

晶振电路该如何测试？

首先，我们需要评估一个晶振电路到底 OK 不 OK，如果设计不合理，就会造成电路工作异常，为了选择最佳的电路参数，需要对下面三项内容进行测量评估：

- 1、振荡余量
- 2、激励功率
- 3、振荡频率相对偏差

| 评估项目 | 项目说明 | 影响 |
|----------------|---------------------------------|--------------------|
| 振荡余量 | 到振荡停止的余量，用谐振器共振相对规格值的倍数来表示 | 影响振荡稳定性 |
| 激励功率 | 由谐振器的功耗W（瓦）来表示 | 影响振荡稳定性 影响频率稳定性 |
| 振荡频率 频率相对偏差 | 成品上的频率相对于晶振制造商 检查电路上的频率之间的偏差 | 影响频率稳定性 |

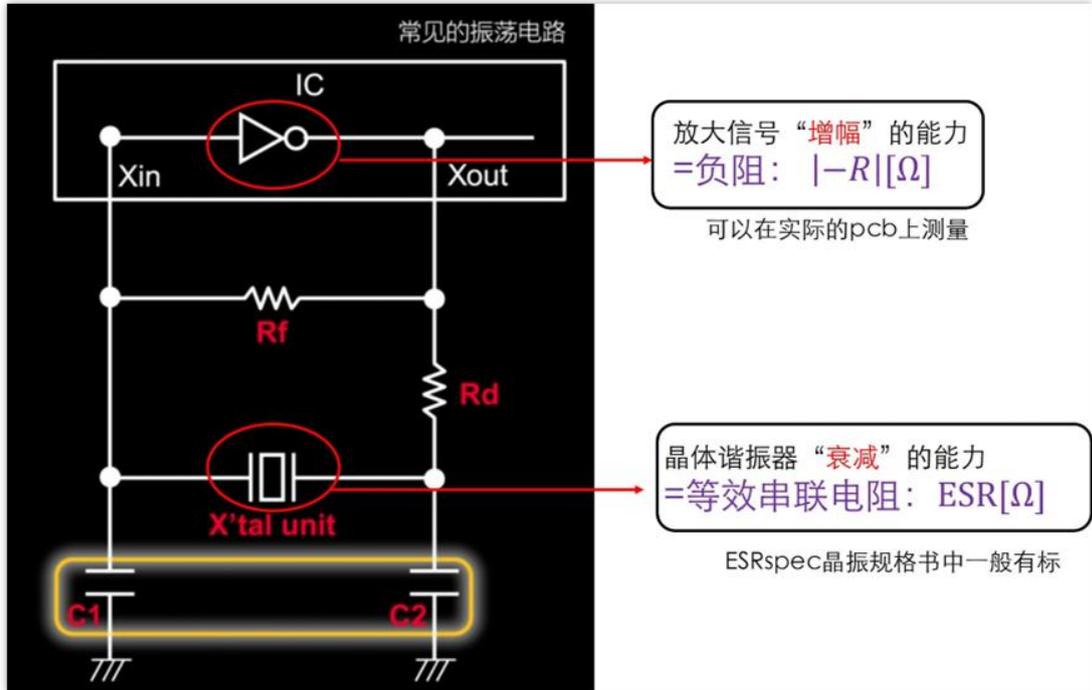
振荡余量是一个倍数，它等于晶体谐振器的负阻除以晶体谐振器的等效串联电阻。理论上，振荡余量有 1 倍以上就可以起振，但是当振荡余量接近 1 倍时，偶尔可能发生不振荡的情况。

$$\text{振荡余量} = \frac{\text{负阻}}{\text{晶振等效串联电阻}} = \frac{|-R|}{ESR_{spec}}$$

为了稳定起振，一般要求振荡余量大于 5 倍。

负阻可以看成是放大器放大信号的放大能力，负阻的大小需要在实际电路中测量得到。负性阻抗不是晶振的内置参数，而是振荡电路的一项重要参数。

而等效串联电阻 ESR_{spec} 会消耗能量，可以理解为阻碍信号放大的阻力。 ESR_{spec} 一般在晶振规格书手册中有标注大小。



测量负阻方法:

