

## 晶振原理与测试方法

晶振的工作原理：[http://blog.sina.com.cn/s/blog\\_60d703510100mo6j.html](http://blog.sina.com.cn/s/blog_60d703510100mo6j.html) 晶振是晶体振荡器的简称，在电气上它可以等效成一个电容和一个电阻并联再串联一个电容的二端网络，电工学上这个网络有两个谐振点，以频率的高低分其中较低的频率是串联谐振，较高的频率是并联谐振。由于晶体自身的特性致使这两个频率的距离相当的接近，在这个极窄的频率范围内，晶振等效为一个电感，所以只要晶振的两端并联上合适的电容它就会组成并联谐振电路。这个并联谐振电路加到一个负反馈电路中就可以构成正弦波振荡电路，由于晶振等效为电感的频率范围很窄，所以即使其他元件的参数变化很大，这个振荡器的频率也不会有很大的变化。

晶振的参数：晶振有一个重要的参数，那就是负载电容值，选择与负载电容值相等的并联电容，就可以得到晶振标称的谐振频率。

晶振的应用：一般的晶振振荡电路都是在一个反相放大器（注意是放大器不是反相器）的两端接入晶振，再有两个电容分别接到晶振的两端，每个电容的另一端再接到地，这两个电容串联的容量值就应该等于负载电容，请注意一般 IC 的引脚都有等效输入电容，这个不能忽略。

一般的晶振的负载电容为15p 或12.5p，如果再考虑元件引脚的等效输入电容，则两个22p 的电容构成晶振的振荡电路就是比较好的选择。

晶体振荡器也分为无源晶振和有源晶振两种类型。无源晶振与有源晶振（谐振）的英文名称不同，无源晶振为 crystal（晶体），而有源晶振则叫做 oscillator（振荡器）。无源晶振需要借助于时钟电路才能产生振荡信号，自身无法振荡起来，所以“无源晶振”这个说法并不准确；有源晶振是一个完整的谐振振荡器。

晶振的种类：谐振振荡器包括石英（或其晶体材料）晶体谐振器，陶瓷谐振器，LC 谐振器等。

晶振与谐振振荡器有其共同的交集有源晶体谐振振荡器。

石英晶片所以能做振荡电路（谐振）是基于它的压电效应，从物理学中知道，若在晶片的两个极板间加一电场，会使晶体产生机械变形；反之，若在极板间施加机械力，又会在相应的方向上产生电场，这种现象称为压电效应。如在极板间所加的是交变电压，就会产生机械变形振动，同时机械变形振动又会产生交变电场。一般来说，这种机械振动的振幅是比较小的，其振动频率则是很稳定的。但当外加交变电压的频率与晶片的固有频率（决定于晶片的尺寸）相等时，机械振动的幅度将急剧增加，这种现象称为压电谐振，因此石英晶体又称为石英晶体谐振器。其特点是频率稳定度很高。

晶振的万用表测试方法：小技巧：没有示波器情况下如何测量晶振是否起振？

可以用万用表测量晶振两个引脚电压是否是芯片工作电压的一半，比如工作电压是5V 则测出的是不是2.5V 左右。另外如果用镊子碰晶体另外一个脚，这个电压有明显变化，证明是起振了的。

小窍门：就是弄一节1.5V 的电池接在晶振的两端把晶振放到耳边仔细的听，当听到哒哒的声音那就说明它起振了，就是好的嘛！

### 1.电阻法

把万用表拨在  $R \times 10K$  挡，测量石英晶体两引脚间的电阻值应为无穷大。如果测量出的电阻值不是无穷大甚至接近于零，则说明被测晶体漏电或击穿。

这种办法只能测晶体是否漏电，如果晶体内部出现断路，电阻法就无能为力了，此时必须采用下面介绍的方法

### 2.自制测试器

按图所示电路，焊接一个简易石英晶体测试器，就可以准确地测试出晶体的好坏。图中 XS1、XS2 两个测试插口可用小七脚或小九脚电子管管座中拆下来的插口。LED 发光管选择高亮度的较好。

检测石英晶体时，把石英晶体的两个管脚插入到 XS1 和 XS2 两个插口中，按下开关 SB，如果石英晶体是好的则由三极管 VT1、C1、C2 等元器件构成的震荡电路产生震荡，震荡信号经 C3 耦合至 VD2 检波，



深圳市力拓创能电子设备有限公司

LTCN 力拓 (LITUO)

销售热线：18948758536 TEL: 0755 27231258 FAX: 0755 27231256

E-MAIL: [pbfree@163.com](mailto:pbfree@163.com) 地址：深圳宝安区沙井镇万丰中心路 88 号

检波后的直流信号电压使 VT2 导通，于是接在 VT2 集电极回路中的 LED 发光，指示被测石英晶体是好的，如果 LED 不亮，则说明被测石英晶体是坏的。本测试器测试石英晶体的频率很宽，但最佳工作频率为几百千赫至几十兆赫。

