



GR533x功耗测试用户手册

版本： **1.2**

发布日期： **2024-01-16**

版权所有 © 2024 深圳市汇顶科技股份有限公司。保留一切权利。

非经本公司书面许可，任何单位和个人不得对本手册内的任何部分擅自摘抄、复制、修改、翻译、传播，或将其全部或部分用于商业用途。

商标声明

GOODIX 和其他汇顶商标均为深圳市汇顶科技股份有限公司的商标。本文档提及的其他所有商标或注册商标，由各自的所有人持有。

免责声明

本文档中所述的器件应用信息及其他类似内容仅为您提供便利，它们可能由更新之信息所替代。确保应用符合技术规范，是您自身应负的责任。

深圳市汇顶科技股份有限公司（以下简称“GOODIX”）对这些信息不作任何明示或暗示、书面或口头、法定或其他形式的声明或担保，包括但不限于针对其使用情况、质量、性能、适销性或特定用途的适用性的声明或担保。GOODIX对因这些信息及使用这些信息而引起的后果不承担任何责任。

未经GOODIX书面批准，不得将GOODIX的产品用作生命维持系统中的关键组件。在GOODIX知识产权保护下，不得暗或以其他方式转让任何许可证。

深圳市汇顶科技股份有限公司

总部地址：深圳市福田区腾飞工业大厦B座12-13层

电话：+86-755-33338828 邮编：518000

网址：www.goodix.com

前言

编写目的

本文档主要介绍GR533x芯片的功耗模式特性及各种场景下的功耗测试方法及参考测试结果，旨在帮助用户快速了解与评估GR533x芯片的功耗性能。

读者对象

本文适用于以下读者：

- 芯片用户
- 开发人员
- 测试人员
- 技术支持工程师

版本说明

本文档为第3次发布，对应的芯片为GR533x系列。

修订记录

版本	日期	修订内容
1.0	2023-10-18	首次发布
1.1	2023-11-08	更新SK板RF PA匹配网络配置。
1.2	2024-01-16	<ul style="list-style-type: none">• 更新GR5331 SPA 7元件匹配电路中的C66电容值。• 更新硬件连接示意图中的GND引脚标示。

目录

前言..... I

1 概述..... 1

1.1 功耗模式..... 1

1.2 唤醒源..... 1

1.3 功耗模式切换流程..... 2

1.4 测试方案..... 3

2 测试环境搭建..... 5

2.1 测试准备..... 5

2.2 安装软件..... 5

2.3 配置SK板RF PA匹配网络..... 6

2.3.1 RF PA匹配网络参数..... 6

2.3.2 RF匹配电路..... 8

2.3.2.1 HPA/SPA 6元件匹配电路..... 8

2.3.2.2 SPA 7元件匹配电路..... 8

2.3.2.3 UPA 4元件匹配电路..... 8

2.4 连接硬件..... 8

2.4.1 连接SK板..... 9

2.4.2 连接功耗分析仪..... 10

2.5 配置固件..... 11

2.6 设置蓝牙参数..... 14

2.6.1 蓝牙广播参数..... 14

2.6.2 蓝牙连接参数..... 15

3 测试方法与参考功耗..... 18

3.1 测试条件..... 18

3.2 Sleep模式功耗测试..... 19

3.3 IDLE模式功耗测试..... 20

3.4 Active模式功耗测试..... 21

3.5 广播功耗测试..... 22

3.5.1 广播功耗细分说明..... 22

3.5.2 广播状态下的射频功耗测试..... 23

3.5.3 广播状态下不同PA的射频功耗测试..... 25

3.5.3.1 UPA功耗测试..... 25

3.5.3.2 SPA功耗测试..... 27

3.5.3.3 HPA功耗测试..... 28

3.6 连接功耗测试..... 30

3.6.1 连接功耗细分说明..... 30

3.6.2 连接状态下的射频功耗测试..... 30

3.7 扫描功耗测试..... 32

 3.7.1 扫描功耗细分说明.....32

 3.7.2 扫描状态下的射频功耗测试..... 33

3.8 应用场景功耗测试..... 35

3.9 最低工作电压功耗测试.....37

 3.9.1 各功耗模式的功耗测试.....37

 3.9.2 射频功耗测试.....38

1 概述

GR533x系列是Goodix推出的支持Bluetooth 5.3的低功耗蓝牙系统级芯片（SoC），基于Arm® Cortex® -M4F内核，集成Bluetooth 5.3协议栈、2.4 GHz RF收发机、片上可编程存储器Flash、SRAM以及多种外设，并内置两个电压调整器（DC-DC和SYS_LDO），是实现低功耗、低成本产品应用的理想之选。

1.1 功耗模式

GR533x芯片支持以下四种功耗模式：

- **Active:** CPU处于全速运行状态。
 - MCU子系统（包括ARM处理器、SRAM和外设等）一直处于就绪或工作状态。
 - 蓝牙子系统（包括RF收发机、通信内核等）一直处于就绪或工作状态。
 - PMU子系统（包括DC-DC、LDO、RTC等）一直处于工作状态。
- **IDLE:** CPU处于空闲状态，未运行任何程序。
- **Sleep:** HFXO_32M时钟停止运行，MCU子系统（Retention SRAM除外）与蓝牙子系统均处于断电状态，仅Always-on（AON）模块的电源开启，以保证Retention SRAM中存储的数据不丢失，同时为具有唤醒功能的模块（如Bluetooth LE Timer、Sleep Timer、Real Time Counter、AON GPIO）供电。
- **Ultra Deep Sleep:** 一种特殊的Sleep模式。在该模式下，除Always-on（AON）模块的电源开启外，其他模块（包括Retention SRAM）的电源均关闭。通过AON GPIO或Sleep Timer唤醒后，程序将执行冷启动流程。

系统功耗模式切换过程如下图所示：

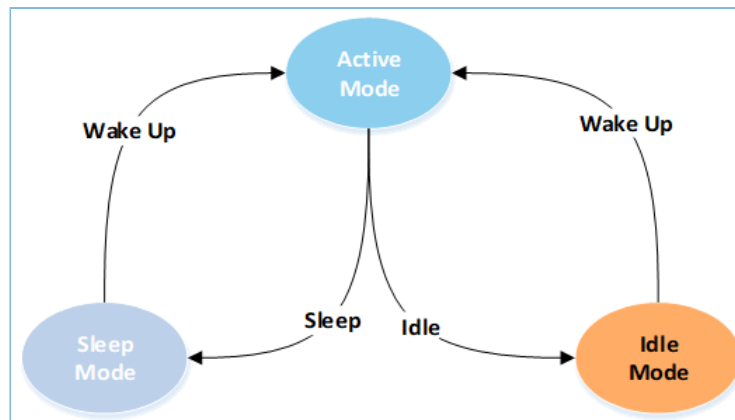


图 1-1 系统功耗模式切换过程

1.2 唤醒源

GR533x支持通过以下唤醒源将系统从低功耗模式（IDLE/ Sleep/Ultra Deep Sleep）中唤醒，使其进入Active模式。

表 1-1 唤醒源

低功耗模式	唤醒源
IDLE	<div><div></div><div>• 复位</div><div>• NVIC事件</div><div>• Debug事件</div></div>
Sleep	<div><div></div><div>• 低功耗蓝牙Controller</div><div>• LPCOMP模块</div><div>• RTC计数器</div><div>• Sleep Timer</div><div>• AON GPIO</div><div>• 复位</div></div>
Ultra Deep Sleep	<div><div></div><div>• AON GPIO</div><div>• Sleep Timer</div><div>• 复位</div></div>

1.3 功耗模式切换流程

典型的功耗模式切换流程（例如，用户同时使用Bluetooth LE和外设）如下图所示：

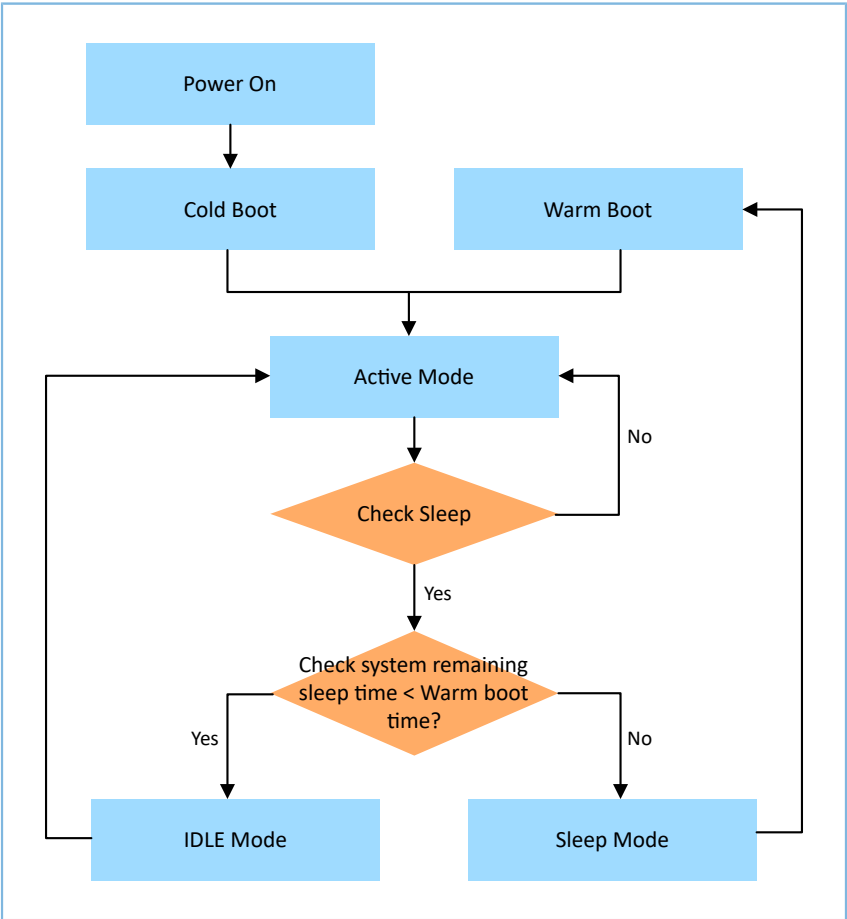


图 1-2 功耗模式切换流程图

1. 系统上电，冷启动。

2. 系统进入Active模式。
3. 当无业务逻辑处理时，系统进入Check Sleep单元，检查当前系统是否处于空闲状态。
 - 如果Check Sleep单元输出为YES，则比较剩余系统空闲时间（如Bluetooth LE Timer、Sleep Timer、RTC等Timer的到期时间）与热启动耗时。
 - 若剩余系统空闲时间小于热启动耗时，则系统会进入IDLE 模式。
 - 若剩余系统空闲时间大于热启动耗时，则系统进入Sleep模式，等待被唤醒。
 - 如果Check Sleep单元输出为No，则系统保持在Active模式。