常见的振荡电路

负阻的测量方法

**负阻 $|-R| [\Omega]$
= $R_s \max. + R_e$**

R_e 附加串联电阻的最大值 (在实际的PCB上测量)

$R_e \cong ESR \left(1 + \frac{C_0}{C_s}\right)^2$

ESR, C_0 : 谐振器的等效电路参数
 C_s : 负载电容(为了简单化,这次使用的是晶体谐振器的产品规格)

晶体旁串联贴片电阻

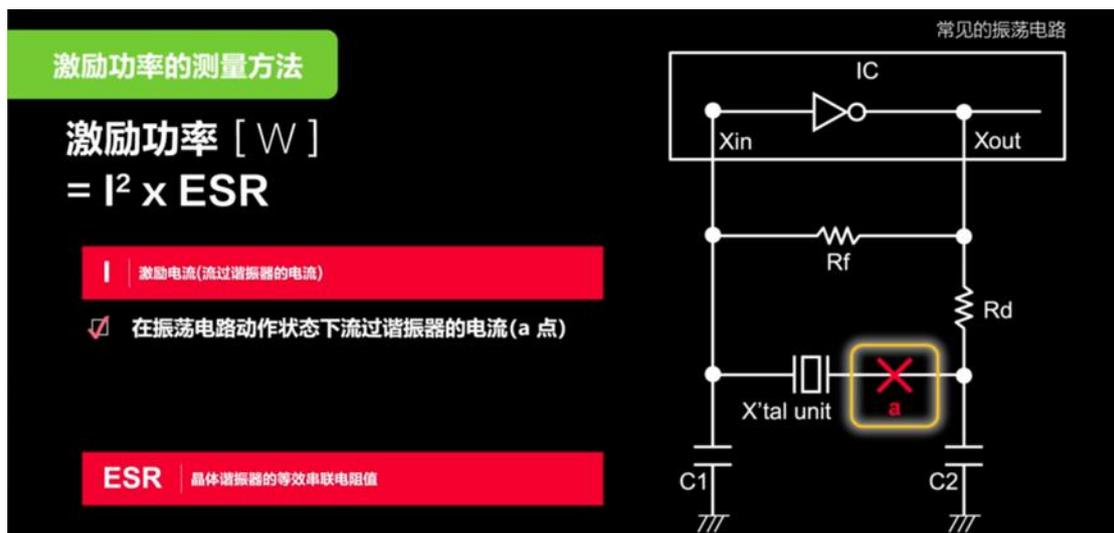


- 1、将电阻 R_s 串联到晶体谐振器上面，逐步增大这个电阻，直到晶振还可以振荡的极限为止，此时的阻值大小为 R_{smax} 。
- 2、根据晶振手册中的参数计算 R_e ， $R_e \approx ESR * (1 + C_0 / C_s)^2$ 。其中 ESR 为谐振器的等效串联电阻， C_0 为晶体谐振器的 shunt capacitance， C_s 为晶振的负载电容，这三个参数一般都在晶体谐振器规格书手册中有标注。

激励功率的测量：

激励功率指的是晶体谐振器的功耗。晶振厂家一般都会在产品手册中标注这个参数 DL ，如果实际电路中，晶振的实际功耗大于手册中标准的 DL ，那么就过驱动了，存在风险，可能会引起频率和等效串联电阻的意外变化。

