

类别	内容
关键词	ZSL64A1、无源晶振、频偏校准
摘要	ZSL64A1 无 MCU 无源晶振 SiP 模组频偏校准指南

ZSL64A1 无 MCU 无源晶振 SiP 模组频偏校准指南

LoRa SiP 模组系列

修订历史

版本	日期	原因
V1.0.00	2023/1/11	创建文档

ZSL64A1 无 MCU 无源晶振 SiP 模组频偏校准指南

LoRa SiP 模组系列

目 录

1. 适用范围.....	1
2. 原理概述.....	2
3. 测试环境.....	4
3.1 频谱仪测试.....	4
3.2 金版测试.....	4
4. 技术实现.....	5
4.1 频谱仪校准.....	5
4.2 金版校准.....	8
4.3 注意事项.....	10
5. 免责声明.....	11

ZSL64A1 无 MCU 无源晶振 SiP 模组频偏校准指南

LoRa SiP 模组系列

1. 适用范围

本文档目前适用于采用无源晶振的未集成 MCU 的 Lora SiP ZSL64A1 的频偏校准；

ZSL64A1 无 MCU 无源晶振 SiP 模组频偏校准指南

LoRa SiP 模组系列

2. 原理概述

在工业应用场景，低速窄带并且需要传输较大的数据包，由于发射机 Tx OP 长时间工作，会导致 RF PA 持续发热，会影响晶振的频偏，从而导致 LoRa 的载波频率发生更严重的频率偏移（主要是时钟源的倍频），在传输过程中 PER 就会加大，此时应该选用有源晶振。但选用有源晶振需要增加对应的功耗，晶体起振的时间增加，并且成本会提高，所以要做出相应的选取有源晶振或无源晶振。

ZSL64A1、ZSL64B2、ZSL64C3 是三款内置无源晶振的 LoRa 前端 SiP 模组，该系列芯片集成无线收发器、射频收发匹配电路和时钟源。支持 LoRa、(G)FSK 等调制方式，用户只需外接 50 欧姆阻抗标准天线，即可实现无线收发功能，其内部构成如图 2.1 所示。

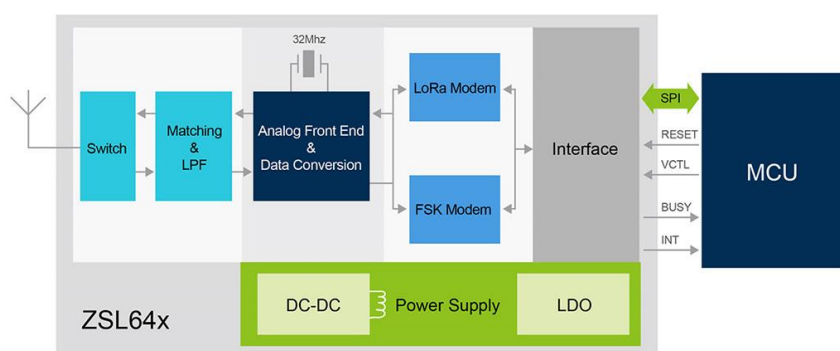


图 2.1 ZSL64x 功能框图

相比于采用了有源温补晶振的 ZSL64A2、ZSL64B3、ZSL64C4 而言，采用无源晶振的 ZSL64A1、ZSL64B2、ZSL64C3 具有低成本、启动时间短和更低功耗的优势

但相应的，由于无源晶振对温度的敏感性，通常情况下无源晶振的频偏、温漂和一致性都不如有源温补晶振，所以也就存在着基础频率偏移的问题，对信号质量要求高的用户就需要在终测阶段修正产品的频偏，由于 ZSL64x 系列芯片内部并未集成 MCU，所以这一校准工作必须在终端进行，并将测试所得的校准数值写入终端的 MCU 中保存，以供每次上电时校准使用。当然，若不进行频偏校准也可以使用我们的推荐参数进行校准，但由于我们的推荐参数是基于整个批次的产品，因此对个体而言并不是最优的选择。

ZSL64A1、ZSL64B2、ZSL64C3 三款模组推荐的使用场景为：

- 1、低功率场景，通常发射功率不超过 14dBm
- 2、室内高功率设备，发射功率超过 14dBm，但是在 PCB 设计上有良好的散热措施，或者具备在线频偏条件功能的产品；
- 3、适用于大多数使用 LoRaWAN 的室内/室外终端设备，终端与已知具备高精度时钟的网关通信，且综合频偏满足 LoRa 通信需求。