说明:

系统从Sleep 模式进入热启动流程需要一段启动时间且启动电流较大。当睡眠时间较短时（如小于2 ms），系统进入Sleep模式后功耗降低不明显。因此，当睡眠时间大于剩余系统空闲时间时，推荐系统进入Sleep模式，以达到更优的功耗效果。

1.4 测试方案

GR533x芯片功耗测试，基于GR5331 Starter Kit开发板（以下简称“SK板”）作为待测设备，使用GRToolbox App设置测试场景，再利用Keysight测试平台测量功耗电流，如下图所示：

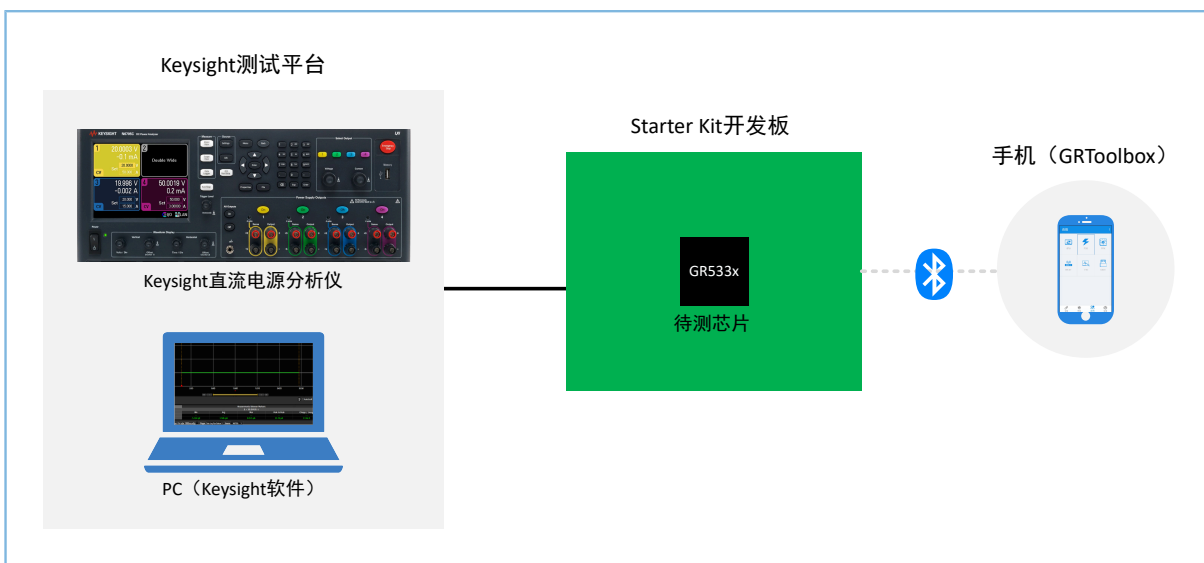


图 1-3 GR533x功耗测试框图

- SK板：搭载GR533x芯片，作为待测设备。测试功耗时，需下载特定的功耗测试固件至SK板。

说明:

SK板默认搭载GR5331CENI芯片。测试其他型号芯片时，需将SK板上的GR5331CENI芯片替换为相应的芯片。

- **Keysight测试平台：**由Keysight N6705C直流电源分析仪（硬件）与Keysight 14585A软件（软件）两部分组成。Keysight N6705C可测量一段时间内的电压和电流的平均值、峰值，并将测量的数据绘制成曲线；Keysight 14585A可设置采样持续时间和周期。
- **GRTtoolbox：**Goodix提供的蓝牙调试手机App。使用GRTtoolbox App，可连接待测设备，并设置设备的Bluetooth LE运行状态及功耗测试参数。

2 测试环境搭建

本章主要介绍GR533x芯片功耗测试环境的搭建，包括软硬件准备、软件安装、固件配置以及硬件连接等。

2.1 测试准备

- 硬件准备

表 2-1 硬件准备

名称	描述
Keysight N6705C	Keysight公司推出的直流功率分析仪。
SK板	GR5331-SK-BASIC-RevC开发板，作为待测设备。
J-Link工具	SEGGER公司推出的JTAG仿真器。 如需了解更多，请访问 http://www.segger.com/products/debug-probes/j-link/ 。
Type-C USB数据线	用于连接PC与SK板。
A口转B口USB线	用于连接Keysight N6705C与PC。
PC	用于运行功耗分析软件。
手机	用于运行GRToolbox App。

- 软件准备

表 2-2 软件准备

名称	描述
J-Link Driver	J-Link驱动程序，下载网址： http://www.segger.com/downloads/jlink/
Keil MDK5	IDE工具，下载网址： http://www.keil.com/download/product/
GR533x SDK	GR533x软件开发套件，包括丰富的示例工程，如功耗测试工程ble_app_pcs。 下载地址： http://www.goodix.com/zh/software_tool/gr533x_sdk
GRToolbox（Android）	Goodix提供的 Bluetooth LE调试手机App，用于设置功耗测试场景。 下载地址： http://www.goodix.com/zh/software_tool/grtoolbox
GProgrammer	Goodix提供的固件下载工具，用于下载功耗测试固件。 下载地址： http://www.goodix.com/zh/software_tool/gprogrammer_ble
Keysight 14585A	Keysight公司推出的用于电源控制与分析的软件。

2.2 安装软件

- 安装SDK

GR533x SDK为免安装ZIP包，直接解压即可使用。

- 安装IDE

在PC上安装IDE（如Keil软件），以编译示例工程，生成应用固件。下载IDE安装文件后，按照安装向导逐步操作即可。

- 安装GProgrammer

在PC上安装GProgrammer软件，用于下载应用固件。GProgrammer支持Windows和Linux平台，用户可根据需要选择合适的软件版本进行安装。

- 安装Keysight 14585A

1. 下载安装包至本地，按照安装向导逐步操作。

2. 安装完成后，可双击桌面的，启动软件。

- 安装J-Link驱动

为保证J-Link工具的正常使用，需在PC上安装J-Link驱动。

1. 下载安装包至本地，按照安装向导逐步操作。

2. 安装完成后，可在“开始”菜单中找到“Segger”目录，还可使用J-Link Commander测试开发板是否可通过J-Link被正确识别。

- 安装GRToolBox

GRToolBox的安装软件为.apk文件。用户可将GRToolbox安装包导入手机进行安装，或直接从应用市场下载并安装App。

2.3 配置SK板RF PA匹配网络

测试GR533x RF功耗时，需根据待测设备的芯片系列和RF功率放大器（Power Amplifier，PA）类型，选择合适的RF PA匹配网络，以获得最优的射频效率。

表 2-3 RF PA匹配网络选择

PA类型	发射功率（dBm）	芯片系列	
		GR5332	GR5331
HPA	-10~15	6元件匹配	/
SPA	GR5332: -20~5 GR5331: -20~6	6元件匹配	7元件匹配
UPA	-15~2	/	4元件匹配

2.3.1 RF PA匹配网络参数

SK板上的RF PA匹配网络（下图中橙色框标注部分）由C12、C13、C66、C10、L2、L3、L6及C9组成。通过调整各匹配器件的参数值，可设置7元件、6元件及4元件匹配网络。

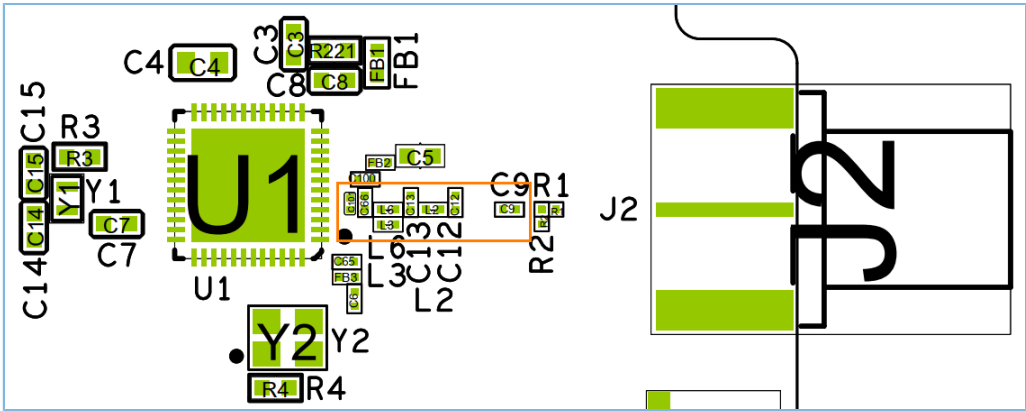


图 2-1 RF PA匹配器件布局

推荐的RF PA匹配网络参数配置如下表所示：

表 2-4 RF PA匹配参数

器件类型	位号	器件值		
		6元件匹配	7元件匹配	4元件匹配
电容	C9	18 pF	18 pF	18 pF
电容	C12	0.8 pF	0.8 pF	1.0 pF
电容	C13	2.0 pF	2.0 pF	1.8 pF
电容	C66	2.5 pF	2.0 pF	NC
电容	C10	NC	0.3 pF	NC
电感	L2	2.3 nH	2.0 nH	2.4 nH
电感	L3	1.6 nH	1.6 nH	2.4 nH
电感	L6	2.5 nH	2.5 nH	0 R

说明:

- 1. C9 (18 PF)为隔直电容，不可省略。
- 2. NC表示未焊接器件。
- 3. 0 R表示焊接0Ω电阻。

2.3.2 RF匹配电路

2.3.2.1 HPA/SPA 6元件匹配电路

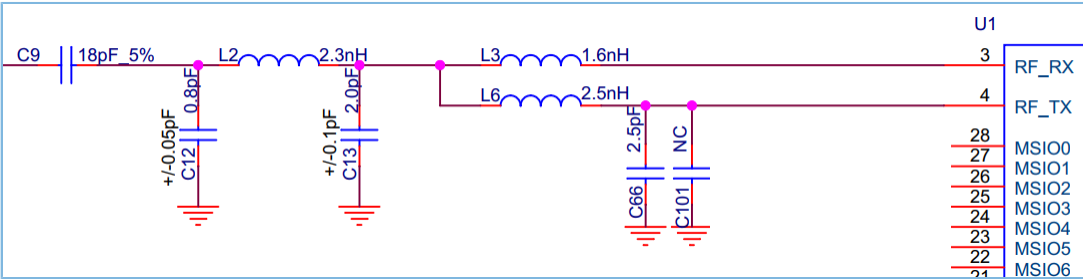


图 2-2 GR5332系列 HPA/SPA 6元件匹配电路图

2.3.2.2 SPA 7元件匹配电路

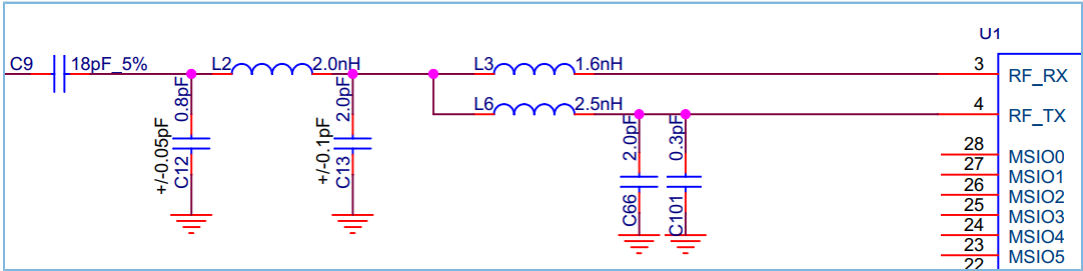


图 2-3 GR5331系列 SPA 7元件匹配电路图

2.3.2.3 UPA 4元件匹配电路

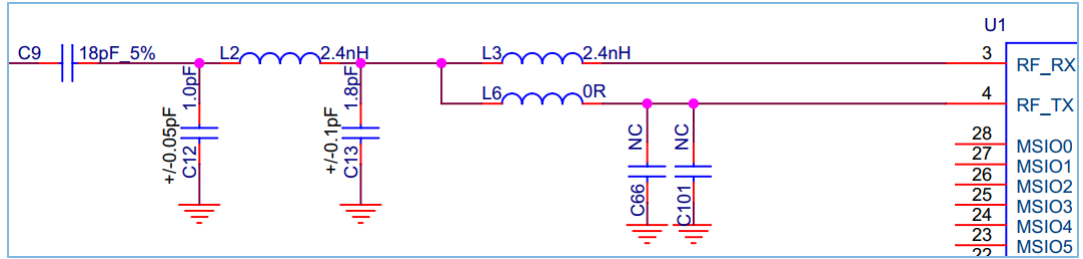


图 2-4 GR5331系列UPA 4元件匹配电路

2.4 连接硬件

GR533x功耗测试的硬件连接示意图如下所示：

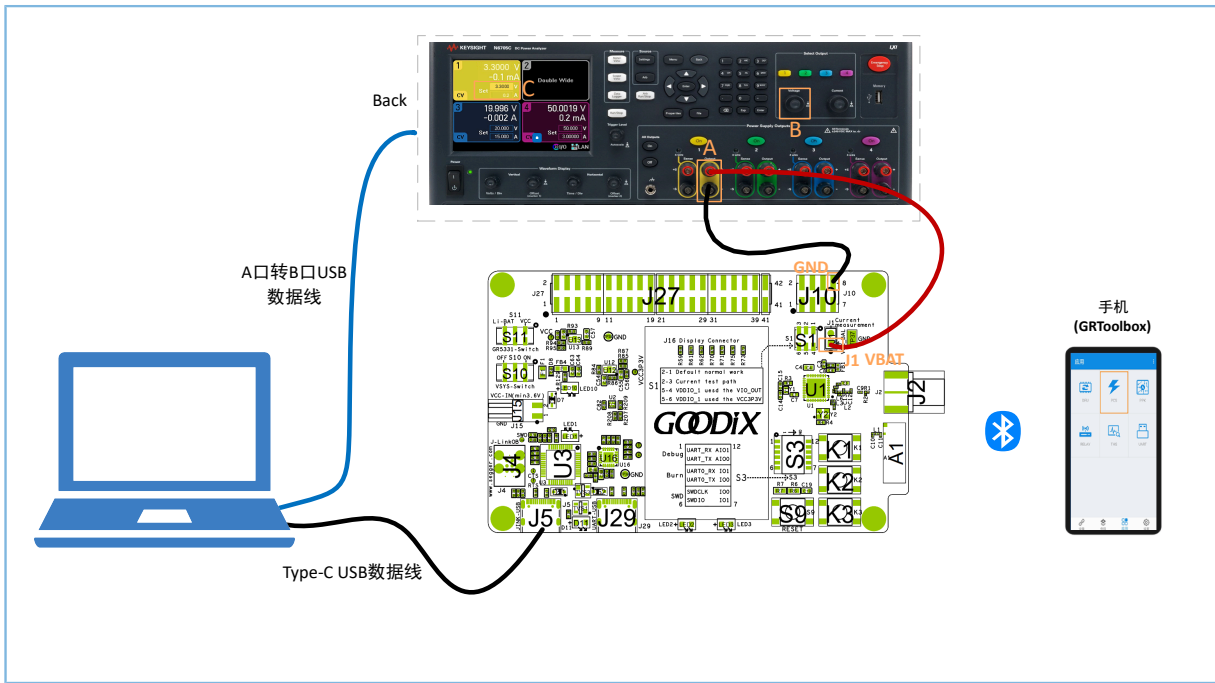


图 2-5 GR533x功耗测试硬件连接示意图

下面章节将详细介绍各硬件的具体配置和连接方法。

2.4.1 连接SK板

按以下步骤操作，配置、连接SK板：

1. 配置SK板。

- (1) 将电源开关S10拨至右端（“ON”位置），使能SK板系统供电，上电SK板。
- (2) 将电源开关S11拨至右端（“VCC”位置），设置GR533x芯片由板载3.3 V电源（VCC）供电。
- (3) 将拨码开关S3的所有开关均拨至左端（1~6侧），以避免芯片引脚与SK板上的外围电路形成漏电路径，影响睡眠功耗测量的准确性。

提示：

使用J-Link方式下载固件时，需将S3的开关5~6拨至“ON”位置（7~12侧），使J-Link芯片的SWD与GR533x芯片连接。

- (4) 将拨码开关S1的上侧开关拨至左端（短接Pin2与Pin3），下侧开关拨至右端（短接Pin4与Pin5）。

2. 使用Type-C USB数据线连接PC与SK板的JLINK_USB接口（J5），为SK板外围电路供电。

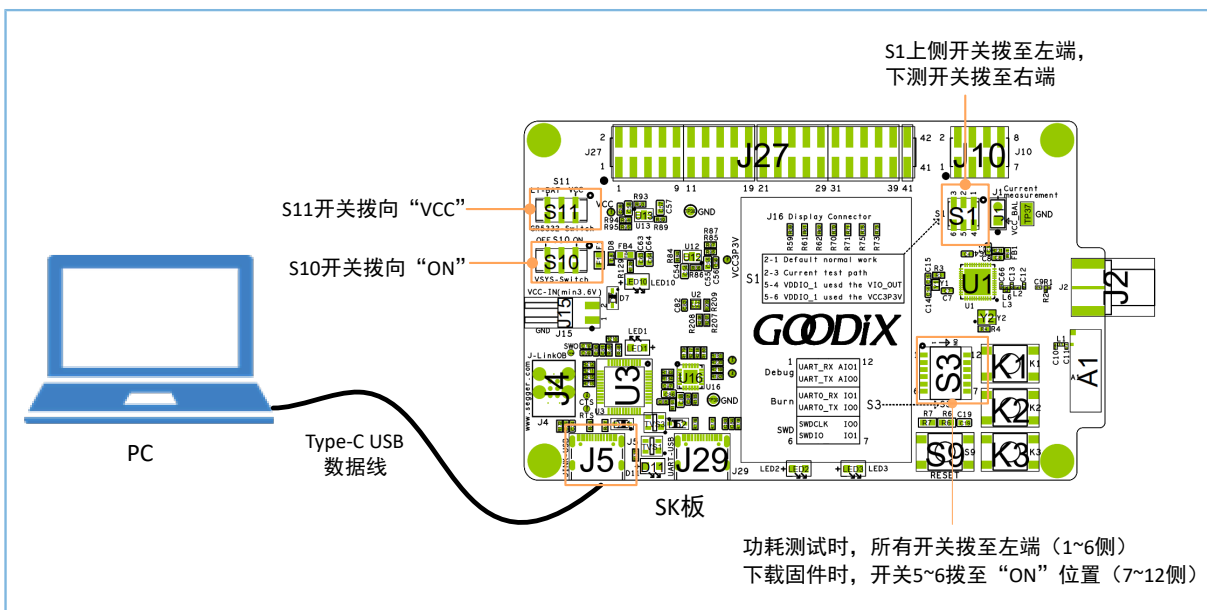


图 2-6 SK板硬件配置与连接示意图

2.4.2 连接功耗分析仪

按以下步骤操作，配置直流功耗分析仪（Keysight N6705C），并连接Keysight N6705C与SK板、PC:

1. 配置直流功耗分析仪Keysight N6705C。

打开Keysight N6705C，旋转按钮（图 2-7 中 B 处），将通道的电压输出调整为 3.3 V（即图 2-7 中 C 处显示 3.3 V），最大电流限制为 0.2 A。

2. 连接Keysight N6705C 与SK 板。

将Keysight N6705C “+” VCC（图 2-7中A处的红色通道）连接至SK板上的VCC_BAL（J1的Pin 1）；Keysight N6705C 的“-” GND（图 2-7中A处的黑色通道）连接至SK板上的GND（如J10的Pin8），为GR533x芯片供电。

