicago
Itasca, IL
Tel: 1-630-285-0071
Fax: 1-630-285-0075

达拉斯 Dallas
Addison, TX
Tel: 1-972-818-7423
Fax: 1-972-818-2924

底特律 Detroit
Novi, MI
Tel: 1-248-848-4000

休斯敦 Houston, TX
Tel: 1-281-894-5983

印第安纳波利斯 Indianapolis
Noblesville, IN
Tel: 1-317-773-8323
Fax: 1-317-773-5453
Tel: 1-317-536-2380

洛杉矶 Los Angeles
Mission Viejo, CA
Tel: 1-949-462-9523
Fax: 1-949-462-9608
Tel: 1-951-273-7800

罗利 Raleigh, NC
Tel: 1-919-844-7510

纽约 New York, NY
Tel: 1-631-435-6000

圣何塞 San Jose, CA
Tel: 1-408-735-9110
Tel: 1-408-436-4270

加拿大多伦多 Toronto
Tel: 1-905-695-1980
Fax: 1-905-695-2078

亚太地区

中国 - 北京
Tel: 86-10-8569-7000

中国 - 成都
Tel: 86-28-8665-5511

中国 - 重庆
Tel: 86-23-8980-9588

中国 - 东莞
Tel: 86-769-8702-9880

中国 - 广州
Tel: 86-20-8755-8029

中国 - 杭州
Tel: 86-571-8792-8115

中国 - 南京
Tel: 86-25-8473-2460

中国 - 青岛
Tel: 86-532-8502-7355

中国 - 上海
Tel: 86-21-3326-8000

中国 - 沈阳
Tel: 86-24-2334-2829

中国 - 深圳
Tel: 86-755-8864-2200

中国 - 苏州
Tel: 86-186-6233-1526

中国 - 武汉
Tel: 86-27-5980-5300

中国 - 西安
Tel: 86-29-8833-7252

中国 - 厦门
Tel: 86-592-238-8138

中国 - 香港特别行政区
Tel: 852-2943-5100

中国 - 珠海
Tel: 86-756-321-0040

台湾地区 - 高雄
Tel: 886-7-213-7830

台湾地区 - 台北
Tel: 886-2-2508-8600

台湾地区 - 新竹
Tel: 886-3-577-8366

亚太地区

澳大利亚 Australia - Sydney
Tel: 61-2-9868-6733

印度 India - Bangalore
Tel: 91-80-3090-4444

印度 India - New Delhi
Tel: 91-11-4160-8631

印度 India - Pune
Tel: 91-20-4121-0141

日本 Japan - Osaka
Tel: 81-6-6152-7160

日本 Japan - Tokyo
Tel: 81-3-6880-3770

韩国 Korea - Daegu
Tel: 82-53-744-4301

韩国 Korea - Seoul
Tel: 82-2-554-7200

马来西亚 Malaysia - Kuala Lumpur
Tel: 60-3-7651-7906

马来西亚 Malaysia - Penang
Tel: 60-4-227-8870

菲律宾 Philippines - Manila
Tel: 63-2-634-9065

新加坡 Singapore
Tel: 65-6334-8870

泰国 Thailand - Bangkok
Tel: 66-2-694-1351

越南 Vietnam - Ho Chi Minh
Tel: 84-28-5448-2100

欧洲

奥地利 Austria - Wels
Tel: 43-7242-2244-39
Fax: 43-7242-2244-393

丹麦 Denmark - Copenhagen
Tel: 45-4450-2828
Fax: 45-4485-2829

芬兰 Finland - Espoo
Tel: 358-9-4520-820

法国 France - Paris
Tel: 33-1-69-53-63-20
Fax: 33-1-69-30-90-79

德国 Germany - Garching
Tel: 49-8931-9700

德国 Germany - Haan
Tel: 49-2129-3766400

德国 Germany - Heilbronn
Tel: 49-7131-67-3636

德国 Germany - Karlsruhe
Tel: 49-721-625370

德国 Germany - Munich
Tel: 49-89-627-144-0
Fax: 49-89-627-144-44

德国 Germany - Rosenheim
Tel: 49-8031-354-560

以色列 Israel - Ra'anana
Tel: 972-9-744-7705

意大利 Italy - Milan
Tel: 39-0331-742611
Fax: 39-0331-466781

意大利 Italy - Padova
Tel: 39-049-7625286

荷兰 Netherlands - Drunen
Tel: 31-416-690399
Fax: 31-416-690340

挪威 Norway - Trondheim
Tel: 47-7289-7561

波兰 Poland - Warsaw
Tel: 48-22-3325737

罗马尼亚 Romania - Bucharest
Tel: 40-21-407-87-50

西班牙 Spain - Madrid
Tel: 34-91-708-08-90
Fax: 34-91-708-08-91

瑞典 Sweden - Gothenberg
Tel: 46-31-704-60-40

瑞典 Sweden - Stockholm
Tel: 46-8-5090-4654

英国 UK - Wokingham
Tel: 44-118-921-5800
Fax: 44-118-921-5820