### 晶振的稳定性指标

**总频差：**在规定的时间内，由于规定的工作和非工作参数全部组合而引起的晶体振荡器频率与给定标称频率的最大偏差。

**说明：**总频差包括频率温度稳定度、频率老化率造成的偏差、频率电压特性和频率负载特性等共同造成的最大频差。一般只在短期频率稳定度关心，而对其他频率稳定度指标不严格要求的场合采用。例如：精密制导雷达。

**频率稳定度：**任何晶振，频率不稳定是绝对的，程度不同而已。一个晶振的输出频率随时间变化的曲线如图2。图中表现出频率不稳定的三种因素：老化、飘移和短稳。

图2 晶振输出频率随时间变化的示意图

曲线1是用0.1秒测量一次的情况，表现了晶振的短稳；曲线3是用100秒测量一次的情况，表现了晶振的飘移；曲线4 是用1天一次测量的情况。表现了晶振的老化。

**频率温度稳定度：**在标称电源和负载下，工作在规定温度范围内的不带隐含基准温度或带隐含基准温度的最大允许频偏。

$$ft = \pm(f_{max} - f_{min}) / (f_{max} + f_{min})$$

$$ft_{ref} = \pm \text{MAX} [ | (f_{max} - f_{ref}) / f_{ref} | , | (f_{min} - f_{ref}) / f_{ref} | ]$$

ft: 频率温度稳定度(不带隐含基准温度)

ft<sub>ref</sub>: 频率温度稳定度(带隐含基准温度)

f<sub>max</sub> : 规定温度范围内测得的最高频率

f<sub>min</sub>: 规定温度范围内测得的最低频率

f<sub>ref</sub>: 规定基准温度测得的频率

**说明：**采用 ft<sub>ref</sub> 指标的晶体振荡器其生产难度要高于采用 ft 指标的晶体振荡器,故 ft<sub>ref</sub> 指标的晶体振荡器售价较高。

**开机特性（频率稳定预热时间）：**指开机后一段时间(如5分钟)的频率到开机后另一段时间(如1小时)的频率的变化率。表示了晶振达到稳定的速度。这指标对经常开关的仪器如频率计等很有用。

**说明：**在多数应用中，晶体振荡器是长期加电的，然而在某些应用中晶体振荡器需要频繁的开机和关机，这时频率稳定预热时间指标需要被考虑到（尤其是对于在苛刻环境中使用的军用通讯电台，当要求频率温度稳定度 $\leq \pm 0.3 \text{ppm} (-45^\circ\text{C} \sim 85^\circ\text{C})$ ，采用 OCXO 作为本振，频率稳定预热时间将不少于5分钟，而采用 MCXO 只需要十几秒钟）。

**频率老化率：**在恒定的环境条件下测量振荡器频率时，振荡器频率和时间之间的关系。这种长期频率漂移是由晶体元件和振荡器电路元件的缓慢变化造成的，因此，其频率偏移的速率叫老化率，可用规定时限后的最大变化率（如 $\pm 10 \text{ppb/天}$ ，加电72小时后），或规定的时限内最大的总频率变化（如： $\pm 1 \text{ppm/（第一年）}$ 和 $\pm 5 \text{ppm/（十年）}$ ）来表示。

晶体老化是因为在生产晶体的时候存在应力、污染物、残留气体、结构工艺缺陷等问题。应力要经过一段时间的变化才能稳定，一种叫“应力补偿”的晶体切割方法（SC 切割法）使晶体有较好的特性。

污染物和残留气体的分子会沉积在晶片上或使晶体电极氧化，振荡频率越高，所用的晶片就越薄，这种影响就越厉害。这种影响要经过一段较长的时间才能逐渐稳定，而且这种稳定随着温度或工作状态的



**深圳市力拓创能电子有限公司**

**LTCN 力拓 (LITUO)**

销售热线: 18948758536 TEL: 0755 27231258 FAX: 0755 27231256

E-MAIL: [pbfree@163.com](mailto:pbfree@163.com) 地址: 深圳宝安区沙井镇万丰中心路 88 号

变化会有反复——使污染物在晶体表面再度集中或分散。因此，频率低的晶振比频率高的晶振、工作时间长的晶振比工作时间短的晶振、连续工作的晶振比断续工作的晶振的老化率要好。

说明：TCXO 的频率老化率为： $\pm 0.2\text{ppm} \sim \pm 2\text{ppm}$ （第一年）和 $\pm 1\text{ppm} \sim \pm 5\text{ppm}$ （十年）（除特殊情况，TCXO 很少采用每天频率老化率的指标，因为即使在实验室的条件下，温度变化引起的频率变化也将大大超过温度补偿晶体振荡器每天的频率老化，因此这个指标失去了实际的意义）。OCXO 的频率老化率为： $\pm 0.5\text{ppb} \sim \pm 10\text{ppb}/\text{天}$ （加电72小时后）， $\pm 30\text{ppb} \sim \pm 2\text{ppm}$ （第一年）， $\pm 0.3\text{ppm} \sim \pm 3\text{ppm}$ （十年）。

短稳：短期稳定度，观察的时间为1毫秒、10毫秒、100毫秒、1秒、10秒。

晶振的输出频率受到内部电路的影响(晶体的 Q 值、元器件的噪音、电路的稳定性、工作状态等)而产生频谱很宽的不稳定。测量一连串的频率值后，用阿伦方程计算。相位噪音也同样可以反映短稳的情况(要有专用仪器测量)。