测量方法：

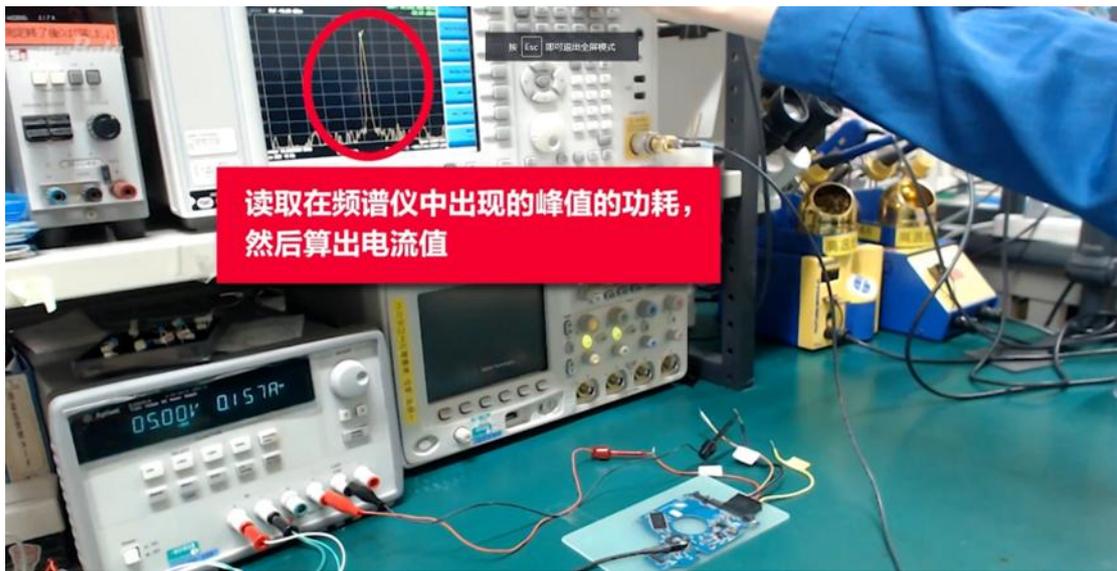


使用电流探头，并使用示波器或频谱分析仪等仪器，测量数据来计算上图中 a 点的电流值。

1、接入电流探头



2、读取频谱仪中的功耗，然后计算电流值



3、计算

激励功率的计算例

激励功率
 $= (1.019\text{mA}_{\text{RMS}})^2 \times 50\Omega = 51.9\mu\text{W}$

激励功率 [W] = $I^2 \times \text{ESR}$

通过频谱分析仪测量激励电流的时候
 电流探头的特性(灵敏度): $5\text{mV}/\text{mA}$ (CT-6, Tektronix) (50Ω)
 测出来的电力值水平例 = -32.85dBm 的时候

$$I = \frac{1}{5} \times 0.2236 \times 10^{\frac{-32.85 [\text{dBm}]}{20}} = 1.019 [\text{mA}_{\text{RMS}}]$$

ESR例 = 50Ω (出自于产品的等效电路常数)

! 在通过频谱分析仪测出的电力水平来计算电流量的时候, 需要注意电流探头的规格

振荡频率的测量方法:

振荡频率是指晶振在电路中实际工作的频率, 决定振荡频率的主要因素是晶振的特性, 但是, 实际的振荡频率也受下面因素的影响:

