
石英晶振与 Microchip IC

作者: William Baldwin
Microchip Technology Inc.

简介

石英晶振是一种非常稳定和精确的谐振器。石英晶振用于在电子电路中提供频率参考已有近一百年的历史。20世纪 40 年代, 由于第二次世界大战期间对可靠的无线通信的突发需求, 石英晶振制造实现了产业化。在此之前, 晶振的主要使用者是业余无线电爱好者, 正是在他们的帮助下, 美国的石英晶振产业在此期间得以发展壮大。当时采用的是天然石英, 只有少数矿山可提供性能良好的石英晶振所需的纯度。如今, 具有更高纯度的合成石英已取代天然石英, 成为时序和通信应用中的关键组件。本应用笔记将阐释如何选择或指定与 Microchip 时序 IC 搭配使用的石英晶振 (见图 1)。

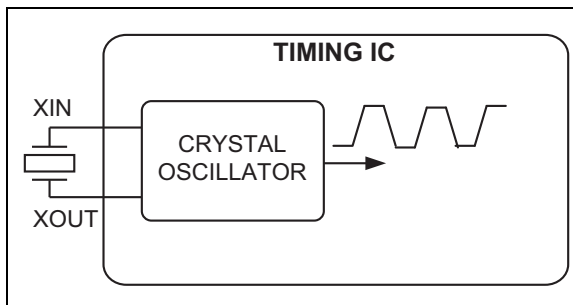


图 1: 晶振与 Microchip IC 搭配使用的示例

晶振的工作原理

晶振本身是无源器件, 需要一个电子电路 (晶体振荡器) 来产生一个参考时钟信号。为了使晶振振动, 将电极放置在石英表面上。石英具有压电特性, 两个电极之间的电压使晶振改变形状。另一种可行方法是通过向晶振施加压力来改变其形状。这会导致两个电极之间出现一个电压。电压和机械形状之间的这种相互作用会在一块石英的机械共振时产生有用的电阻抗特性。晶振在机械共振时从交流电压中吸收电能。换句话说, 在机械共

振时电阻抗会下降, 因此晶振可作为滤波器, 传递谐振频率。振荡器电路利用这一特性可建立在此谐振频率下的参考时钟信号。

图 2 中是石英晶振的传统结构的一个示例。在该示例中, 石英晶振的形状为圆盘状。电极放置于圆盘两侧, 以施加电压。为保持频率精度, 要防止石英晶振变脏或电极氧化。通常将晶振放置在密封的外壳中, 以保持洁净。图 2 显示了一个金属罐外壳, 其盖子已去除。尺寸较小的表面贴装陶瓷外壳更加普遍。



图 2: 石英晶振的传统构造

大多数晶振 (包括上图所示的晶振) 都会以圆盘厚度振动。请注意, 圆盘越薄, 其振动频率越高。要制造具有特定频率的晶振, 必须仔细调整厚度以达到目标频率。最终校准是通过从远离电极上蚀刻掉少量金属 (通常是银) 来完成, 以减少其质量并迫使频率上升。在蚀刻 (或离子束调谐) 过程中监视晶振频率, 并在达到目标时停止。

MICROCHIP 晶振

许多 Microchip 时序 IC 使用石英晶振作为频率参考。石英晶振具有指定的参数，需要与振荡器电路的参数相匹配，才能满足频率精度并提供可靠的操作。这些参数可以通过下面图 3 中的石英晶振的电气模型以及晶振与振荡器的简化模型来说明。

