

无源晶振的频率该如何测量

无源晶振简介

无源晶振，准确来说应叫 Crystal（晶体），有源晶振则叫 Oscillator（振荡器）。无源晶振是在石英晶片的两端镀上电极而成，其两管脚是无极性的。无源晶振自身无法震荡，在工作时需要搭配外围电路。在一定条件下，石英晶片会产生压电效应：晶片两端的电场与机械形变会互相转化。当外加交变电压的频率与晶片的固有频率相等时，晶体产生的振动和电场强度最大，这称为压电谐振，类似与 LC 回路的谐振。

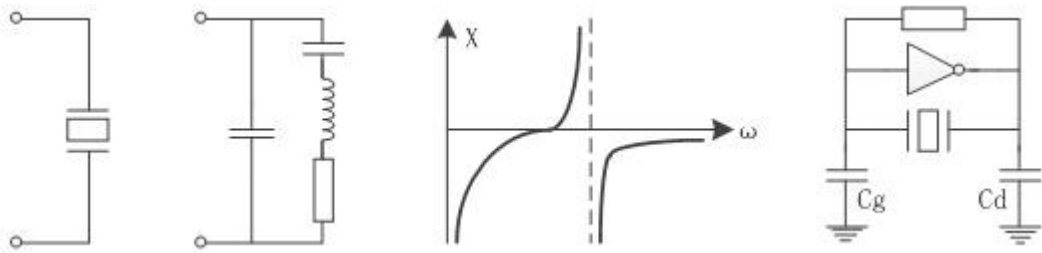


图 1 石英晶体的电路符号、等效电路、电抗特性及外围电路图

由于晶体为无源器件，其对外围电路的参数较为敏感，尤其为负载电容。根据晶体的手册，我们得知测试电路中有推荐电容，此电容对晶体是否起振大有关联：

$$C_L = \frac{C_d * C_g}{C_d + C_g} + C_{ic} + \Delta C$$

C_g 、 C_g 称作匹配电容，是接在晶振的两个脚上的对地电容，其作用就是调节负载电容使其与晶振的要求相一致，需要注意的是 C_g 、 C_g 串联后的总电容值 $((C_d * C_g) / (C_d + C_g))$ 才是有效的负载电容部分。 C_{ic} ：芯片引脚分布电容以及芯片内部电容。 ΔC ：PCB 走线分布电容，经验值为 3 至 5pF。

在某项目上使用到的一款 32.768kHz 无源晶振，手册中负载电容推荐值为 12.5pF。可见此值较为细小，微小的变化足以影响电路特性。

1. 探头的影响

探头，其实跟示波器一样，都是测量系统的一部分，其正确使用与否很大影响着测试结果。当探头的探针点击测量点时，探头的接入会对被测电路造成影响，这被称为探头的负载效应。这种负载效应一般简化为电阻与电容的并联。在带宽 500MHz 以下的示波器，一般标配是 1 倍衰减或 10 倍衰减的无源探头，某些探头的衰减比可手动选择。不同衰减比的探头在带宽、输入电阻、输入电容上面都有差异：



图 2 ZP1025SA 1 倍、10 倍衰减时的参数差异

可见探头的输入电容，比晶体手册的负载电容要大。探头的介入，必定大大影响到原已

参数优化好的电路，从而严重影响晶体电路的起振。两害相权取其轻，测量无源晶振时应优先选用 10 倍衰减探头。若 10 倍衰减探头的寄生参数还是过大，可以考虑选用有源高压差分探头，其负载参数优化得非常小，如 Lecroy 的 ZP1000 探头，输入阻抗可达 0.9pF、1M 欧姆。

2. 选择合适的测量点

既然晶体两端非常敏感，不便于接上探头测量，那可以换一种思路，在其他地方测量该信号。

某些时钟芯片带 clock out 功能，此功能是 buffer 晶体的信号，其管脚的输出是有很强大的驱动能力的，因此可以直接使用探头测量。

晶体发出的时钟输入到处理器中，可以使用计时器对此信号作分频处理，然后将分频后的信号输出到管脚。这样我们只需测量分频后的信号，即可计算出原有时钟的频率。

这种间接测试的方法，只能测试晶体的频率，不能测量晶体输出信号的幅度。若能在设备的工况范围都测试其频率的准确性，那晶体电路的工作就是 OK 的。

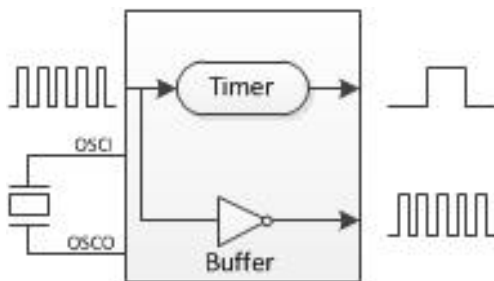


图 3 使用芯片的缓冲功能、计数器功能来测量

若信号驱动能力很强，可以考虑非接触的测试方案：近场探头。近场探头配合频谱仪，或示波器的 FFT 分析功能，即可测得峰值电压处的频率。由于为非接触方案，不存在探头的负载效应，不过需注意此时频谱仪、FFT 分析的频率分辨率，这会影响测量结果的步进、精度。

3. 如何测量频率

在捕捉到晶体的输出信号后，该如何测量其频率呢？在我司的 ZDS 系列示波器中，可以选择硬件频率计、频率参数测量、上升沿参数测量等方法。

硬件频率计在实现时，有测周期与测脉冲数的算法。这两种不同的测试方法，是会因应输入信号的频率大小而选择的，以期待测量值更准确。当信号频率小时，会选用测周期的方法，把信号的周期测好了，周期的倒数就是频率，此方法误差源在于测周期的计时时钟的频率；当信号频率大时，会选用测脉冲数的方法，在标准时间内测出信号上升沿的个数，此方法的误差是标准时间内的选定问题。

在参数测量的时间参数中，有“频率”这测试项。此测试项是求得两上升沿之间的时间差，再求倒数得到频率。此测试项的误差在于上升沿的判定与周期计时频率，受限于当前采样点的采样率。

在参数测量的统计参数中，有“上升沿计数”的方法，其原理是测量上升沿的个数。在测试中，可以将测量范围选择光标区域，而光标范围设为 200ms，这样测得的上升沿乘以 5，即为信号频率，如图 4 所示。

