

电路板中晶振故障分析

许文博 马 星 薛 姣

西安铁路信号有限责任公司 陕西西安 710100

摘要: 本文分析了某计算机联锁系统电路板中晶体振荡电路的原理、输入输出波形以及晶振的失效现象, 通过故障晶振的关键参数分析晶振可能存在的缺陷。最后通过密封性、晶片结构、电极结构、开封等检测手段分析晶振的失效原因和故障特性。

关键词: 晶振; 振荡电路; 谐振电阻

Analysis of vibration fault in circuit board

Xu Wenbo, Ma Xing, Xue Jiao

Xi 'an Railway Signal Co., Ltd. Shaanxi Xi' an 710100

Abstract: In this paper, the principle, input and output waveforms, and the failure of crystal oscillators in the circuit board of a computer interlocking system are analyzed. The possible defects of the faulty crystal oscillator are analyzed by the key parameters of the faulty crystal oscillator. Finally, the failure causes and fault characteristics of crystal vibration are analyzed by means of sealing, wafer structure, electrode structure, and opening.

Keywords: Crystal Oscillator; Oscillation Circuit; Resonant Resistance

一、晶体振荡电路的原理

某计算机联锁系统电路板中应用皮尔斯并联谐振电路, 使用无源晶振为PHY芯片提供稳定的时钟信号, 电路原理如图1所示, 利用芯片内部的反相提供 180° 相移, 匹配电容C1、C2和晶振Y1组成反馈网络, 提供另一个 180° 相移, 满足振荡电路的移相标准^[1]。振荡电路的工作频率处于串联等效电路与并联等效电路之间时, 晶振工作在感性区域, 相当于电感, 与电容构成三点式选频网络^[2]。反馈电阻R1保证反向放大器的静态工作点, 使晶振可靠起振, 得到稳定的输出频率^[3]。

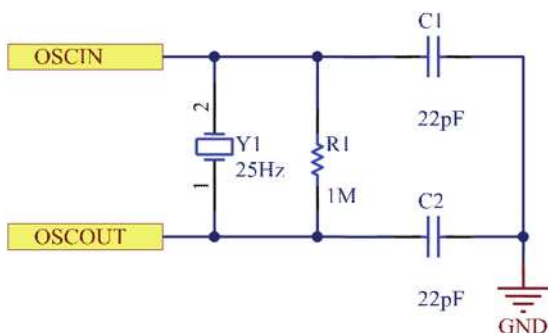


图1 晶体振荡电路的原理

晶振正常工作的输入、输出信号如图2所示, 其中CH1为晶振输出信号, CH2为晶振输入信号。晶振的输入和输出信号的振幅和频率相同(频率为25MHz, 振幅为2.3V), 相位相差 180° , 且经过晶振滤波的输出信号明显比输入信号更接近正弦波, 谐波分量更少。