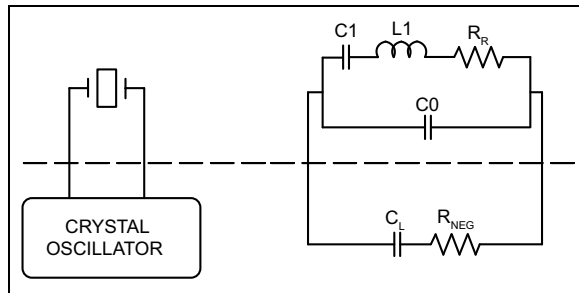


图 3: 石英晶振的电气模型 / 晶体振荡器的简化模型

图 3 中的参数如下：

- C1 – 晶振动态电容
- L1 – 晶振动态电感
- RR – 晶振谐振电阻
- CL – 振荡器负载电容
- RNEG – 振荡器增益，呈现为负值电阻

表 1: 晶振参数的典型值

参数	值	注释
C1 (动态电容)	15 fF ~ 25 fF	大型金属罐晶振。
	1 fF ~ 5 fF	小型陶瓷表面贴装晶振或台面晶振。
	0.1 fF ~ 2 fF	泛音晶振。
C0 (并联电容)	3 pF ~ 5 pF	大型金属罐晶振。
	0.5 pF ~ 2 pF	小型陶瓷表面贴装晶振或台面晶振。
ESR (有效串联电阻)	5 Ω ~ 25 Ω	大型金属罐晶振。
	15 Ω ~ 60 Ω	小型陶瓷表面贴装晶振。
PD (驱动电平)	500 μW (最大值)	大型金属罐晶振。
	100 μW (最大值)	小型陶瓷表面贴装晶振。
CL (负载电容)	12 pF ~ 20 pF	低频，10 MHz ~ 25 MHz，基本模式。
	5 pF ~ 12 pF	中频，25 MHz ~ 50 MHz，基本模式。
	3 pF ~ 5 pF	高频，最高 ~200 MHz。

参数说明

C1 和 L1

动态电容 (C1) 代表石英的弹性, 而动态电感则 (L1) 代表动态质量。因此, C1 和 L1 电路是石英晶振中机械谐振的电谐振槽路表示。当试图通过改变晶体振荡器中的负载电容来调谐晶振频率时, C1 的值很重要。C1 的值越大, 相同负载电容变化产生的频率偏差就越大。例如, 在 Microchip 的 PL500、PL502、PL520 或 PL586 系列产品中的压控 XTAL 振荡器 (voltage-controlled XTAL oscillator, VCXO) 中, 这一参数很重要, 因为 VCXO 需要具有特定的频率调谐范围。如果不存在频率调谐, C1 的值就不那么重要。为了减小负载电容的变化对频率的影响, 可能需要 C1 的值较小。通常未指定 L1 的值, 而是指定了频率, 我们可以根据 C1 和频率计算出 L1。

如果对于达到一定的频率调谐范围至关重要, Microchip 将会指定 C1。如果未指定, 则由晶振制造商根据可制造性选择最佳值。

R_R、ESR 和 R_{NEG}

谐振电阻 (R_R) 代表晶体谐振时的损耗。晶体振荡器的负电阻将稳定在一个恰好可抵消晶体谐振正电阻的值上, 从而实现永续振荡。由于 C0 的存在, 该电路中的 R_{NEG} 和 R_R 值不相等。在典型的晶振规格中, 标注了等效串联电阻 (ESR) 的值。该值与电路中的 R_{NEG} 的值正好相反 (为正), 可从 R_R、C0 和 C_L 值计算得出。

首次启动晶体振荡器时, R_{NEG} 的值必须比 ESR 大很多, 以快速增大振荡信号。一个好的经验法则是使 R_{NEG} 值至少等于晶振 ESR 值的三倍 (3 倍), 以确保晶体振荡器的可靠启动。当振幅达到特定幅度时, 振荡器放大器的非线性特性将阻止信号进一步增加, R_{NEG} 值将有效地降低至与 ESR 值相等, 实现永续振荡。设置晶体振荡器稳定在的振幅有多种不同的方法。Microchip 可以在其时序 IC 中提供 R_{NEG} 的值, 并可推荐 ESR 或 R_R, 以确保正确启动振荡器。

C0

C0 是晶振的并联电容或保持电容。它通常由晶振中的电极产生。当频率不接近晶振的机械共振频率时, 石英晶振的特性类似于一个电容值为几皮法 (pico-Farad, pF) 的普通电容。C0 是晶振中的寄生电容, 只会对性能产生负面影响。Microchip 将指定一个最大值, 以使 C0 不会对晶体振荡器的启动或频率调谐产生过多干扰。

C_L

负载电容 (C_L) 是晶体振荡器的属性。它的值会影响振荡器的准确振荡频率和稳定性。为了确保频率精度, 对晶振进行校准, 以使其在标称频率和特定的负载电容值条件下发生谐振。Microchip 会在其时序 IC 中指定晶体振荡器电路的 C_L 值, 以确保能够选择合适的晶振。理论上, 晶振制造商可以设定任何 C_L 值, 但大部分代理商都提供最常用的值。有时, 为了使用具有特定 C_L 值的常用晶振, 可以利用一个附加电容进行小幅调整, 以匹配 C_L 值。请与 Microchip 联系, 以获取有关特定时序 IC 可承受的具体调节量的准确建议。