ZSL64A1 无 MCU 无源晶振 SiP 模组频偏校准指南

LoRa SiP 模组系列

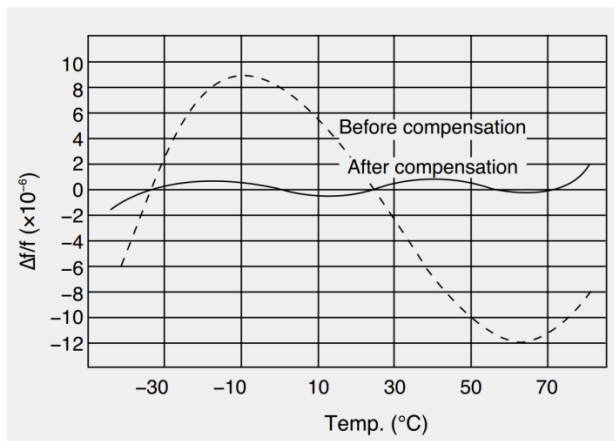


图 2.2 无源晶振与有源晶振频偏示意图

对比项	有源晶振 LoRa 模块	无源晶振 LoRa 模块
成本	有源晶振成本较高	无源晶振成本较低
电容值设置 (静态频率偏移)	有源晶振精度高，误差小，基本不存在静态频率偏移，因此不需要繁琐的设置电容值的操作	无源晶振精度低，误差大，且易受周围器件与 PCB 设计影响实际的输出频率，存在静态频率偏移。需要通过一定的操作寻找合适的电容值，在软件驱动中合适的位置设置该电容值以消除静态频率偏移
受温度影响程度 (动态频率偏移)	有源晶振存在温补电路，基本不受外界温度影响	无源晶振存在温漂，在低速且发送长字节数据时，温度升高会影响到实际输出频率，引起动态频率偏移。需要开启低数据速率优化，或者通过降低传输速率、减少发送字节数、降低发射功率等方法消除动态频率偏移。 为了消除动态频率偏移，会另外产生一定的负面影响，需要在性能与实际应用中进行权衡。 如开启低数据速率优化后，会增加空中传输时间。
低速下通信能力	作为发送端，即使使用 SF12、BW62.5kHz 最低速的组合，依然可以正常通信	作为发送端，使用 SF12、BW62.5kHz 最低速的组合，即使开启了低数据速率优化，大多数情况下依然无法正常通信
功耗	接收模式与发送模式下，比无源晶振 LoRa 无线模块大 0.5~3mA	接收模式与发送模式下，比有源晶振 LoRa 无线模块功耗小

表 2.1 有源晶振产品与无源晶振产品对比

3. 测试环境

校准可大致分为两种方案，用户可结合自身终测产线的条件选择适合自己的方案：

3.1 频谱仪测试

推荐优先采用频谱仪进行测试，测试结果更加精准，所需设备为一台能覆盖所测样片的信号频段的频谱仪，由于 LoRa 产品发射功率较高，直接暴露在正常环境中测试即可，一般来说测试 TX 功率及频偏是不需要放入屏蔽箱中进行测试的，测试环境配置完成后同时配合用户端开发平台按照频偏校准流程进行校准即可。

3.2 金版测试

用户使用金版（Golden Unit）进行校准测试，按照 4.2 章节校准流程及算法进行校准，得出校准电容值，金版可由以下两种方式得到：

- 1、用户按照 4.1 章节流程使用 ZSL64A1 利用频谱仪测试得出；
- 2、使用内置 TCXO 的 ZSL64A2 作为金板无需额外校准（推荐）；
该测试方法优势在于不需要额外的仪器设备，按照算法校准即可；