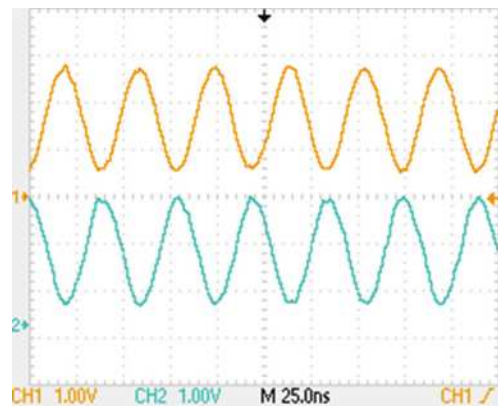


图2 输入、输出信号波形

二、电路板故障现象及理论分析

在电路板的检验过程中发现部分电路板不能正常工作, 无网络通信信息, 进一步测试发现时钟信号振幅偏小, 只有1.28V。更换晶振后时钟信号正常, 电路板也恢

复工作，因此判定为晶振故障。

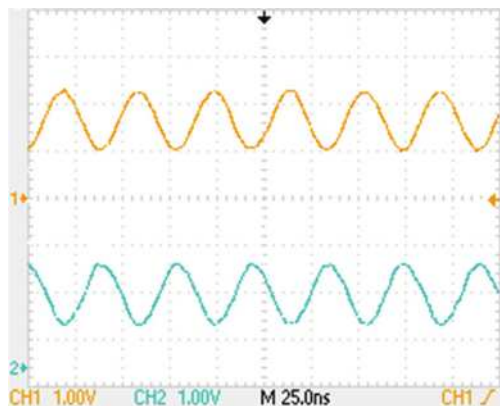


图3 故障电路板中晶振输出信号波形

使用石英晶体网络分析仪测量故障晶振，测试数据如表1所示，其中FL/MHz为负载频率，FL/ppm为频率偏差，RR为谐振电阻， C_0 为静态电容，DLD2为最大谐振电阻与最小谐振电阻之差，FDLD为最大串联频率与最小串联频率之差，RLD为最大电阻值。从表1可看出故障晶振的谐振电阻明显偏大，谐振频率偏离标称值较大。谐振电阻直接影响着晶振的品质因数，也确定振荡电路中晶振振荡的幅度，可见导致晶振输出波形振幅降低以及电路板不工作的原因是谐振电阻偏大。

表1 故障晶振与正常晶振参数对比

| 样品 | FL/MHz | FL/ppm | RR/ Ohms | C_0 /pF | DLD2 | FDLD | RLD |
|------|-----------|---------|-------------|-----------|------|------|------|
| 故障晶振 | 24.973199 | -1072.1 | 53.4 | 1.3 | 2 | 2.5 | 55.2 |
| 正常晶振 | 24.994734 | -210.7 | 9.2 | 1.9 | 2 | 2.2 | 10.6 |

从表1中故障晶振的参数，初步判断晶振的故障原因如下：

1) DLD2、FDLD表示在给定功率范围内测出的电阻和频率的变化值，主要衡量晶振的谐振稳定性，代表了晶片的材料和制造工艺的水平，故障晶振的DLD2、FDLD两项参数与正常晶振一致，可初步判定晶片完好，无缺陷。

2) 静态电容 C_0 主要是银电极之间的电容，主要取决于电极面积、电极之间的距离和晶片的材质。故障晶振的静态电容 C_0 较正常晶振偏小，说明晶片两侧的银电极存在缺失或脱落的可能性。

3) 谐振电阻RR是谐振频率处晶片的等效电阻与电极、连接点等的电阻之和。故障晶振的谐振电阻RR明显偏大，同时最大电阻值RLD也同步增大，结合前两条分析，可得出导致RR和RLD偏大的主要原因为银电极损伤或连接处接触不良。

4) 负载频率是在给定的负载和电容条件下测出的频率，当晶振自身的谐振电阻和静态电容出现偏差后，会相应影响负载频率的结果。

综上所述，导致晶振输出波形振幅降低以及电路板不工作的原因是谐振电阻偏大，而导致谐振电阻偏大的主要因为银电极损伤或连接点存在接触不良导致的。

三、晶振失效的物理分析

晶振是利用石英材料的压电效应，将石英按照特定的角度切割成特定厚度的晶片，使其具有特定的频率特性，在晶片的两侧分别镀上银电极，再将镀有银电极的晶片粘到陶瓷底座上，最后使用金属外壳密封，并在密封的腔体内充入氮气，以保证晶片的正常振动^[4]。为分析晶振的故障原因，对失效的晶振做进一步检测。

3.1 通过X射线检测系统检查晶片，未发现明显损伤。

3.2 通过粒子碰撞噪声检测试验，测试内部壳体内部，测试方法依据GJB548B-2005电子器件试验方法和程序中方法2020.1，结构未发现内部存在可移动的自由粒子。

3.3 对失效晶振进行密封试验，检查失效晶振的气密性。测试方法依据GJB548B-2005中方法1014.2，在粗检漏试验中，试验压力517KPa时发现失效晶振边缘同一位置有一串明显的气泡，说明失效晶振的气密性不符合要求。密封性失效后，晶片及银电极暴露在空气中，容易被空气中的氧、硫等元素腐蚀。

3.4 为检查内部的结构组装、连接结构是否符合要求，是否存在与失效模式有关的内部结构异常或缺陷，确定失效位置，对晶振进行开封。发现晶片的电极存在明显的颜色差异，在5.04Kx的显微镜下观察发现变色区域银电极镀层疏松，形成大量空洞，如图4所示，其中左侧区域为正常银电极，右侧区域为出现空洞的部分。对空洞区域进行能谱分析，发现空洞区域银含量较低，且氧含量明显高于正常区域。说明晶片镀层发生了氧化反应。