3. 连接Keysight N6705C与PC。

使用A口转B口USB线连接PC与Keysight N6705C（背部的USB接口）。

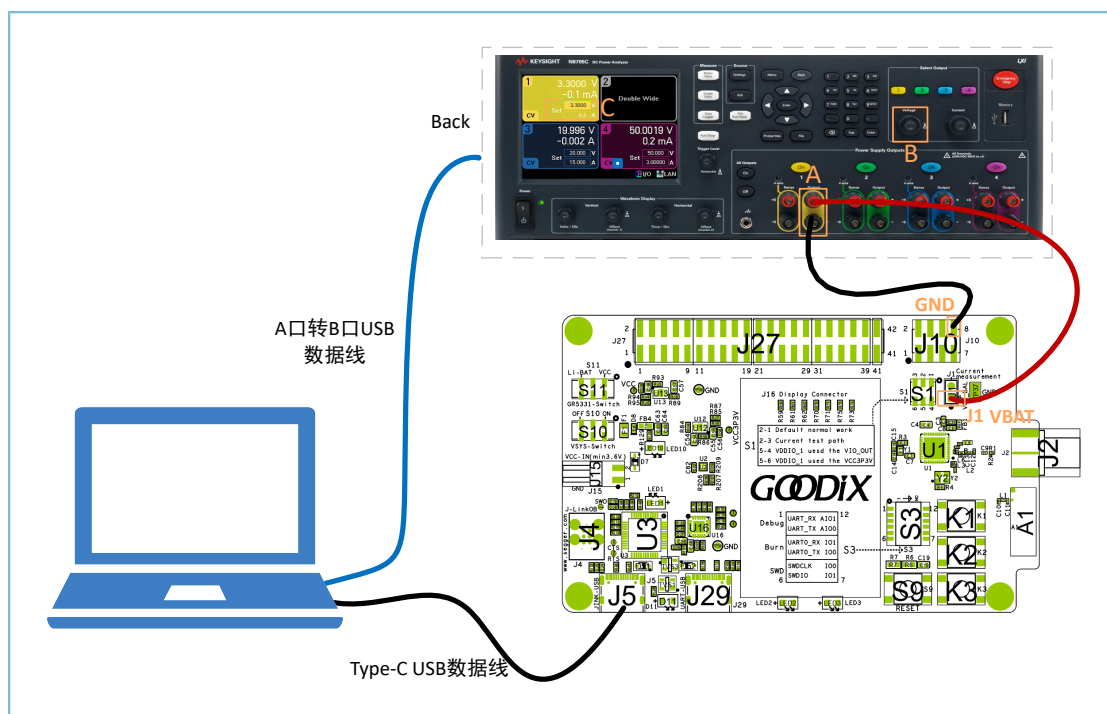


图 2-7 功耗分析仪连接示意图

2.5 配置固件

用户可基于GR533x SDK提供的ble_app_pcs示例工程（位于SDK_Folder\projects\ble\ble_peripheral\ble_app_pcs，其中SDK_Folder为GR533x SDK包根目录），根据功耗测试场景修改固件配置，编译、生成功耗测试固件。

1. 打开ble_app_pcs工程的配置文件custom_config.h（位于ble_app_pcs\Src\config目录），配置工程参数。

提示:

用户还可在Keil中打开custom_config.h文件，利用“Configuration Wizard”界面进行配置。

- 根据实际情况选择芯片型号。

例如，若使用的芯片型号为GR5332CENE，则将宏CHIP_TYPE的值配置为“4”。

```
// <o> Chip version
#ifndef SOC_GR533X
#define SOC_GR533X
#endif
// <o> Select chip type
// <0=> GR5330ACNI
// <1=> GR5331AENI
// <2=> GR5331CENI
// <3=> GR5332AENE
// <4=> GR5332CENE
#ifndef CHIP_TYPE
#define CHIP_TYPE
```



```
#endif
```

- 配置宏BOOT_LONG_TIME的值为“0”，关闭BOOT启动延时。

```
// <o> Delay time for Boot startup
// <0=> Not Delay
// <1=> Delay 1s
#ifndef BOOT_LONG_TIME
#define BOOT_LONG_TIME 0
#endif
```

- 配置宏PMU_CALIBRATION_ENABLE的值为“1”，使能PMU校准功能。

```
// <o> Enable PMU Calibration
// <0=> DISABLE
// <1=> ENABLE
#ifndef PMU_CALIBRATION_ENABLE
#define PMU_CALIBRATION_ENABLE 1
#endif
```

- 配置宏CFG_LF_ACCURACY_PPM的值为“500”，设置Bluetooth LE低频睡眠时钟精度为500 PPM。

```
// <o> External clock accuracy used in the LL to compute timing <1-500>
// <i> Range: 1-500
#ifndef CFG_LF_ACCURACY_PPM
#define CFG_LF_ACCURACY_PPM 500
#endif
```

- 根据功耗测试条件，选择低速时钟源。

若宏CFG_LPCLK_INTERNAL_EN的值设置为“1”，则慢速时钟采用芯片内部的LFRC_32K；若宏CFG_LPCLK_INTERNAL_EN的值设置为“0”，则慢速时钟采用外部的LFXO_32K。

```
// <o> Enable internal osc as low power clock
// <0=> Default: Disable internal osc as low power clock
// <1=> Enable internal osc as low power clock and force CFG_LF_ACCURACY_PPM to 500ppm
#ifndef CFG_LPCLK_INTERNAL_EN
#define CFG_LPCLK_INTERNAL_EN 1
#endif
```

- 设置程序加载地址与运行地址。

通过配置宏APP_CODE_LOAD_ADDR，设置程序加载地址为“0x00202000”（Flash）；通过配置宏APP_CODE_RUN_ADDR，设置程序运行地址为“0x00202000”（Flash XIP）。

```
// <o> Code load address
// <0x00202000=> Flash address
// <i> Default: 0x00202000(Flash)
#ifndef APP_CODE_LOAD_ADDR
#define APP_CODE_LOAD_ADDR 0x00202000
#endif

// <o> Code run address
```

```
// <0x20002000=> SRAM address
// <0x00202000=> Flash address
// <i> Default: 0x00202000 (Flash XIP)
#ifndef APP_CODE_RUN_ADDR
#define APP_CODE_RUN_ADDR 0x00202000
#endif
```

- 根据功耗测试条件，配置宏SYSTEM_POWER_MODE，选择系统电源模式（0：DC-DC供电；1：SYS_LDO供电）。

```
// <01.0..2> System power mode
// <0=> DCDC MODE
// <1=> SYSLDO MODE
#ifndef SYSTEM_POWER_MODE
#define SYSTEM_POWER_MODE 0
#endif
```

- 根据功耗测试条件，配置宏SYSTEM_CLOCK，选择系统时钟频率（0：64MHz；3：16 MHz）。

```
// <01.0..5> System clock
// <0=> 64MHZ
// <1=> 32MHZ
// <2=> 16MHZ-XO
// <3=> 16MHZ
// <4=> 8MHZ
// <5=> 2MHZ
#ifndef SYSTEM_CLOCK
#define SYSTEM_CLOCK 0
#endif
```

2. 修改Main函数。

将ble_app_pcs工程的Main函数（位于ble_app_pcs\Src\user\main.c文件）中的下列代码注释掉。

```
if (is_enter_ultra_deep_sleep())
{
    pwr_mgmt_ultra_sleep(0);
}
```

3. 配置系统空闲时进入的功耗模式。

打开ble_app_pcs工程下的user_periph_setup.c文件（位于ble_app_pcs\Src\platform\），修改void app_periph_init(void)函数中调用的pwr_mgmt_mode_set()函数，配置系统空闲时进入的功耗模式。

```
void app_periph_init(void)
{
    SYS_SET_BD_ADDR(s_bd_addr);
    wkup_key_init();
    pwr_mgmt_mode_set(PMR_MGMT_SLEEP_MODE);
}
```

```
}
```

支持三种功耗模式：PMR_MGMT_ACTIVE_MODE、PMR_MGMT_IDLE_MODE及PMR_MGMT_SLEEP_MODE。除非功耗测试场景有特殊要求，建议保持默认设置（PMR_MGMT_SLEEP_MODE），即配置系统空闲时进入睡眠模式。

2.6 设置蓝牙参数

如果测试广播或连接应用场景下的功耗，用户还需设置蓝牙广播参数和连接参数。

2.6.1 蓝牙广播参数

打开ble_app_pcs工程的user_app.c文件（位于ble_app_pcs\Src\user目录），根据功耗测试场景需求，设置蓝牙广播参数。

1. 设置设备名称、广播间隔时间及广播持续时间。

```
/*
 * DEFINES
 ****
 */
#define DEVICE_NAME          "Goodix_Power"    /**< Device Name which will be set in GAP. */
#define APP_ADV_INTERVAL     1600             /**< The advertising interval (in units of 0.625 ms). */
#define APP_ADV_TIMEOUT      3000             /**< Advertising timeout (in units of 10ms). */
```

- 配置宏DEVICE_NAME，可定义蓝牙设备广播名称。默认设备名称为“Goodix_Power”。
- 配置宏APP_ADV_INTERVAL，可设置广播间隔时间，单位：0.625 ms。例如，若配置宏APP_ADV_INTERVAL的值为“1600”，则广播间隔时间= 1600 * 0.625 ms = 1000 ms。
- 配置宏APP_ADV_TIMEOUT，可设置广播持续时间，单位：10 ms。例如，若配置APP_ADV_TIMEOUT宏的值为“3000”，则广播持续时间= 3000 * 10 ms = 30s。

2. 设置广播发射功率。

在user_app.c的ble_evt_handler函数中，添加ble_gap_tx_power_set函数，设置TX功率。

该函数中的最后一个参数用于设置TX 功率。例如，若TX功率设置为5 dBm，则添加函数ble_gap_tx_power_set(BLE_GAP_ACTIVITY_ROLE_ADV,p_evt->evt.gapm_evt.index, 5)。

```
void ble_evt_handler(const ble_evt_t *p_evt)
{
    switch(p_evt->evt_id)
    {
        case BLE_COMMON_EVT_STACK_INIT:
            ble_app_init();
            break;

        case BLE_GAPM_EVT_ADV_START:
            ble_gap_tx_power_set(BLE_GAP_ACTIVITY_ROLE_ADV,p_evt->evt.gapm_evt.index, 5)
            break;
```

```
case BLE_GAPC_EVT_PHY_UPDATED:
    app_gap_phy_update_handler(p_evt->evt.gapc_evt.index, p_evt->evt_status);
    break;

case BLE_GAPC_EVT_CONN_PARAM_UPDATE_REQ:
    ble_gap_conn_param_update_reply(p_evt->evt.gapc_evt.index, true);
    break;

case BLE_GAPC_EVT_CONN_PARAM_UPDATED:
    app_gap_connection_update_handler(p_evt->evt.gapc_evt.index, p_evt->evt_status,
    &(p_evt->evt.gapc_evt.params.conn_param_updated));
    break;
}
}
```