- 1、芯片的特性
- 2、外部匹配电容的容量
- 3、PCB 的杂散电容

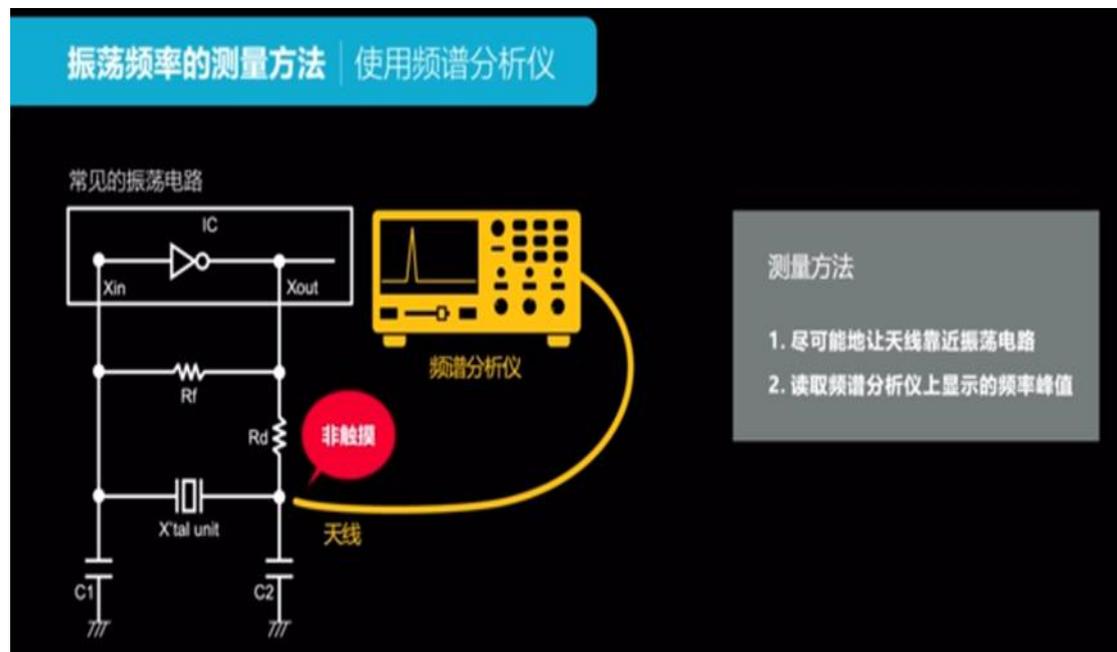
面临的一个比较大的问题就是：如果用探头直接接触振荡电路进行测量，是无法精确测量频率的，因为会引入电容，所以，一定要通过非接触式的方式来进行测量。