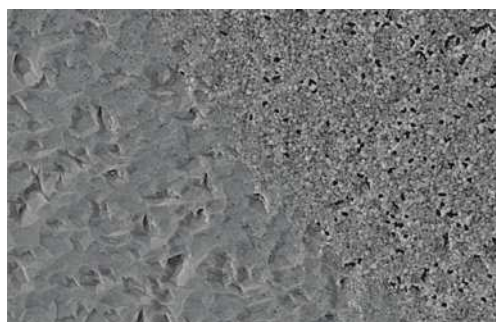


图4 失效晶振银电极在5.04Kx的显微镜下照片

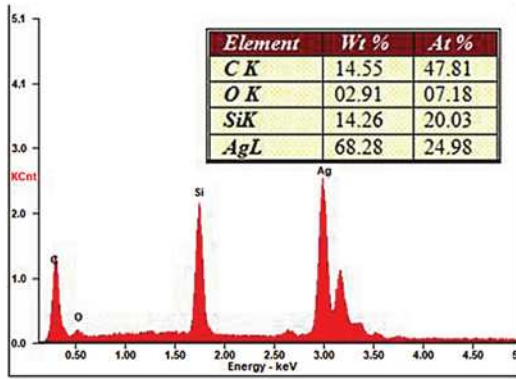


图5 正常区域能谱分析结果

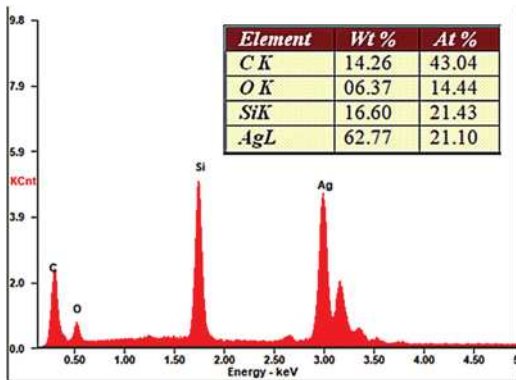


图6 空洞区域能谱分析结果

3.5对故障晶振晶片表面的银电极进行附着力测试,结果显示,晶片表面的银电极有大片脱落,露出石英基材,如图7所示。

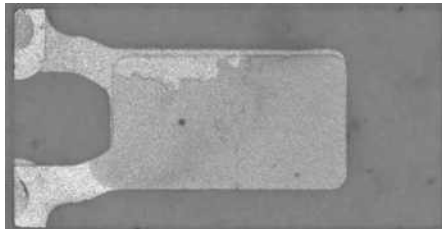


图7 晶片银电极附着力测试结果

综上所述,晶振失效的根本原因是密封性失效后,暴露在空气中的银电极被氧化,其内部变得疏松,附着力下降,甚至会从晶片脱落,导致银电极与晶片的有效接触面积减小,导致晶振的等效串联谐振电阻增大,等效电容减小;同时当银镀层的结构方发生变化,会影响晶片的压电特性,导致晶振的谐振频率偏差。

四、结论

通过X射线检查、粒子碰撞噪声检测、密封性检测以及开盖测试,发现某公司晶振在密封工序中存在缺陷,导致银电极被腐蚀。造成晶振的谐振电阻偏大,负载频率偏差较大。影响晶体振荡电路的振幅,最终导致板卡无法正常工作。同时,银电极被腐蚀后附着力下降,长时间暴露在空气中存在脱落的风险。

参考文献:

- [1]邵颖飞,鲁征浩.基于皮尔斯振荡器的8MHz晶振电路设计[J].电子与封装.2021,21(2):020303.
- [2]张筱,樊超.带自动振幅检测控制的皮尔斯晶体振荡电路设计[J].电子设计工程.2019,27(4):118-121.
- [3]秦缤,李天望.一种自动振幅控制的快速起振晶体振荡器设计[J].中国集成电路.2021,30(10):34-37,41
- [4]杨军,张其善,吴今培.嵌入式石英晶体网络分析仪的设计和实现[J].测试技术学报.2003,17(2):165-169