4. 技术实现

校准时应注意，CAP_SET 值取值范围为 0-47 之间的整数，通常情况下只需要用到 2-20 即可。

4.1 频谱仪校准

4.1.1 测试环境

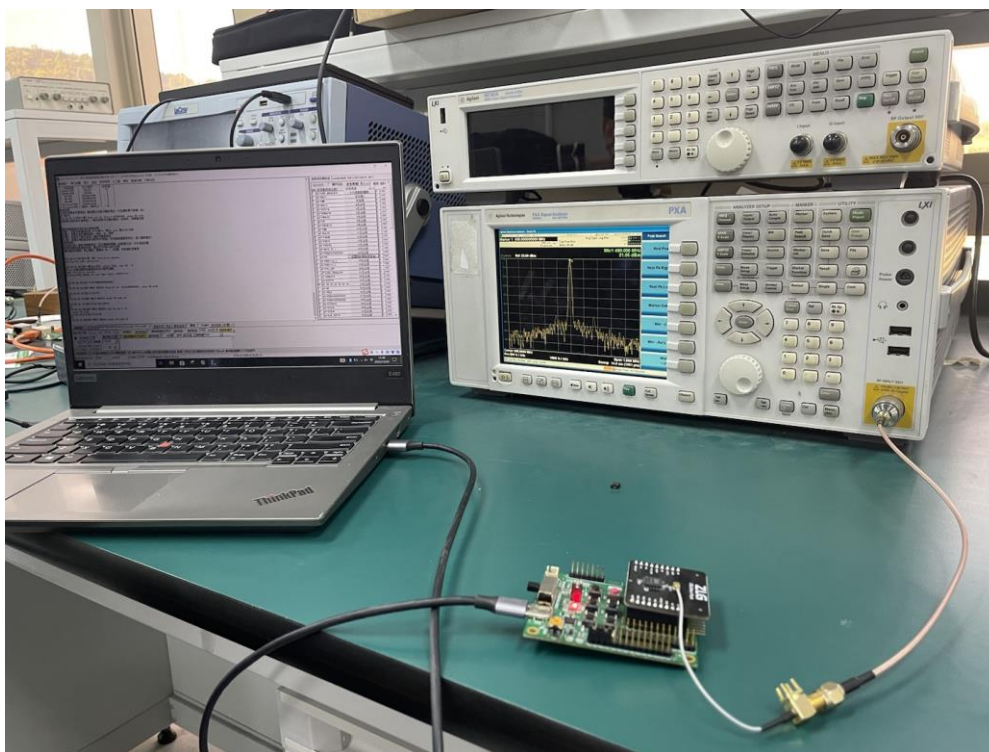


图 4.1.1 频偏校准测试环境

测试用到的仪器有：频谱仪*1、被测样片*1、测试上位机*1；

4.1.2 校准步骤

1、将 DUT（被测样片）的天线输出口接到频谱仪上，操作上位机设置 DUT 的信号频点，各型号推荐的校准点如下：

型号	ZSL64A1	ZSL64B2	ZSL64C3
推荐频点	490MHz	864.5MHz	915MHz

表 4.1.1 推荐校准频点

若存在偏向某个频点的特殊应用，建议使用实际应用中所采用的中心频率进行校准，从而保证实际应用的效果。例如 ZSL64A1 的全带宽范围是 470-510MHz，通用型应用则直接采用中心频率 490MHz 进行校准，而假若实际应用频率范围是 480-490MHz，则可采用 485MHz 频点作为校准点。（`radio_freq_set(handle, 490000000)`）

2、设置 DUT 为单载波模式进行频偏测试（`radio_mode_set(handle, CW_MODE)`），此时频谱仪上应看到步骤 1 设置的频点处出现信号尖峰，按下频谱仪的 Peak Search 锁定实际峰值频点；