利用 Microchip 的 PL610、PL611 和 PL611s 系列等可编程时钟发生器, 可对 C_L 进行编程, 并且可以针对特定晶振并结合 PCB 走线电容, 进行定制。通常, 驱动一个大的 C_L 需要更多的增益和功率。

F_L

F_L 表示晶体振荡器将会发生振荡的负载频率。对于晶振而言, 它是针对 C_L 在特定值下指定的振荡频率。为晶振指定的标称频率将是此负载频率。

F_S

晶振的串联谐振频率 (F_S) 取决于 C1 和 L1。F_S 是晶振阻抗最低的频率, 因此, 使用 50Ω 阻抗 / 网络分析仪很容易找到这一频率。某些振荡器可以在该频率下振荡, 但这不是典型情况。

参数的相互影响和依赖关系

“完美”的晶振应具有低 R_R 或 ESR 和低 C0 值, 以及在需要频率调谐时具有大的 C1 值。遗憾的是, 由于参数之间的物理依赖性, 这种“完美”的晶振并不存在。加大电极的尺寸可以有效地增加 C1 值、降低 R_R 或 ESR

值，同时也会增加 C_0 值。电极的尺寸还受限于石英圆盘的有效面积和总尺寸。最小的 SMD 晶振并不适用于 VCXO，因为它们的 C_1 值无法增大到足以实现充分的频率调谐。通过使用较大的晶振，可以创建一种设计，为 VCXO 提供较大的电极，为非调谐振荡器提供较小的电极。使用最小的 SMD 晶振，可实现的最佳效果是针对低 R_R 值的优化。

C_0 和 C_1 之间有一个相对恒定的比值，具体取决于电极对石英压电特性的驱动效率。 C_0/C_1 的比值越低，压电特性的使用效率就越高。通常，大型晶振的 C_0/C_1 比值接近 200，效率最高。2 mm x 1.6 mm 或更小的小型陶瓷表面贴装晶振的 C_0/C_1 比值约为 400，其“可拉动物性”较小。

泛音

AT 切型石英晶振可能会在各种不同的谐波频率下振动。最常见的振动是“基本模式”。此模式为 1 次谐波和最低谐振频率。使用 AT 切型石英时，泛音出现在基本模式频率的奇数倍处。例如，存在 3 次泛音和 5 次泛音等。每个泛音在晶振模型中都可以用一个额外的 $C_1-L_1-R_R$ 分支来表示。通常，泛音越高，其 R_R 就越高。这在最低（3 次和 5 次）泛音下最为准确。通常，晶体振荡器在较低频率下具有更高的振荡器增益（更大的负电阻）。当泛音的 R_R 值较大时，晶体振荡器将始终以基本模式频率振荡，而无需任何额外的滤波。要使振荡器在 3 次泛音处振荡，最简单的方法是使用高通滤波器抑制基频附近的振荡器增益。如果在 3 次泛音频率处有足够的振荡器增益以克服 3 次泛音处的 R_R ，则振荡器将在 3 次泛音频率处振荡。要在 5 次或更高泛音处振荡，建议使用带通滤波器来抑制更高和更低的音调。

晶体谐振频率是石英片厚度的函数。为了提高频率，需要减小石英片的厚度。晶振越薄，制造过程中就会越难处理。在泛音条件下使用晶振是一个折衷方案，虽然晶振本身更便宜，但会使振荡器电路变得更为复杂。

泛音处的振动质量相同，从而使泛音条件下与基本模式下的 L_1 值大致相同。这会大幅减小 C_1 值，从而提高频率（理论上，3 次泛音下将减至 $1/9$ ，5 次泛音下将减至 $1/25$ ，依此类推）。由于 C_0/C_1 比值较高，这种泛音操作不适合用于 VCXO 设计。