2.6.2 蓝牙连接参数

利用手机App GRTtoolbox设置功耗测量场景参数，具体操作步骤如下：

1. 打开GRTtoolbox，选择“应用 > PCS”。

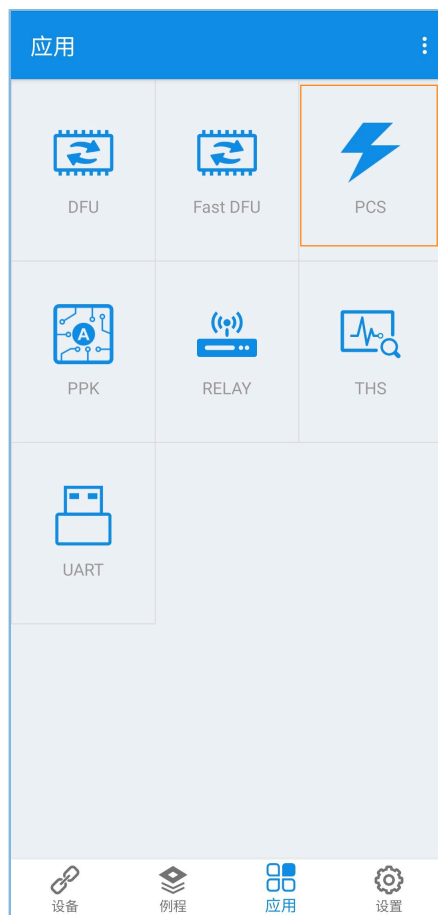


图 2-8 选择“PCS”

2. 点击“PCS”页面下方的“连接”按钮，开始扫描蓝牙设备。发现目标设备（如广播名为“Goodix_Power”的设备，广播名可在`user_app.c`文件中修改）后，可停止扫描。



图 2-9 发现目标设备

3. 点击目标设备名称连接设备，进入“PCS”页面（如下图所示），根据功耗测试场景设置蓝牙连接参数。
 - GRTToolbox不支持广播间隔和广播数据设置功能，用户需通过修改固件配置进行设置（参考[2.5 配置固件](#)）。
 - 传输功率、连接参数及传输模式的设置仅在当前连接生效。
 - 设置连接参数时，设置值与实际值的比例关系为1: 1.25。例如，若设置连接参数值为20，则实际连接参数值为 $20 \times 1.25 \text{ ms} = 25 \text{ ms}$ 。

3 测试方法与参考功耗

本章详细介绍各种场景下的功耗测试方法及参考功耗数据，以帮助用户更好地了解GR533x芯片的功耗特性。

3.1 测试条件



如无特殊说明，各场景下的功耗测试均基于下列测试条件进行。

表 3-1 测试基本条件

项目	条件	备注
电源	VBAT = 3.3 V	
温度	25°C	
CPU	WFI/WFE	
外设	所有外设均处于空闲状态	
时钟	基于HFRC的64MHz系统主频 基于LFXO_32K的32.768K低速频率	
Flash时钟	64 MHz访问速率	
内核RAM	保留96 KB	在Active模式下，96 KB RAM均上电；在Sleep模式下，96 KB RAM均保留。
Cache	使能，采用4-way associative缓存模式	仅当CPU从Flash运行时应用生效。
Bluetooth LE 协议栈	使能	
Bluetooth LE PHY	1 M PHY	
32 MHz 晶振	32 MHz	仅当高频晶振HFXO_32M运行时应用生效。 当Radio模块运行时，使用HFXO_32M。
32 kHz 晶振	32.768 KHz	仅当低频晶振LFXO_32M运行时应用生效。
睡眠时钟精度	500 ppm	
BOD/IO_LDO	BOD 使能/IO_LDO开启	
DC-DC/CORE_LDO	DC-DC = 1.05 V / CORE_LDO = 0.90 V	
AON_LDO/RET_LDO	AON_LDO = 0.85 V / RET_LDO = 0.75 V	
VDDIO	3.3 V	
稳压器	DC-DC	
Flash电源模式	Standby状态	在Active模式下，Flash电源开启；在Sleep模式下，Flash电源关闭。
编译器版本	MDK-ARM Plus 5.26.2.0	
SDK版本	GR533x_SDK_V1.0.2	
功耗分析仪	设置Keysight N6705C测量单通道电 流、精度为0.02048 ms	测量功耗时尽量将功耗仪精度设置为最高。

3.2 Sleep模式功耗测试

Sleep模式功耗测试，即测试芯片在Sleep模式下运行时的功耗。

- 测试步骤：
 - 参考[2.4 连接硬件](#)，连接SK板、功耗分析仪及PC。
 - 按照[表 3-1](#) 设置VBAT电压，并打开电源。
 - 参考[2.5 配置固件](#)，根据功耗测试场景需求，修改固件配置。其中，配置系统空闲时进入Sleep模式。
 - 参考[2.6.1 蓝牙广播参数](#)，设置广播间隔时间为1s，广播持续时间为30s。
 - 重新编译ble_app_pcs工程，生成固件，并使用Keil或GProgrammer将固件下载至待测芯片Flash。
 - 设置功耗分析仪的采样时间为10s。
 - 复位SK板，上电SoC。
 - 点击Keysight 14585A软件界面上方的  图标进入“Data Logger”页面，然后点击底部的“Data Log”按钮 ，开始记录功耗测量数据。
 - 等待采样时间结束，从Keysight 14585A软件界面查看测量的功耗电流。
- 测试参考结果：

Sleep模式功耗测量波形如下图所示（两次广播之间的功耗为Sleep模式功耗）：

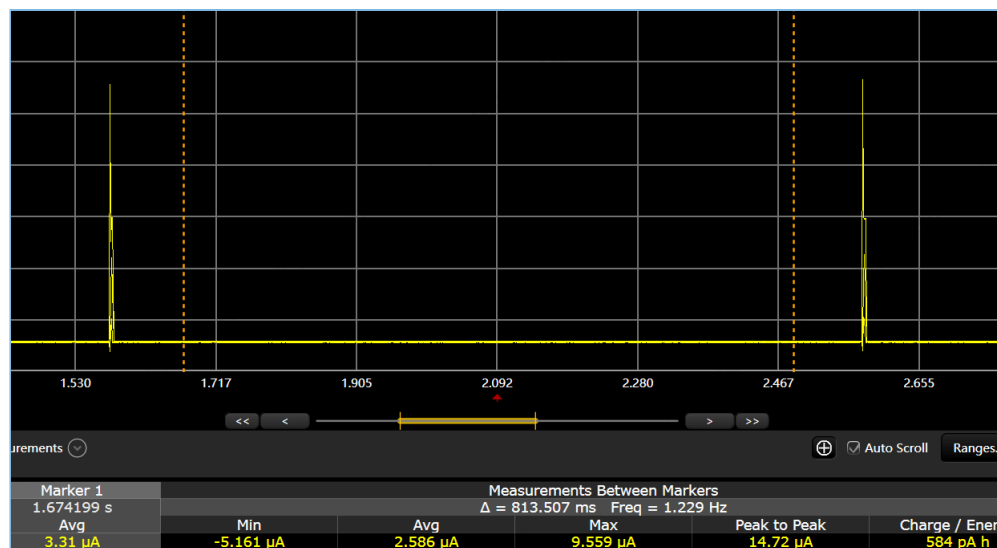


图 3-1 Sleep模式功耗波形图


测试参考功耗数据如下表所示：

表 3-2 Sleep模式下的功耗电流

测试场景	平均功耗电流（ μA ）	
	LF XO_32K	LF RC_32K
Sleep模式	2.6	2.5

3.3 IDLE模式功耗测试

IDLE模式功耗测试，即测试芯片（含COMM SubSystem）在IDLE模式下运行时的总功耗。

- 测试步骤
 - 参考2.4 连接硬件，连接SK板、功耗分析仪及PC。
 - 按照表 3-1 设置VBAT电压，并打开电源。
 - 参考2.5 配置固件，根据功耗测试场景需求，修改固件配置。其中，配置系统空闲时进入IDLE模式。
 - 参考2.6.1 蓝牙广播参数，设置广播间隔时间为1s，广播持续时间为30s。
 - 重新编译ble_app_pcs工程，生成固件，并使用Keil或GProgrammer将固件下载至待测芯片Flash。
 - 设置功耗分析仪的采样时间为10s。
 - 复位SK板，上电SoC。
 - 点击Keysight 14585A软件界面上方的  图标进入“Data Logger”页面，然后点击底部的“Data Log”按钮 ，开始记录功耗测量数据。
 - 等待采样时间结束，从Keysight 14585A软件界面查看测量的功耗电流。
- 测试参考结果：

IDLE模式功耗测量波形如下图所示（两次广播之间的功耗为IDLE模式功耗）：

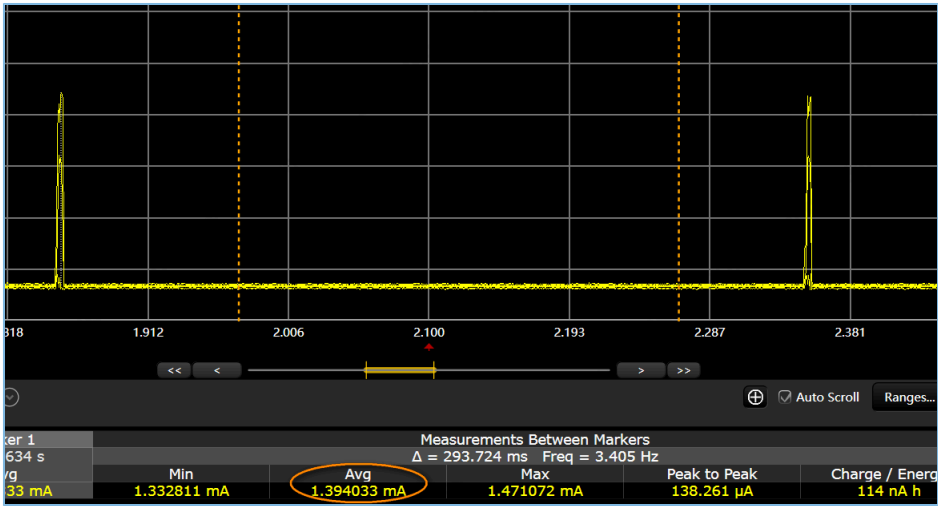


图 3-2 IDLE模式功耗波形图



测试参考功耗数据如下表所示：

表 3-3 IDLE模式下的功耗电流

测试场景	供电方式	CPU频率 (MHz)	平均功耗电流(mA)
IDLE模式	DC-DC	64	1.39
		16	1.14
	SYS_LDO	64	2.95
		16	2.30