ZSL64A1 无 MCU 无源晶振 SiP 模组频偏校准指南

LoRa SiP 模组系列

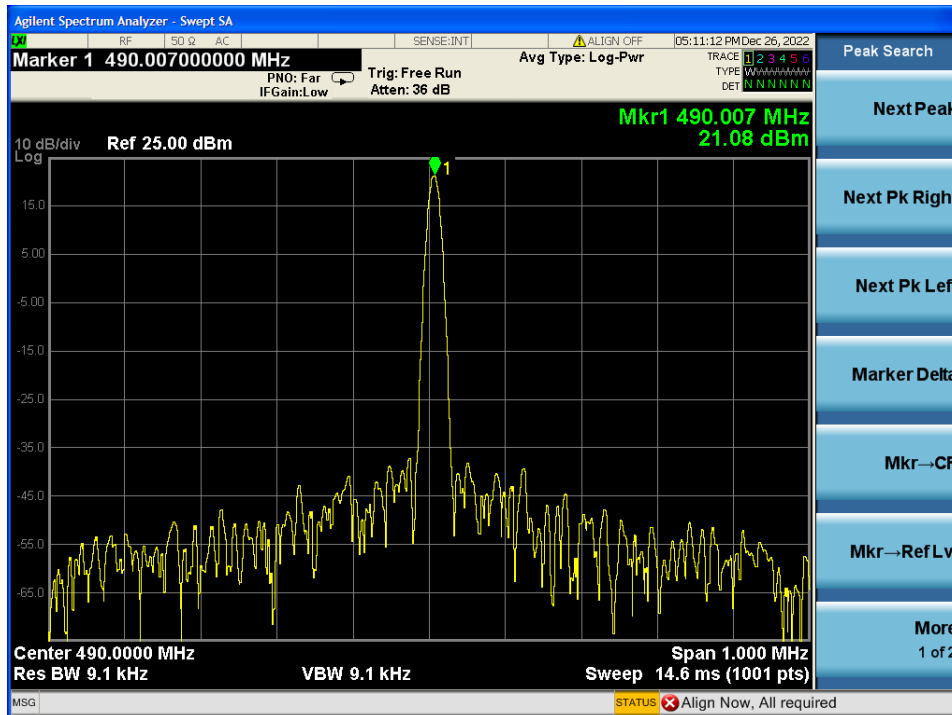


图 4.1.2 调整电容值前实际频点（ZSL64A1）

3、调整内部频偏电容值，直到频偏符合要求，一般微调后频偏在 $\pm 3\text{kHz}$ 范围内都是可接受的；

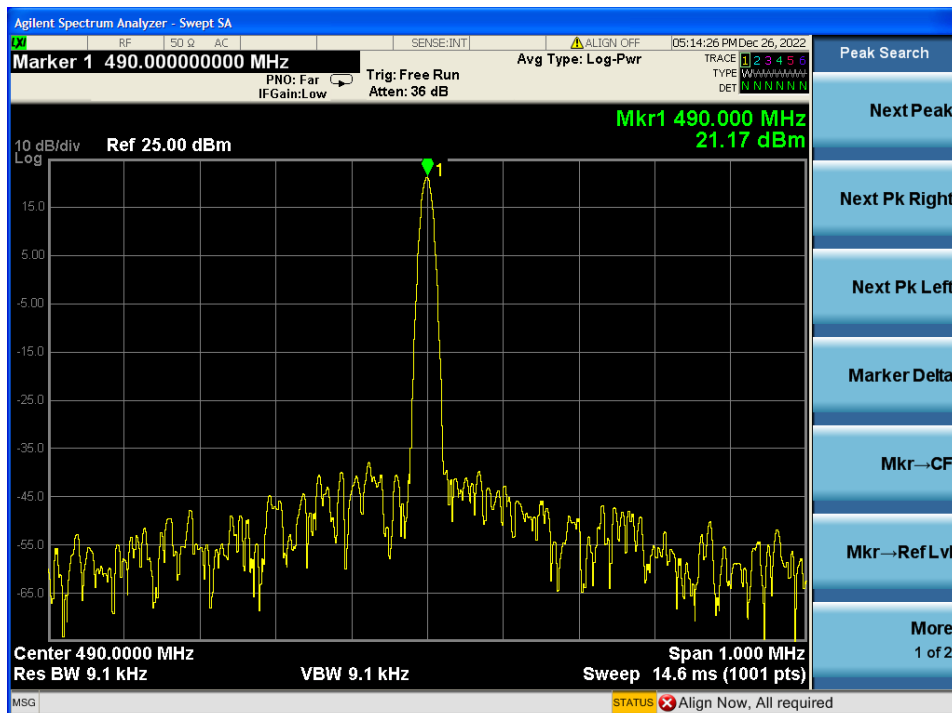


图 4.1.3 调整电容值后实际频点（ZSL64A1）

4、调整电容值达到频偏要求后，记录下设置的 CAP_SET 值，作为该被测样片的校准值存储在 MCU 中，供后续每次上电时设置使用，在本示例中将 CAP_SET 值设置为 6 后再次发单载波测试频偏即符合标准；