反向台面技术

反向台面技术使晶振片中间部分的晶振非常薄。仅将电极放置在较薄区域内时，较厚的外围边缘易于处理，而中心部分较薄则可使基本模式频率较高。

反向台面技术相对昂贵，但是一些应用证明了其成本的合理性（例如高频条件下的 VCXO 设计）。Microchip 可提供高频 VCXO IC（如 PL520 和 PL586 系列），能够与反向台面晶振搭配，实现出色的性能。此外，Microchip 的 PL686-05 和 PL610-01 也可以搭配高频反向台面晶振一起工作。

驱动电平

晶振中消耗的功率即为驱动电平。在一定的驱动电平之上，晶振会显示出非线性特性，从而导致不良的副作用。可能会与不必要的模式发生耦合，从而导致频率不稳定。Microchip 将指定时序 IC 的典型 IC 驱动电平，以便选择可正常发挥功效的晶振。

Q 因子

Q 是一个表示能量效率的参数。与由分立元件制成的谐振槽路电路相比，石英的 Q 因子很大。通常对石英晶振不会指定此参数，但往往会有期望值。高 Q 因子使频率非常稳定，而且高 Q 因子带来的另一个结果是振荡器信号中的噪声非常低。AT 石英晶振的 Q 因子可高于 20,000，最高 300,000。

晶振频率精度和稳定性

与诸如 LC 槽路或其他材料（如陶瓷谐振器）等替代技术相比，石英晶振的谐振频率非常稳定。如果使用得当，石英晶振就其成本而言可提供非常精确的频率参考，这也是石英晶振颇受欢迎的主要原因。频率精度和稳定性可分为以下几项：

- **室温下的校准公差：**这是在标称条件下的频率精度。为了便于识别，“容易”为 ± 50 ppm，“中等”为 ± 25 ppm，“困难”为 ± 10 ppm。
- **温度漂移：**以标称条件下的频率为参考，频率会随特定的温度曲线漂移。温度曲线可以使用一个三阶多项式方程进行建模，并且通常将晶振设计为在特定温度范围内最大程度减少漂移（见图 4）。建议选择指定温度范围与晶体振荡器电路的外露温度相同的晶振。两个最常见的温度范围是工业级（ -40°C 至 $+85^{\circ}\text{C}$ ）和商业级（ 0°C 至 $+70^{\circ}\text{C}$ ）温度范围。较宽的工业级温度范围会导致更大的漂移值，或者很难满足某些漂移要求。对于工业级温度范围，小于 ± 20 ppm 的漂移被视为“困难”，但使用商业级温度范围要达到相同的数值则相对容易。对于商业级温度范围，小于 ± 10 ppm 的漂移被视为“困难”。
- **老化：**由于老化，石英晶振的频率会随着时间的推移而缓慢漂移。机械应力会随着时间的推移而松弛。环氧树脂的放气或湿气会与电极发生反应，使晶振变重。通常，频率会随着老化而向下漂移。晶振在使用的最初几年中会快速老化，但随着时间的推移老化速度会放缓。有时，制造商会在工厂对晶振进行预老化处理，以满足一个极为严格的老化规格。典型的老化规格为 5 ppm/年。有时，第一年的规格值为 5 ppm，随后会降低。
- **总稳定性：**该数字包含以上所有内容，实际上是指定石英晶振频率精度的最常用方法。它保证了晶体振荡器频率在所有条件下以及器件使用寿命期间都不会漂移到某个范围之外。即使在 -40°C 至 $+85^{\circ}\text{C}$ 的温度范围内，诸如 ± 100 ppm 的总频率漂移数也相对容易实现。中等值为 ± 50 ppm，低于此数值，很快就会变得非常困难。为了满足总稳定性的要求，晶振制造商可以针对每个单项进行频率精度优化，以实现最佳的可制造性。

Microchip 的 IC 对其输出时钟的精度和稳定性并无显著影响。频率精度将由石英晶振参考决定。

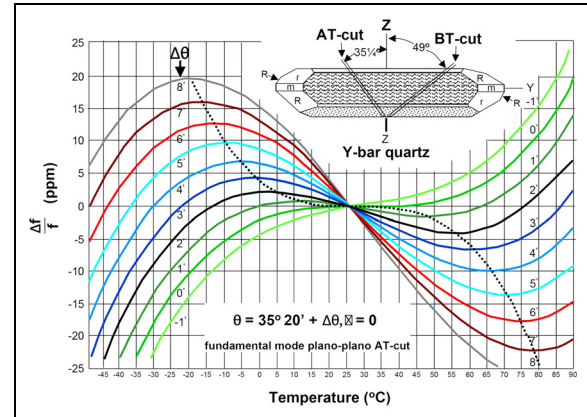


图 4： AT 切型晶振的温度特性

晶体振荡器的数学计算

公式 1 提供 ESR 值和 R_R 值之间的关系:

公式 1:

$$ESR = R_R \times (1 + (C_0)/C_L)^2$$

其中:

R_R	15Ω
C_0	3 pF
C_L	12 pF

对于上述公式, ESR 的计算结果为 23Ω。公式 2 帮助计算频率移动:

公式 2:

$$F_L = F_S \times \text{SQRT}(1 + C_1/[C_0 + C_L])$$

公式 2 可用于查找由于负载电容变化而引起的频率变化。

如果 CL1 导致 FL1, CL2 导致 FL2, 请参见公式 3。

公式 3:

$$FL1/FL2 = \text{SQRT}([1 + C_1/(C_0 + CL1)]/[1 + C_1/(C_0 + CL2)])$$

公式 4 是公式 3 的简化版本。

公式 4:

$$FL1/FL2 = 1 + 2 \times C_1 \times (CL2 - CL1)/(C_0 + CL1)/(C_0 + CL2)$$

当 CL1 和 CL2 很接近时, 请参见公式 5。

公式 5:

$$dFL = 2000 \times C_1 \times dCL/(C_0 + C_L)^2$$

dFL 是由负载电容漂移 dCL 引起的频率漂移, 单位为百万分之一 (parts per million, ppm)。C1 是毫微微法 (femto Farads, fF) 级的动态电容, dCL 是皮法 (pico Farads, pF) 级的负载电容漂移, C0 是 pF 级的并联电容, C_L 是 pF 级的标称负载电容。

C_L 误差示例

晶振针对 $C_L = 12$ pF 进行校准, IC 规格也为 $C_L = 12$ pF, 但 PCB 中还有 1 pF 的寄生电容。由这额外的 1 pF 产生的频率误差有多大? 晶振的其他参数: $C_1 = 8$ fF, $C_0 = 2.5$ pF。频率误差使用公式 6 计算。

公式 6:

$$dFL = 2000 \times 8 \times 1/(2.5 + 12)^2$$

在这种情况下, dFL = 76 ppm。

VCXO 示例

VCXO 规范规定, 在 $V_{\text{CONTROL}} = 0\text{V}$ 时, $CL1 = 20\text{ pF}$;
 $V_{\text{CONTROL}} = 1.65\text{V}$ 时, $CL2 = 8\text{ pF}$; $V_{\text{CONTROL}} = 3.3\text{V}$
时, $CL3 = 4\text{ pF}$ 。

晶振针对 $C_L = 8\text{ pF}$ 进行校准, 因此在 $V_{\text{CONTROL}} = 1.65\text{V}$
时达到标称频率。

晶振参数是 $C1 = 8\text{ fF}$ (或 0.008 pF) 和 $C0 = 2.5\text{ pF}$ 。

在 0V 至 3.3V 的控制电压调谐范围内, 可以通过公式 7
和公式 8 来计算频率调谐范围。

公式 7:

$$FL1/FL2 = \text{SQRT}([1 + 0.008/(2.5 + 20)]/[1 + 0.008/(2.5 + 8)]) = 0.999797 = 1 - 203\text{ ppm}$$

公式 8:

$$FL3/FL2 = \text{SQRT}([1 + 0.008/(2.5 + 4)]/[1 + 0.008/(2.5 + 8)]) = 1.000234 = 1 + 234\text{ ppm}$$

$V_{\text{CONTROL}} = 1.65\text{V}$ 时, 频率调谐范围为 $-203/+234\text{ ppm}$,
中心值为 0 ppm 。

微调负载电容

当时序 IC 的负载电容与晶振校准采用的负载电容不同时，晶体振荡器将不会以晶振的预期标称频率振荡。这可以通过在晶体振荡器电路中增加电容来解决。例如，增加一个与晶振串联的电容，可以降低振荡器电路的负载电容（见图 5）。