3.4 Active模式功耗测试

Active模式功耗测试，即测试芯片（含COMM SubSystem）在Active模式下运行时的总功耗。

- 测试步骤
 - 参考2.4 连接硬件，连接SK板、功耗分析仪及PC。
 - 按照表 3-1 设置VBAT电压，并打开电源。
 - 参考2.5 配置固件，根据功耗测试场景需求，修改固件配置。其中，配置系统空闲时进入Active模式。
 - 参考2.6.1 蓝牙广播参数，设置广播间隔时间为1s，广播持续时间为30s。
 - 重新编译ble_app_pcs工程，生成固件，并使用Keil或GProgrammer将固件下载至待测芯片Flash。
 - 设置功耗分析仪的采样时间为10s。
 - 复位SK板，上电SoC。
 - 点击Keysight 14585A软件界面上方的  图标进入 “Data Logger” 页面，然后点击底部的 “Data Log” 按钮 ，开始记录功耗测量数据。

9. 等待采样时间结束，从Keysight 14585A软件界面查看测量的功耗电流。
- 测试参考结果

Active模式下的功耗测量波形如下图所示：

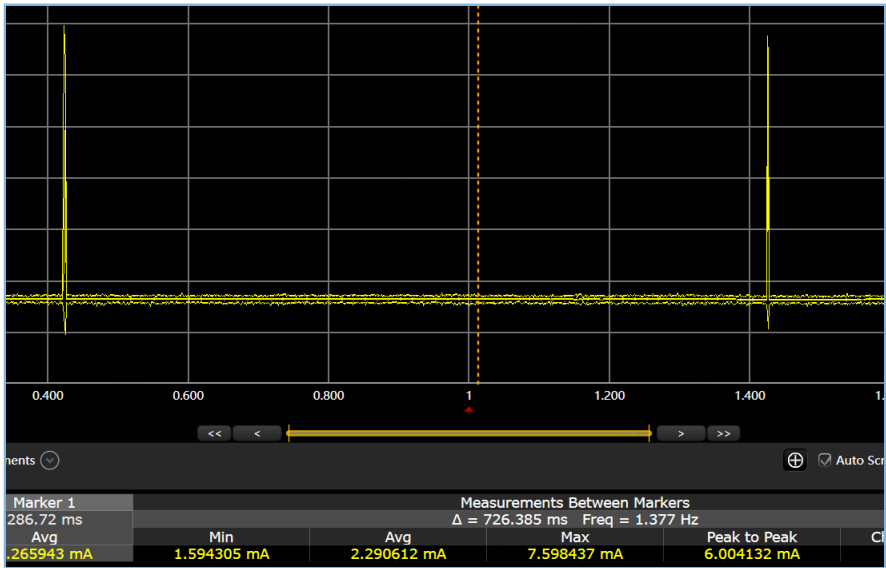


图 3-3 Active功耗模式波形图

Active模式功耗测试数据如下表所示：

表 3-4 Active模式下的功耗电流

测试场景	供电方式	CPU频率 (MHz)	平均功耗电流(mA)
Active模式	DC-DC	64	2.36
		16	1.57
	SYS_LDO	64	5.34
		16	3.34

3.5 广播功耗测试

3.5.1 广播功耗细分说明

广播期间的功耗细分如下图所示：

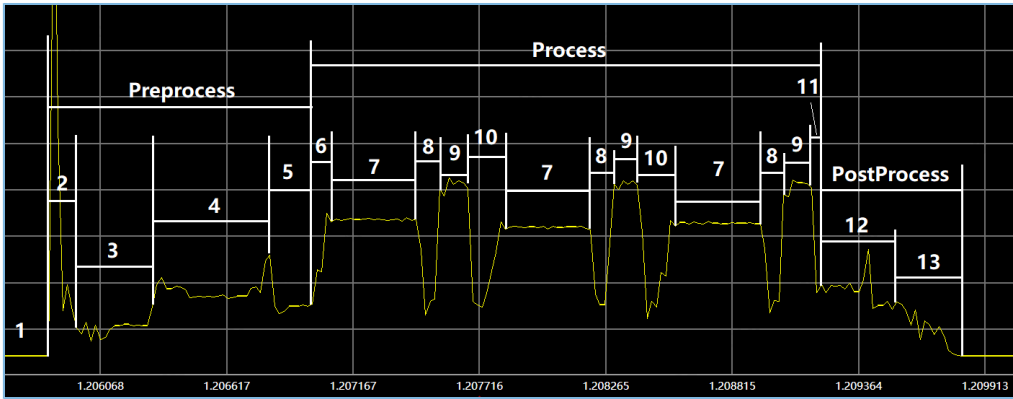


图 3-4 广播功耗细分

广播细分的具体说明如下表所示：

表 3-5 广播功耗细分说明

过程	阶段	描述
PreProcess	1	系统处于Sleep状态
	2	唤醒系统（包括DC-DC、SYS_LDO及DIGCORE模块）
	3	HFXO启动
	4	热启动
	5	系统进入空闲模式
Process	6	RF准备
	7	TX
	8	TX切换为RX
	9	RX
	10	RX切换为TX
	11	RF结束
PostProcess	12	检查睡眠条件
	13	系统进入睡眠模式

3.5.2 广播状态下的射频功耗测试

广播状态下的RF功耗测试，即测试芯片在广播状态下的射频活跃期间的功耗。

- 测试条件

表 3-6 广播状态下的射频功耗测试条件

参数	条件
广播间隔时间（ms）	1000
广播数据（bytes）	31
射频功率放大器（PA）	GR5331芯片采用UPA；GR5332芯片采用SPA

参数	条件
TX发射功率（dBm）	0

- 测试步骤：
 - 参考2.3 配置SK板RF PA匹配网络，根据待测设备的RF功率放大器类型，配置SK板RF PA匹配网络。
 - 参考2.4 连接硬件，连接SK板、功耗分析仪及PC。
 - 按照表 3-1 设置VBAT电压，并打开电源。
 - 参考2.5 配置固件，根据功耗测试场景需求，修改固件配置。
 - 在custom_config.h（位于ble_app_pcs\Src\config目录）中，根据待测设备的RF功率放大器类型，配置宏RF_TX_PA_SELECT的值。

```
// <0> RF TX PA select
// <1=> BLE_RF_TX_MODE_SPA_MODE  (-20~6 dBm TX power for GR5331/GR5330, -20~5 dBm TX power
for GR5332)
// <2=> BLE_RF_TX_MODE_UPA_MODE  (-15~2 dBm TX power for GR5331/GR5330)
// <3=> BLE_RF_TX_MODE_HPA_MODE  (-10~15 dBm TX power for GR5332)
#ifndef RF_TX_PA_SELECT
#define RF_TX_PA_SELECT 1
#endif
```

- 参考2.6.1 蓝牙广播参数，设置广播间隔时间为1s，广播持续时间为30s，TX 功率为0 dBm。
 - 重新编译ble_app_pcs工程，生成固件，并使用Keil或GProgrammer将固件下载至待测芯片Flash。
 - 设置功耗分析仪的采样时间为10s。
 - 复位SK板，上电SoC。
 - 点击Keysight 14585A软件界面上方的  图标进入“Data Logger”页面，然后点击底部的“Data Log”按钮 ，开始记录功耗测量数据。
 - 等待采样时间结束，从Keysight 14585A软件界面查看测量的功耗电流。
- 测试参考结果：

测试参考功耗数据如下表所示：

表 3-7 GR5331芯片在广播状态下的射频功耗数据

测试场景	供电方式	CPU频率 (MHz)	测试参数	PreProcess	Process	PostProcess	TX	RX
广播功耗 测试	DC-DC	64	平均功耗电流（mA）	1.601	3.326	1.360	3.625	4.637
			时间（ms）	1.167	2.212	0.553	0.369	0.123
			电流*时间（uc）	1.868	7.357	0.752	1.338	0.570

测试场景	供电方式	CPU频率 (MHz)	测试参数	PreProcess	Process	PostProcess	TX	RX
(TX Power = 0 dBm)	SYS_LDO	16	平均功耗电流 (mA)	1.309	3.068	1.059	3.236	4.264
			时间 (ms)	1.834	2.212	1.126	0.369	0.123
			电流*时间 (uc)	2.401	6.787	1.193	1.194	0.525
		64	平均功耗电流 (mA)	3.526	8.241	2.988	9.023	11.706
			时间 (ms)	1.167	2.212	0.553	0.369	0.123
			电流*时间 (uc)	4.115	18.230	1.652	3.330	1.440
		16	平均功耗电流 (mA)	2.808	7.449	2.393	7.832	11.020
			时间 (ms)	1.834	2.212	1.126	0.369	0.123
			电流*时间 (uc)	5.150	16.477	2.695	2.890	2.535

表 3-8 GR5332芯片在广播状态下的射频功耗数据

测试场景	供电方式	CPU频率 (MHz)	测试参数	PreProcess	Process	PostProcess	TX	RX
广播功耗 测试 (TX Power = 0 dBm)	DC-DC	64	平均功耗电流 (mA)	1.661	4.690	1.394	5.870	4.951
			时间 (ms)	1.085	2.212	0.553	0.369	0.123
			电流*时间 (uc)	1.802	10.374	0.771	2.166	0.609
		16	平均功耗电流 (mA)	1.305	4.388	1.104	5.513	4.657
			时间 (ms)	1.834	2.212	1.126	0.369	0.123
			电流*时间 (uc)	2.393	9.706	1.243	2.034	0.573
	SYS_LDO	64	平均功耗电流 (mA)	3.423	11.810	2.900	15.107	12.399
			时间 (ms)	1.167	2.212	0.553	0.369	0.123
			电流*时间 (uc)	3.995	26.124	1.604	5.575	1.525
		16	平均功耗电流 (mA)	2.704	11.185	2.209	14.136	11.668
			时间 (ms)	1.834	2.212	1.126	0.369	0.123
			电流*时间 (uc)	4.959	24.741	2.487	5.216	1.435