ZSL64A1 无 MCU 无源晶振 SiP 模组频偏校准指南

LoRa SiP 模组系列

```
95 void demo_zm4xx_polling_entry (radio_handle_t handle)
96 {
97     int      ret;
98     uint8_t  len      = 0;
99     uint16_t pkt_size = 0;
100    uint16_t  i        = 0;
101
102    __gp_handle = handle;
103
104    /*
105     * 设置频率等参数需要先进入待机模式，否则有可能设置不成功或
106     * 模块无法工作(多线程使用请加锁保护该接口)
107     */
108    radio_mode_set(handle, STANDBY_MODE);
109
110    /* 设置为接收模式(多线程使用请加锁保护该接口) */
111    radio_mode_set(handle, RX_MODE);
112
113    /* 初始化按键中断 */
114    mcu_sw1_int_init(__sw1_int_handle);
115    mcu_sw2_int_init(__sw2_int_handle);
116
117    radio_freq_set (handle, 490000000); //Set Frequency at 490MHz
118    radio_mode_set(handle, CW_MODE);   //Enter CW mode to measure frequency drift
119
120    uint8_t cap = 6; //Define cap value cap=5(default)
121    radio_ioctl(handle, CAP_SET, &cap); //Config ZSL64x's trimming cap value
122    radio_mode_set(handle, CW_MODE);   //Enter CW mode to measure frequency drift
123
```

图 4.1.4 SDK 中操作修改电容值测试示例代码

如图 4.1.4 所示，使用频谱仪进行频偏校准时可按照高亮区域代码进行操作，应注意，在产品正式代码中仅需在完成 ZSL64x 的初始化后配置一次电容值即可，无需切换频率或工作模式。

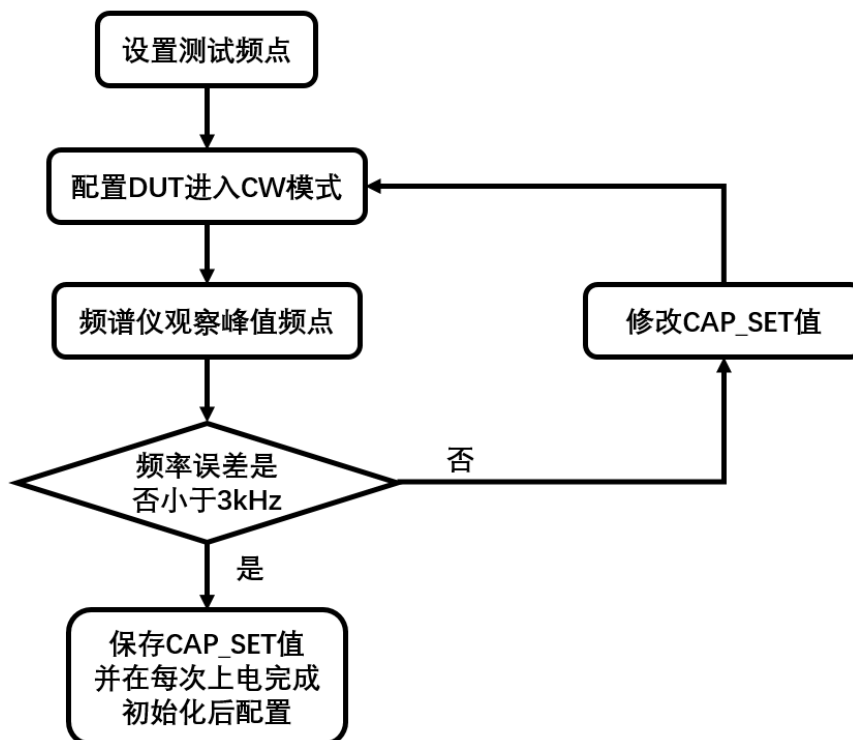


图 4.1.5 频谱仪频偏校准流程

ZSL64A1 无 MCU 无源晶振 SiP 模组频偏校准指南

LoRa SiP 模组系列

4.2 金版校准

按照 4.1 的步骤完成频偏校准后，得到的样片即可作为金板使用。在量产测试中，若不方便针对每一片样片都进行频谱仪校准，则可采用已校准好的金版按照下述流程进行量产校准，由于各用户终端平台的不同，在此只给出逻辑流程图，在实际生产应用中若遇到技术问题可联系我方 FAE 协助解决；