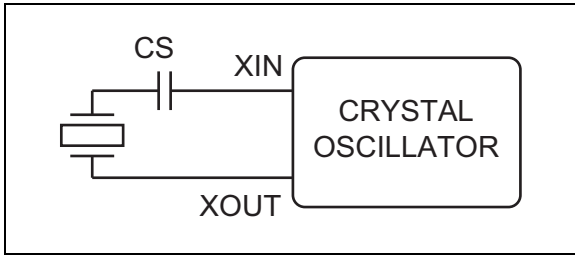


图 5：晶振的 C_L 值小于振荡器的 C_L 值

如果晶体振荡器的负载电容 (C_{LO}) 大于晶振校准采用的负载电容 (C_{LX})，可以添加串联 C_S 来降低晶体振荡器的负载电容，使之与晶振相匹配。

公式 9:

$$C_S = C_{LO} \times C_{LX} / (C_{LO} - C_{LX})$$

其中:

C_{LO}	14.32 pF
C_{LX}	12 pF

利用给定的值，计算得出 C_S 值为 74 pF。

当误差仅为 2 pF 或 3 pF 时，可以在 X_{IN} 到地之间增加一个电容，以增加振荡器的负载电容。这种方法的问题在于，当添加一个接地电容时，振荡器的增益将会降低。一个更加平衡的方法是在 X_{IN} 和 X_{OUT} 处均添加一个接地电容（见图 6）。

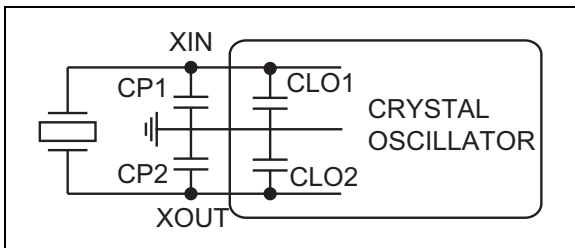


图 6：晶振的 C_L 值大于振荡器的 C_L 值

请与 Microchip 联系，了解在特定的 Microchip 时序 IC 中可以安全添加多少电容。对于这种情况，由于 C_{LO1}/C_{LO2} 比值不同，因此数学计算并不太精确。但是，在大多数情况下，可以假设 C_{LO1} 和 C_{LO2} 的值彼此非常接近。

要仅使用 $CP1$ 将负载电容校正为 1 pF，必须添加 $CP1 = 4$ pF（近似值）。要使用 $CP1$ 和 $CP2$ 将负载电容校正为 1 pF，必须添加 $CP1 = CP2 = 2$ pF（近似值）。同时使用 $CP1$ 和 $CP2$ 是较好的方法，对振荡器增益的影响最小。

使用参考时钟信号代替晶振

大多数晶体振荡器允许使用参考时钟信号替代晶振来驱动 X_{IN} 引脚。尽管此方法是可以接受的，但在实施之前需要考虑以下注意事项：

- 通常 X_{IN} 处的信号是正弦波，信号的峰到峰摆幅小于 V_{DD} 。对 X_{IN} 施加方波时，较高频率的谐波将通过 C_{LO1} （见图 7）耦合到接地轨，并会干扰电路的其他部分。当出现确定性抖动或相位噪声杂散之类的问题时，请尝试使用另一个串联电阻来使参考时钟方波沿呈坡度缓慢下降。100Ω 的值是首次尝试时的不错选择。
- 大多数晶体振荡器在 IC 内部提供 DC 偏置。当使用具有轨到轨信号摆幅的大信号参考时钟时，可以直接驱动 X_{IN} 引脚。相反，当参考时钟的信号摆幅较小时（例如 TCXO 削波正弦波），建议使用串联耦合电容，以使 DC 偏置稳定在预期水平。参考振荡器的相位噪声性能将影响 PLL 环路带宽内的合成器相位噪声性能。信号边沿速率和振幅也会产生影响。