3.5.3 广播状态下不同PA的射频功耗测试

本节主要介绍芯片在广播过程中，不同功率放大器（UPA、SPA及HPA）和发射功率下的射频功耗测试。

3.5.3.1 UPA功耗测试

- 测试条件

表 3-9 广播射频功耗测试条件（UPA模式）

参数	条件
芯片系列	GR5331

参数	条件
广播间隔时间（ms）	1000
广播数据（bytes）	31
射频功率放大器（PA）	UPA
TX发射功率（dBm）	-15、2

- 测试步骤
 - 参考2.3 配置SK板RF PA匹配网络，配置SK板RF PA匹配网络为4元件匹配。
 - 参考2.4 连接硬件，连接SK板、功耗分析仪及PC。
 - 按照表 3-1 设置VBAT电压，并打开电源。
 - 参考2.5 配置固件，根据功耗测试场景需求，修改固件配置。
 - 在custom_config.h（位于ble_app_pcs\Src\config目录）中，定义宏RF_TX_PA_SELECT的值为“2”，设置PA为UPA。

```
// <0> RF TX PA select
// <1=> BLE_RF_TX_MODE_SPA_MODE    (-20~6 dBm TX power for GR5331/GR5330, -20~5 dBm TX power
// for GR5332)
// <2=> BLE_RF_TX_MODE_UPA_MODE    (-15~2 dBm TX power for GR5331/GR5330)
// <3=> BLE_RF_TX_MODE_HPA_MODE    (-10~15 dBm TX power for GR5332)
#ifndef RF_TX_PA_SELECT
#define RF_TX_PA_SELECT                2
#endif
```

- 参考2.6.1 蓝牙广播参数，设置广播间隔时间为1s、广播持续时间为30s，并按测试条件设置TX功率（-15dBm、2 dBm）。
 - 重新编译ble_app_pcs工程，生成固件，并使用Keil或GProgrammer将固件下载至待测芯片Flash。
 - 设置功耗分析仪的采样时间为10s。
 - 复位SK板，上电SoC。
 - 点击Keysight 14585A软件界面上方的  图标进入“Data Logger”页面，然后点击底部的“Data Log”按钮 ，开始记录功耗测量数据。
 - 等待采样时间结束，从Keysight 14585A软件界面查看测量的功耗电流。
- 测试参考结果
测试参考功耗数据如下表所示：

表 3-10 广播射频功耗数据（UPA模式）

测试场景	供电方式	测试参数	TX Power = -15 dBm		TX Power = 2 dBm	
			Process	TX	Process	TX
广播功耗测试 (UPA)	DC-DC	平均功耗电流 (mA)	2.762	2.628	3.542	3.864
		时间 (ms)	2.212	0.369	2.212	0.369
		电流*时间 (uc)	6.110	0.970	7.835	1.426

3.5.3.2 SPA功耗测试

- 测试条件



表 3-11 广播射频功耗测试条件（SPA模式）

参数	条件
芯片系列	GR5331
广播间隔时间 (ms)	1000
广播数据 (bytes)	31
射频功率放大器 (PA)	SPA
TX发射功率 (dBm)	-20、0、5

- 测试步骤
 - 参考2.3 配置SK板RF PA匹配网络，配置SK板RF PA匹配网络为7元件匹配。
 - 参考2.4 连接硬件，连接SK板、功耗分析仪及PC。
 - 按照表 3-1 设置VBAT电压，并打开电源。
 - 参考2.5 配置固件，根据功耗测试场景需求，修改固件配置。
 - 在custom_config.h（位于ble_app_pcs\Src\config目录）中，定义宏RF_TX_PA_SELECT的值为“1”，设置PA为SPA。

```
// <o> RF TX PA select
// <1=> BLE_RF_TX_MODE_SPA_MODE   (-20~6 dBm TX power for GR5331/GR5330, -20~5 dBm TX power
for GR5332)
// <2=> BLE_RF_TX_MODE_UPA_MODE   (-15~2 dBm TX power for GR5331/GR5330)
// <3=> BLE_RF_TX_MODE_HPA_MODE   (-10~15 dBm TX power for GR5332)
#ifndef RF_TX_PA_SELECT
#define RF_TX_PA_SELECT              1
#endif
```

- 参考2.6.1 蓝牙广播参数，设置广播间隔时间为1s、广播持续时间为30s，并按测试条件设置TX功率（-20 dBm、0 dBm、5 dBm）。

- 7. 重新编译ble_app_pcs工程，生成固件，并使用Keil或GProgrammer将固件下载至待测芯片Flash。
- 8. 设置功耗分析仪的采样时间为10s。
- 9. 复位SK板，上电SoC。
- 10. 点击Keysight 14585A软件界面上方的  图标进入 “Data Logger” 页面，然后点击底部的 “Data Log” 按钮 ，开始记录功耗测量数据。
- 11. 等待采样时间结束，从Keysight 14585A软件界面查看测量的功耗电流。

• 测试参考结果

测试参考功耗数据如下表所示：

表 3-12 广播射频功耗数据（SPA模式）

测试场景	供电方式	测试参数	TX Power = -20 dBm		TX Power = 0 dBm		TX Power = 5 dBm	
			Process	TX	Process	TX	Process	TX
广播功耗测试 (SPA)	DC-DC	平均功耗电流（mA）	2.965	2.910	4.171	4.877	5.499	6.733
		时间（ms）	2.212	0.369	2.212	0.369	2.212	0.369
		电流*时间（uc）	6.559	1.074	9.226	1.800	12.164	2.484
	SYS_LDO	平均功耗电流（mA）	7.032	6.835	9.945	11.602	13.209	16.183
		时间（ms）	2.212	0.369	2.212	0.369	2.212	0.369
		电流*时间（uc）	15.555	2.522	21.998	4.281	29.218	5.972

3.5.3.3 HPA功耗测试

• 测试条件

表 3-13 广播射频功耗测试条件（HPA模式）



参数	条件
芯片系列	GR5332
广播间隔时间（ms）	1000
广播数据（bytes）	31
射频功率放大器（PA）	HPA
TX发射功率（dBm）	-10、0、6、15
供电方式	SYS_LDO

• 测试步骤

- 1. 参考2.3 配置SK板RF PA匹配网络，配置SK板RF PA匹配网络为6元件匹配。
- 2. 参考2.4 连接硬件，连接SK板、功耗分析仪及PC。

- 3. 按照表 3-1 设置VBAT电压，并打开电源。
- 4. 参考2.5 配置固件，根据功耗测试场景需求，修改固件配置。
- 5. 在custom_config.h（位于ble_app_pcs\Src\config目录）中，定义宏RF_TX_PA_SELECT的值为“3”，设置PA为HPA。

```
// <0> RF TX PA select
// <1=> BLE_RF_TX_MODE_SPA_MODE (-20~6 dBm TX power for GR5331/GR5330, -20~5 dBm TX power
for GR5332)
// <2=> BLE_RF_TX_MODE_UPA_MODE (-15~2 dBm TX power for GR5331/GR5330)
// <3=> BLE_RF_TX_MODE_HPA_MODE (-10~15 dBm TX power for GR5332)
#ifndef RF_TX_PA_SELECT
#define RF_TX_PA_SELECT 3
#endif
```

- 6. 参考2.6.1 蓝牙广播参数，设置广播间隔时间为1s、广播持续时间为30s，并按测试条件设置TX功率（-10 dBm、0 dBm、6 dBm、15dBm）。
- 7. 重新编译ble_app_pcs工程，生成固件，并使用Keil或GProgrammer将固件下载至待测芯片Flash。
- 8. 设置功耗分析仪的采样时间为10s。
- 9. 复位SK板，上电SoC。
- 10. 点击Keysight 14585A软件界面上方的 图标进入“Data Logger”页面，然后点击底部的“Data Log”按钮，开始记录功耗测量数据。
- 11. 等待采样时间结束，从Keysight 14585A软件界面查看测量的功耗电流。

• 测试参考结果

测试参考功耗数据如下表所示：

表 3-14 广播射频功耗数据（HPA模式）

测试场景	供电方式	测试参数	TX Power = -10 dBm		TX Power = 0 dBm		TX Power = 6 dBm		TX Power = 15 dBm	
			Process	TX	Process	TX	Process	TX	Process	TX
广播功耗测试 (HPA)	SYS_LDO	平均功耗电流（mA）	5.297	12.433	18.595	25.606	22.821	32.745	54.331	87.301
		时间（ms）	2.212	0.369	2.212	0.369	2.212	0.369	2.212	0.369
		电流*时间（uc）	11.717	4.588	41.132	9.449	50.480	12.083	120.18	32.214

3.6 连接功耗测试

3.6.1 连接功耗细分说明

连接期间的功耗细分如下图所示：

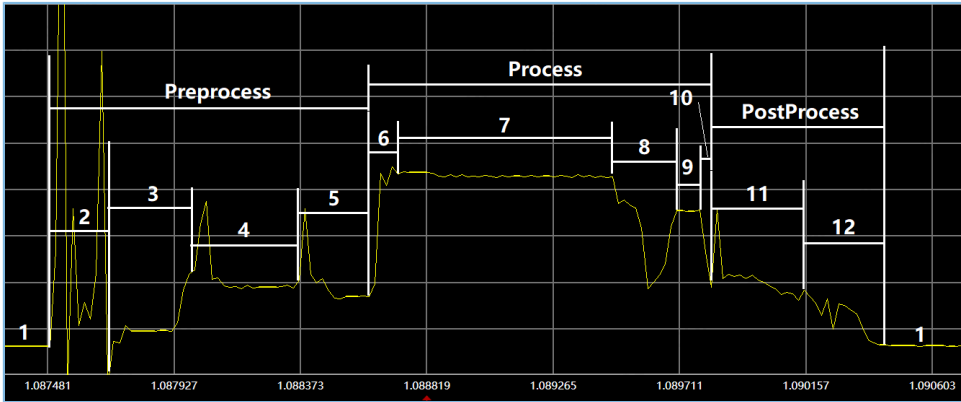


图 3-5 连接功耗细分

连接细分阶段的具体说明如下表所示：

表 3-15 连接功耗细分说明

过程	阶段	描述
/	1	系统处于Sleep状态
PreProcess	2	唤醒系统（包括DC-DC、SYS_LDO及DIGCORE模块）
	3	HFXO启动
	4	热启动
	5	系统处于空闲模式
Process	6	RF准备
	7	RX
	8	RX切换为TX
	9	TX
	10	RF结束
PostProcess	11	检查睡眠条件
	12	系统进入睡眠模式

3.6.2 连接状态下的射频功耗测试

连接状态下的RF功耗测试，即测试芯片在连接状态下的射频活跃期间功耗。

- 测试条件



表 3-16 连接射频功耗测试条件

参数	条件
连接参数（ms）	100
连接数据（bytes）	0
Bluetooth LE PHY	1M-PHY、2M-PHY
射频功率放大器（PA）	GR5331芯片采用UPA；GR5332芯片采用SPA
TX发射功率（dBm）	0