校准需要材料：已完成校准的带 MCU 的成品 LoRa 产品*1（简称 GU），待测产品*1（简称 DUT）；

注：若想省略之前的使用频谱仪校准金板的步骤，可以使用内置 TCXO 的产品当做金板，对于 ZSL64A1 来说可以使用 ZSL64A2 作为金板，无需校准。

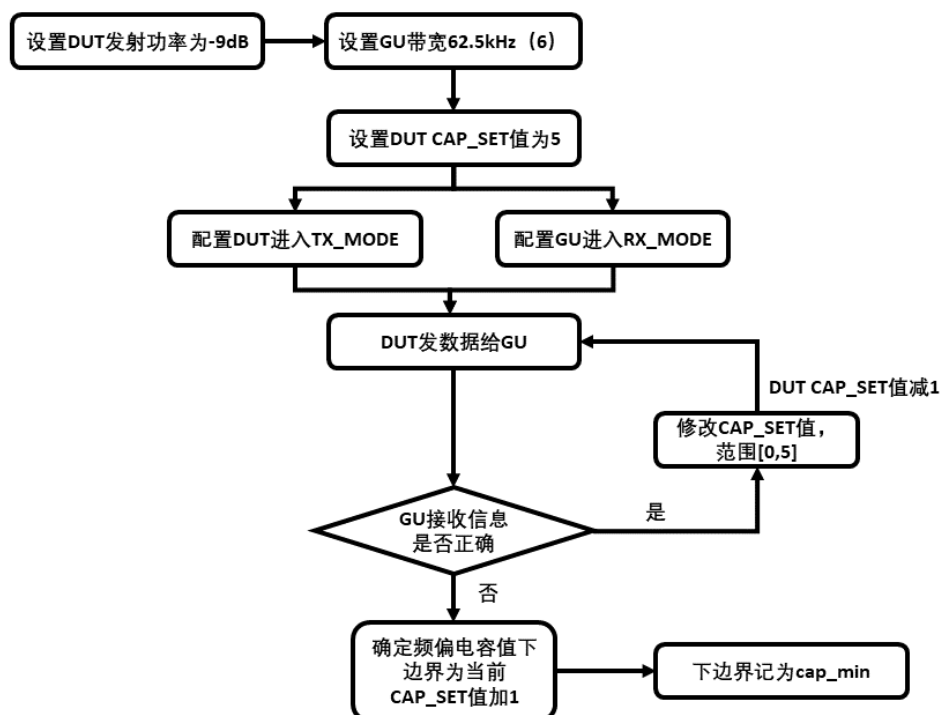


图 4.2.1 DUT 确定下边界流程

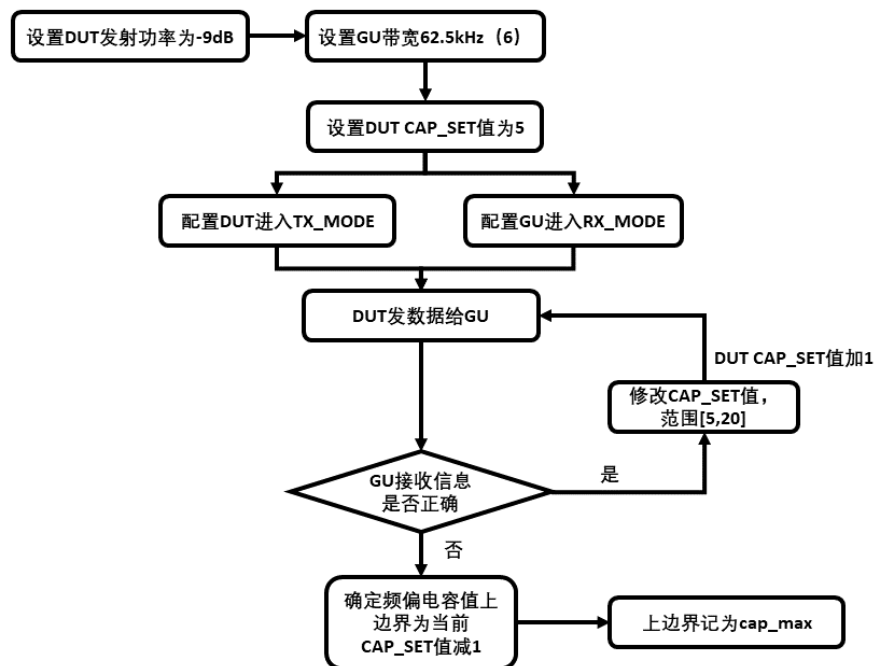


图 4.2.2 DUT 确定上边界流程

```

#include "math.h"

#define __CAP_MAX_BORDER 13 /* 电容值最大值判定边界 */
#define __CAP_TEMP_BASE 6 /* 最终电容值取整方法的基准值 */
#define __CAP_DEFAULT 5 /* 电容值初始值 */

/*
 * 参数1 cap_min: 允许通信的电容值的最小值
 * 参数2 cap_max: 允许通信的电容值的最大值
 */
static uint8_t final_cap_get (uint8_t cap_min, uint8_t cap_max)
{
    float cap_temp = 0; /* 定义算法中间值 */
    uint8_t cap_final = 0; /* 最终设置电容值 */

    if (cap_max > __CAP_MAX_BORDER) {

        cap_temp = ((float)cap_max + (float)cap_min) / 2 - 2;

        if (cap_temp > __CAP_TEMP_BASE) {
            cap_final = (int)cap_temp; //直接去除小数部分, 如6.5 -> 6
        } else {
            cap_final = ceil(cap_temp); //取大于cap_temp值的最小整数, 如5.5 -> 6
        }
    } else {
        cap_final = __CAP_DEFAULT + cap_min;
    }
    return cap_final;
}
  
```