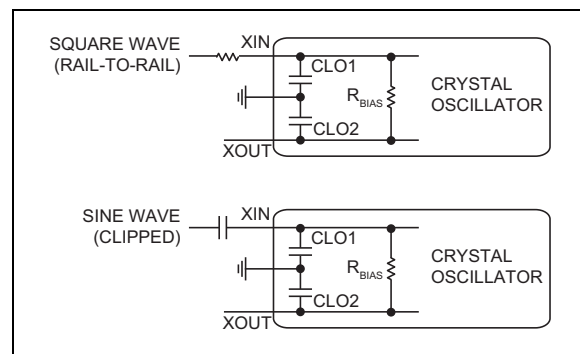


图 7：使用外部参考时钟驱动 X_{IN}

晶振选择检查列表

为 Microchip 时序 IC 选择晶振时，请使用以下检查列表：

- 选择正确的标称频率。
- 选择所需的封装类型。
- 选择正确的负载电容。尝试找到一个负载电容尽可能接近振荡器负载电容的晶振。可以根据晶体振荡器负载电容与所选晶振负载电容之间的差值来计算潜在的频率误差。当此误差不可接受时，则可能需要使用电容来调谐负载电容。或者，可以使用正确的负载电容晶振来生成正确的 CL 规格。
- 选择所需的频率精度和稳定性指标，以及所需的器件温度范围和使用寿命。
- 验证晶振的其他参数是否满足晶体振荡器的要求：
 - 最大 ESR
 - 最大驱动电平
 - 最大 C0
 - 在 VCXO 频率调谐的情况下，可能会有 C1、动态电容要求和 / 或最大 C0/C1 比值要求。

特定 MICROCHIP IC 的建议

以下是 Microchip IC 的列表，并包含与这些 IC 搭配使用的晶振的具体说明：

- **SM802xxx:** FLEX SM802xxx 产品使用频率范围为 12 MHz 至 30 MHz 的基本模式晶振。振荡器的负载电容为 10 pF。这是一个很常见的值，市场上将会提供具有此负载电容的晶振。可以通过在 X_{IN} 和 X_{OUT} 到地之间增加电容来调谐最高 C_L = 12 pF 的晶振。使用与晶振串联的电容将 C_L 值减小至 8 pF 或更低是可以接受的。
- **SM803xxx:** FLEX2 SM803xxx 产品使用频率范围为 12 MHz 至 60 MHz 的基本模式晶振。振荡器的负载电容为 12 pF。这是一个常见值。对于这种振荡器，不建议使用接地电容来增大 C_L 值，但通过与晶振串联一个电容，将 C_L 值减小至 10 pF 或 8 pF 是可以接受的。
- **PL135-XX:** PL135 产品是扇出 XO。将按照晶振频率提供多个时钟输出。PL135-27 的 C_L 值为 12 pF，PL135-37 的该值为 8 pF，PL135-47 和 PL135-67 的该值则为 15 pF。晶振频率范围为 10 MHz 至 40 MHz。
- **PL500-17:** PL500-17 是一款 VCXO。标称控制电压下的标称负载电容为 8 pF，最低控制电压下为 15 pF，最高控制电压下则为 5.2 pF。为了使频率在标称控制电压达到标称值，晶振 C_L 值需要为 8 pF。晶振的动态电容 C1 的值决定了频率调谐范围。[晶体振荡器的数学计算](#) 章节中的公式可用于计算频率调谐范围。PL500-17 可搭配 17 MHz 至 36 MHz 之间的晶振一起使用。
- **PL500-37:** PL500-37 是一款类似于 PL500-17 的 VCXO，但旨在用于 36 MHz 至 130 MHz 范围内的更高频晶振。频率超过约 60 MHz 的晶振太薄，无法采用通用设计进行处理，因此使用反向台面技术将更实用。标称控制电压下的负载电容为 5.1 pF，最低控制电压下为 9.5 pF，最高控制电压下则为 3.3 pF。
- **PL502-3X:** PL502-3X 产品是具有额外 PLL 的 VCXO，可使晶振频率倍增最高 32 倍。该产品还提供一个输出分频器，可以将晶振频率向下分频，低至 16 分频。标称控制电压下的负载电容为 9.5 pF，最低控制电压下为 21 pF，最高控制电压下则为 6.0 pF。PL502-3X 可搭配 12 MHz 至 25 MHz 之间的晶振一起使用。
- **PL520-XX:** PL520 产品是可搭配高频晶振一起使用的 VCXO。PL520-20 使用 100 MHz 至 200 MHz 的晶振，PL520-30 使用 65 MHz 至 130 MHz 的晶振，而 PL520-80 则使用 19 MHz 至 65 MHz 晶振。