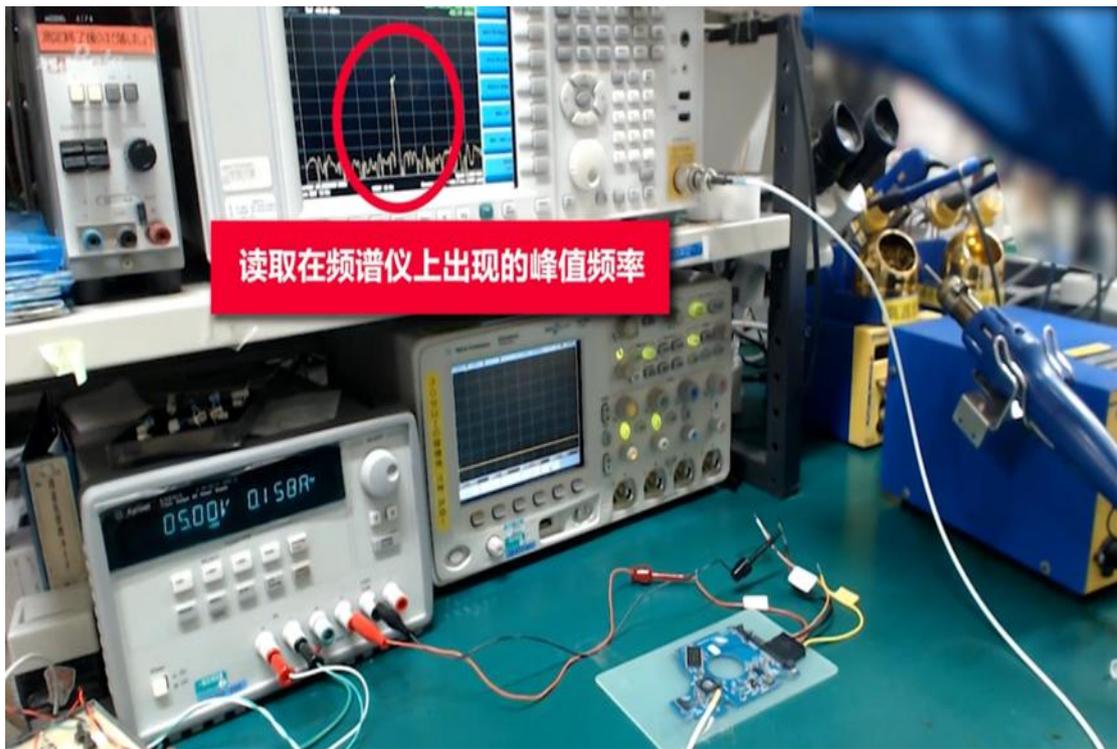
测量仪器：

1、频谱分析仪

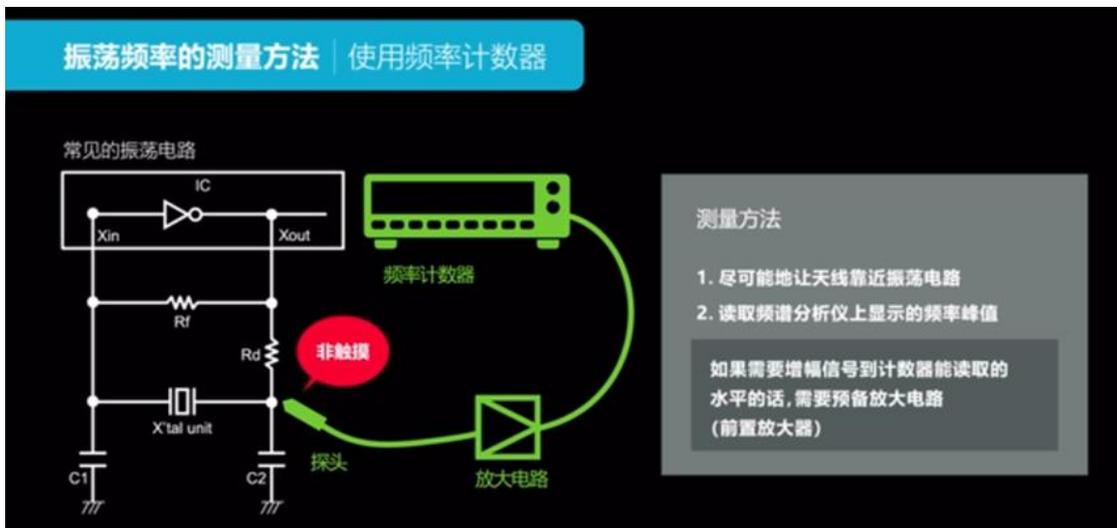
2、频率计数器

用频谱分析仪时，使用非接触式的天线来接收信号，读取频谱分析仪显示的峰值处的频率。





使用频率计数器时，也需要用非接触模式来测量，但是通常需要增幅信号到计数器能读取的水平，所以需要预备放大电路。



所以实际在 PCB 上测量频率的时候，即使使用同一个晶振，也可能跟晶振厂家的 PCB 上测量的频率不一样，这个偏差就是振荡频率相对偏差（并非相对晶振标称值频率的频偏）。

如果在频率偏差较大的状态下使用，有可能使得实际的振荡频率超出可以容纳的范围，进而导致产品工作有问题。

什么是振荡频率相对偏差

实际的振荡频率会受以下因素的影响

- 放大电路的特性
- 外部负载电容
- PCB 的杂散电容

↓

即便使用的是同一个谐振器也会发生的振荡频率叫振荡频率相对偏差

⚠ 如果在频率偏差较大的状态下使用的话，有可能使得实际的振荡频率超出可以容纳的范围，导致您的产品的工作发生问题

如果需要较高的频率精度，就需要格外注意频率偏差！必须把这个相对偏差加上谐振器的规格偏差（产品规格书手册中的频偏），来判断是否能把频率调整在希望的范围内。自然是要调整电路，能调整的器件不多，主要是 2 个：

- 1、首先通过调整负载电容 C1/C2（匹配电容）来调整振荡频率到合适值
- 2、再通过调整 Rd 来将振荡余量和激励功率调到合适的值。

负载电容可变的时候

Rd (阻尼电阻): 330Ω 固定
C1, C2 (外部负载电容): 可变

| Rd (固定) | 330Ω | 330Ω | 330Ω |
|---------|---------|-------|---------|
| C1, C2 | 8pF | 10pF | 12pF |
| 振荡频率 | +6.2ppm | 标准值 | -5.8ppm |
| 激励功率 | 110μW | 135μW | 165μW |
| 振荡余量 | 7.6倍 | 6.8倍 | 5.2倍 |