重现性：定义：晶振经长时间工作稳定后关机，停机一段时间  $t_1$ (如24小时)，开机一段时间  $t_2$ (如4小时)，测得频率  $f_1$ ，再停机同一段时间  $t_1$ ，再开机同一段时间  $t_2$ ，测得频率  $f_2$ 。重现性 $= (f_2 - f_1) / f_2$ 。

频率压控范围：将频率控制电压从基准电压调到规定的终点电压，晶体振荡器频率的最小峰值改变量。

说明：基准电压为+2.5V，规定终点电压为+0.5V 和+4.5V，压控晶体振荡器在+0.5V 频率控制电压时频率改变量为-2ppm，在+4.5V 频率控制电压时频率改变量为+2.1ppm，则 VCXO 电压控制频率压控范围表示为： $\geq \pm 2\text{ppm}(2.5\text{V} \pm 2\text{V})$ ，斜率为正，线性为+2.4%。

压控频率响应范围：当调制频率变化时，峰值频偏与调制频率之间的关系。通常用规定的调制频率比规定的调制基准频率低若干 dB 表示。

说明：VCXO 频率压控范围频率响应为0~10kHz。

频率压控线性：与理想（直线）函数相比的输出频率-输入控制电压传输特性的一种量度，它以百分数表示整个范围频偏的可容许非线性度。

说明：典型的 VCXO 频率压控线性为： $\leq \pm 10\%$ ， $\leq \pm 20\%$ 。简单的 VCXO 频率压控线性计算方法为(当频率压控极性为正极性时)：

频率压控线性 $= \pm ((f_{\text{max}} - f_{\text{min}}) / f_0) \times 100\%$

$f_{\text{max}}$ ：VCXO 在最大压控电压时的输出频率

$f_{\text{min}}$ ：VCXO 在最小压控电压时的输出频率

$f_0$ ：压控中心电压频率

单边带相位噪声  $\mathcal{L}(f)$ ：偏离载波  $f$  处，一个相位调制边带的功率密度与载波功率之比。

输出波形：从大类来说，输出波形可以分为方波和正弦波两类。

方波主要用于数字通信系统时钟上，对方波主要有输出电平、占空比、上升/下降时间、驱动能力等几个指标要求。

随着科学技术的迅猛发展，通信、雷达和高速数传等类似系统中，需要高质量的信号源作为日趋复杂的基带信息的载波。因为一个带有寄生调幅及调相的载波信号（不干净的信号）被载有信息的基带信号调制后，这些理想状态下不应存在的频谱成份（载波中的寄生调制）会导致所传输的信号质量及数传误码率明显变坏。所以作为所传输信号的载体，载波信号的干净程度（频谱纯度）对通信质量有着直接的影响。对于正弦波，通常需要提供例如谐波、噪声和输出功率等指标。

晶振的应用：

晶振式发射机电路。电路中 J、VD 1、L 1、C 3~C 5、V 1 组成晶体振荡电路。由于石英晶体 J 的频率稳定性好，受温度影响也较小，所以广泛用于无绳电话及 AV 调制器中。V 1 是 2.9~3.6 MHz 晶体振荡三极管，发射极输出含有丰富的谐波成分，经 V 2 放大后，在集电极由 C 7、L 2 构成谐振于 8.8~10.8 MHz 的网络选出 3 倍频信号（即 8.7~10.8 MHz 的信号最强），再经 V 3 放大，L 3、C 9 选频后得到较理想的调频频段信号。频率调制的过程是这样的，音频电压的变化引起 VD 1 极间电容



深圳市力拓创能电子设备有限公司

LTCN 力拓 (LITUO)

销售热线：18948758536 TEL: 0755 27231258 FAX: 0755 27231256

E-MAIL: [pbfree@163.com](mailto:pbfree@163.com) 地址：深圳宝安区沙井镇万丰中心路 88 号

的变化，由于V D 1 与晶体J 串联，晶体的振荡频率也发生微小的变化，经三倍频后，频偏是2 9 ~ 3 6 M H z 晶体频偏的3 倍。实际应用时，为获得合适的调制度，可选择调制频偏较大的石英晶体或陶瓷振子，也可以采用电路稍复杂的6 ~ 1 2 倍频电路。若输入的音频信号较弱，可加上一级电压放大电路。

晶振在门电路中晶振两种常用的接法：

1.这种接法的优点就是起振容易，适应频率范围比较宽。具体频率范围本人不记得了。

2.这种接法的优点接法简单，缺点是不那么容易起振，C1，C2要合适。

来自: <http://hi.baidu.com/a1runner/blog/item/3b527a44939b192bcffca3bd.html>



深圳市力拓创能电子有限公司

LTCN 力拓 (LITUO)

销售热线: 18948758536 TEL: 0755 27231258 FAX: 0755 27231256

E-MAIL: [pbfree@163.com](mailto:pbfree@163.com) 地址: 深圳宝安区沙井镇万丰中心路 88 号