ANTC207

- **PL586-XX:** PL586 产品是专为超低相位噪声而设计的高频 VCXO。通过反向台面技术，不同的 IC 可搭配 75 MHz 至 170 MHz 之间的晶振频率使用。标称负载电容接近 5 pF。这些 IC 以未封装形式出售，与石英晶振集成在同一密封封装中，且其晶振频率在连接至 IC 时已经过校准。这使得了解确切的负载电容变得不那么重要。
- **PL602-2X 和 PL60203X:** PCIe 时钟发生器 IC，使用 25 MHz 的晶振，负载电容为 12 pF。
- **PL602-37:** 与 PL502-37 类似，但没有 VCXO。晶体振荡器的负载电容为 20 pF。这相对较大，但可通过增加一个与晶振串联的电容实现更小的 C_L 值。
- **PL602041 和 PL60208X:** PCIe 时钟发生器 IC，使用 25 MHz 的晶振，负载电容为 10 pF。
- **PL6070XX:** PCIe 时钟发生器 IC，使用 25 MHz 的晶振，负载电容为 15 pF。
- **PL610-01:** 这款时钟发生器是可定制的（出厂可编程），可编程项目之一是晶振的负载电容。该值可在 8 pF 和 12 pF 之间选择。晶振频率可在 5 MHz 至 60 MHz 之间。
- **PL610-32:** 这是一款特殊的低功耗时钟发生器，用于使用 16.777 MHz 的晶振产生 32.768 MHz 的 RTC 时钟。负载电容仅为 3 pF，以保持较低的功耗。关于更大值的使用，请与工厂联系。
- **PL611-XX:** 带有 PLL 的可定制时钟发生器。晶体振荡器的负载电容可以设置为 5 pF 至 20 pF 之间。晶振频率可在 10 MHz 至 30 MHz 之间。
- **PL611s-XX:** 带有 PLL 的可定制时钟发生器，类似于 PL611-XX，但尺寸更小且功耗更低。晶体振荡器的负载电容可以设置为 8 pF 至 12 pF 之间，晶振频率可在 10 MHz 至 50 MHz 之间。
- **PL613-XX:** 具有多个 PLL 和多个输出的可定制时钟发生器。负载电容固定为 15 pF（不可编程）。晶振频率可在 10 MHz 至 50 MHz 之间。
- **PL671-XX:** 降低 EMI 的时钟发生器，可使用 10 MHz 至 40 MHz 之间的晶振。晶体振荡器的负载电容为 15 pF。
- **PL686-XX:** 超低相位噪声时钟发生器，可使用频率范围为 75 MHz 至 170 MHz 之间的反向台面晶振。这些 IC 以未封装形式出售，以便与晶振一起集成至低相位噪声时钟模块中。
- **SY89529:** 使用 16.66 MHz 晶振的时钟发生器，晶体振荡器为串联模式类型，可在串联谐振频率附近运行晶振。通过将电容与晶振串联可达到一定的负载电容值。
- **SY8953X:** 使用 14 MHz 至 18 MHz 之间晶振的时钟发生器。该晶体振荡器为串联模式类型，可在串联谐振频率附近运行晶振。添加一个串联电容可达到一定的负载电容值。
- **SM8400XX:** 使用 25 MHz 晶振的时钟发生器。该晶体振荡器需要从 X_{IN} 到地和 X_{OUT} 到地的外部电容才能正常工作。IC 中的电容仅为 2 pF，外接 2×20 pF 会使 $C_L = 12$ pF 或外接 2×30 pF 使 $C_L = 18$ pF。不要超过 $C_L = 18$ pF。
- **SM843256 和 SM844256:** 使用 18 MHz 至 25 MHz 之间晶振的时钟发生器，负载电容为 10 pF。
- **SY898535:** LVPECL 扇出缓冲器，也可使用晶振作为频率参考输入。该晶振频率可在 12 MHz 至 40 MHz 之间。

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。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. 的英文原本文档。

本出版物中提供的信息仅仅是为了方便您使用 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。

有关 Microchip 质量管理体系的更多信息，请访问 www.microchip.com/quality。

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、PacTime、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、maxViews、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: 978-1-5224-7443-2

全球销售及及服务网点

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: 45-4485-5910
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: 49-7131-72400

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: 47-7288-4388

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