图 4.2.3 DUT 取 CAP_SET 值算法示例

ZSL64A1 无 MCU 无源晶振 SiP 模组频偏校准指南

LoRa SiP 模组系列

由于生产环境的不同,建议终端用户在使用金板校准第一批产品时使用频谱仪做一次抽检,检验校准效果,根据实测结果对算法进行修正;

在得到算法返回的电容校准值之后,将结果存入 MCU 的 Flash 或 EEPROM 中,正常工作上电时读取该结果,并调用调整电容值的 API 以作频偏修正工作,即

```
radio_ioctl( handle , CAP_SET , &cap_final);
```

4.3 注意事项

使用金版进行校准时,建议在 DUT 的 RF 输出端加上一个 60dBm 衰减器,然后通过一条同轴线或在 PCB 上 50Ω 走线直接与 GU 连接,减少信号直接通过空气传输到 GU 所产生的损耗影响测试效果。

如果多个 DUT 同时进行校准测试,必须将每个 DUT 频点错开,避免信号串扰问题,建议间隔 1M 进行并行测试。

测试时,发射功率务必设置到最小,即-9dB,这样可以降低在持续测试中芯片的发热量,提高测试准确性。

目前,本文档所描述的电容计算算法已在 ZSL64A1 上经过大批量测试,计算结果吻合较好,对于同系列的 ZSL64B2\ZSL64C3 这两款无源晶振的产品目前暂无批量验证过,从理论上讲只需要对最终算法计算出的结果乘以某个系数即可,用户如有兴趣可自行尝试。

目前修调频偏电容值的 API 指令仅在 V1.2.5 及以上版本的 SDK 中开放,如用户手上的 SDK 版本为 V1.2.4 及以下版本,需要在我司官网产品资料处自行下载或联系我方 FAE 获取最新版本 SDK。

5. 免责声明

本着为用户提供更好服务的原则，广州致远微电子有限公司（下称“致远微电子”）在本手册中将尽可能地向用户呈现详实、准确的产品信息。但鉴于本手册的内容具有一定的时效性，致远微电子不能完全保证该文档在任何时段的时效性与适用性。致远微电子有权在没有通知的情况下对本手册上的内容进行更新，恕不另行通知。为了得到最新版本的信息，请尊敬的用户定时访问立功科技官方网站或者与致远微电子工作人员联系。感谢您的包容与支持！

诚信共赢 持续学习 客户为先 专业专注 只做第一

广州致远电子有限公司

更多详情请访问

www.zlgmcu.com

欢迎拨打全国服务热线

400-888-2705