- 测试步骤

- 参考2.3 配置SK板RF PA匹配网络，根据待测设备的RF功率放大器类型，配置SK板RF PA匹配网络。
- 参考2.4 连接硬件，连接SK板、功耗分析仪及PC。
- 按照表 3-1 设置VBAT电压，并打开电源。
- 参考2.5 配置固件，根据功耗测试场景需求，修改固件配置。
- 在`custom_config.h`（位于`ble_app_pcs\Src\config`目录）中，根据RF功率放大器类型，配置宏`RF_TX_PA_SELECT`的值。

```
// <o> RF TX PA select
// <1=> BLE_RF_TX_MODE_SPA_MODE (-20~6 dBm TX power for GR5331/GR5330, -20~5 dBm TX power
// for GR5332)
// <2=> BLE_RF_TX_MODE_UPA_MODE (-15~2 dBm TX power for GR5331/GR5330)
// <3=> BLE_RF_TX_MODE_HPA_MODE (-10~15 dBm TX power for GR5332)
#ifndef RF_TX_PA_SELECT
#define RF_TX_PA_SELECT 1
#endif
```

- 参考2.6.1 蓝牙广播参数，设置广播间隔时间为1s、广播持续时间为30s、TX 功率为0 dBm。
- 重新编译`ble_app_pcs`工程，生成固件，并使用Keil或GProgrammer将固件下载至待测芯片Flash。
- 复位SK板，上电SoC。
- 参考2.6.2 蓝牙连接参数，使用GRToolbox连接待测蓝牙设备，设置连接参数为100 ms（设置值为“80”），并按照测试条件设置PHY模式（1M-PHY、2M-PHY）。
- 设置功耗分析仪的采样时间为10s。
- 点击Keysight 14585A软件界面上方的  图标进入“Data Logger”页面，然后点击底部的“Data Log”按钮 ，开始记录功耗测量数据。
- 等待采样时间结束，从Keysight 14585A软件界面查看测量的功耗电流。

- 测试参考结果：
测试参考功耗数据如下表所示：

表 3-17 GR5331芯片在连接状态下的射频功耗数据

测试场景	供电方式	Bluetooth PHY模式	测试参数	Process
连接	DC-DC	1M-PHY	平均功耗电流（mA）	3.505
			时间（ms）	0.532
			电流*时间（uc）	1.889
		2M-PHY	平均功耗电流（mA）	3.638
			时间（ms）	0.471
			电流*时间（uc）	1.713

表 3-18 GR5332芯片在连接状态下的射频功耗数据

测试场景	供电方式	Bluetooth PHY模式	测试参数	Process
连接	DC-DC	1M-PHY	平均功耗电流（mA）	4.182
			时间（ms）	0.532
			电流*时间（uc）	2.225
		2M-PHY	平均功耗电流（mA）	4.334
			时间（ms）	0.471
			电流*时间（uc）	2.041
	SYS_LDO	1M-PHY	平均功耗电流（mA）	14.487
			时间（ms）	0.532
			电流*时间（uc）	7.707
		2M-PHY	平均功耗电流（mA）	14.682
			时间（ms）	0.471
			电流*时间（uc）	6.915

3.7 扫描功耗测试

3.7.1 扫描功耗细分说明

蓝牙扫描期间的功耗细分如下图所示：

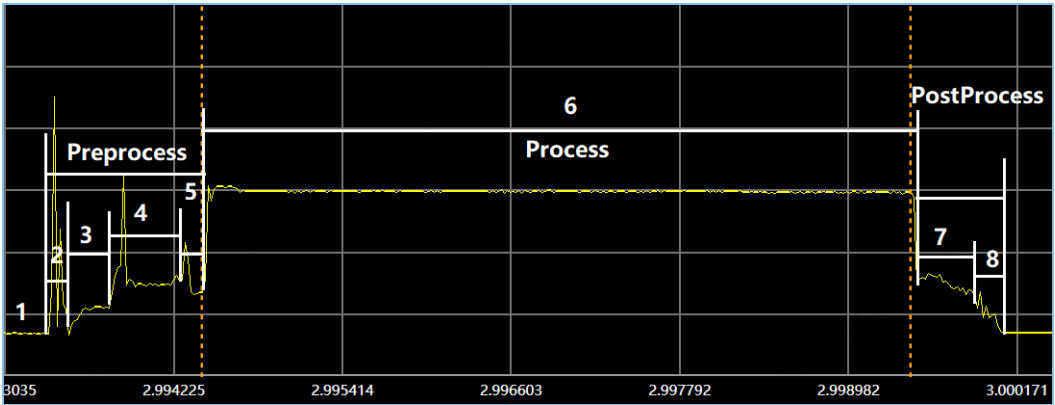


图 3-6 扫描功耗细分

扫描细分阶段具体说明如下表所示：

表 3-19 扫描功耗细分说明

过程	阶段	描述
PreProcess	1	系统处于Sleep状态
	2	唤醒系统（包括DC-DC、SYS_LDO及DIGCORE模块）
	3	HFXO启动
	4	热启动
	5	系统处于空闲模式
Process	6	RX
PostProcess	7	检查睡眠条件
	8	系统进入睡眠模式

3.7.2 扫描状态下的射频功耗测试

扫描状态下的RF功耗测试，即测试芯片在扫描期间的射频功耗。

- 测试条件：

表 3-20 扫描射频功耗测试条件

参数	条件
芯片系列	GR5331
扫描间隔（ms）	100
开窗时间（ms）	5
射频功率放大器（PA）	UPA

- 测试步骤

说明:

测试扫描射频功耗测试时，基于ble_app_cts_c示例工程（位于SDK_Folder\projects\ble\ ble_central\ ble_app_cts_c）编译生成功耗测试固件。



1. 参考2.3 配置SK板RF PA匹配网络，配置SK板RF PA匹配网络为4元件匹配。
2. 参考2.4 连接硬件，连接SK板、功耗分析仪及PC。
3. 按照表 3-1 设置VBAT电压，并打开电源。
4. 参考2.5 配置固件，根据功耗测试场景需求，修改custom_config.h文件（位于ble_app_cts_c\Src\config目录）中的固件配置。
5. 在user_app.c文件（位于ble_app_cts_c\Src\user目录）中，设置广播间隔时间为100 ms，开窗时间为5 ms。

```
/**@brief Gapm config data. */
#define APP_SCAN_INTERVAL 160      /**< Determines scan interval(in units of 0.625 ms). */
#define APP_SCAN_WINDOW 8          /**< Determines scan window(in units of 0.625 ms). */
```

- 配置宏APP_SCAN_INTERVAL，可设置扫描间隔时间，单位：0.625 ms。例如，若配置APP_SCAN_INTERVAL宏的值为“160”，则扫描间隔时间 = 160 * 0.625 ms = 100 ms。
- 配置宏APP_SCAN_WINDOW，可设置扫描开窗时间，单位：0.625 ms。例如，若配置APP_SCAN_WINDOW宏的值为“8”，则扫描开窗时间 = 8 * 0.625 ms = 5 ms。

6. 在user_periph_setup.c文件（位于ble_app_cts_c\Src\platform目录）中，将app_periph_init()函数中的board_init()和app_uart_receive_async()函数代码注释掉，并设置芯片空闲时进入Sleep模式。

```
void app_periph_init(void)
{
    SYS_SET_BD_ADDR(s_bd_addr);
    //board_init();
    //app_uart_receive_async(APP_UART_ID, s_uart_rx_buffer, UART_RX_BUFFER_SIZE);
    pwr_mgmt_mode_set(PMR_MGMT_SLEEP_MODE);
}
```

7. 重新编译ble_app_cts_c工程，生成固件，并使用Keil或GProgrammer将固件下载至待测芯片Flash。
8. 设置功耗分析仪的采样时间为10s。
9. 复位SK板，上电SoC。
10. 点击Keysight 14585A软件界面上方的  图标进入“Data Logger”页面，然后点击底部的“Data Log”按钮 ，开始记录功耗测量数据。
11. 等待采样时间结束，从Keysight 14585A软件界面查看测量的功耗电流。

- 测试参考结果

Process期间的扫描功耗测试数据如下表所示：

表 3-21 GR5331芯片在扫描状态下的射频功耗数据

供电方式	平均功耗电流（mA）	时间（ms）	电流*时间（uc）
DC-DC	4.570	5	22.85

3.8 应用场景功耗测试

应用场景功耗测试，即测试芯片在不同广播/连接间隔应用场景下的功耗。

- 测试条件：

表 3-22 应用场景功耗测试条件

参数	条件
广播间隔（ms）	500、1000、2000
连接间隔（ms）	7.5、30、45、100、400、1000
广播数据（bytes）	31
连接数据（bytes）	0
Bluetooth PHY	1M-PHY、2M-PHY
射频功率放大器（PA）	GR5331芯片采用UPA；GR5332芯片采用SPA
TX发射功率（dBm）	0

- 测试步骤

若测试广播功耗，则参考[3.5.2 广播状态下的射频功耗测试](#)的测试步骤；若测试连接功耗，则参考[3.6.2 连接状态下的射频功耗测试](#)的测试步骤。

- 测试参考结果

各应用场景下的测试功耗参考数据如下表所示：

表 3-23 GR5331芯片在不同应用场景下的功耗电流

测试场景	供电方式	PHY	平均功耗电流（μA）
ADV_500ms	DC-DC	1M-PHY	22.3
	SYS_LDO		48.6
ADV_1000ms	DC-DC	1M-PHY	12.4
	SYS_LDO		25.8
ADV_2000ms	DC-DC	1M-PHY	7.7
	SYS_LDO		14.5
CONN_7.5ms	DC-DC	1M-PHY	558.6
		2M-PHY	547.2
	SYS_LDO	1M-PHY	1182

测试场景	供电方式	PHY	平均功耗电流（μA）
CONN_30ms	DC-DC	2M-PHY	1012
		1M-PHY	144.1
	SYS_LDO	2M-PHY	136
		1M-PHY	299.7
		2M-PHY	296.2
CONN_45ms	DC-DC	1M-PHY	93.5
		2M-PHY	89.8
	SYS_LDO	1M-PHY	212.4
		2M-PHY	199.5
CONN_100ms	DC-DC	1M-PHY	47.8
		2M-PHY	44.4
	SYS_LDO	1M-PHY	98.3
		2M-PHY	95
CONN_400ms	DC-DC	1M-PHY	17.1
		2M-PHY	16.4
	SYS_LDO	1M-PHY	33.9
		2M-PHY	33.2
CONN_1000ms	DC-DC	1M-PHY	10.3
		2M-PHY	10.2
	SYS_LDO	1M-PHY	20.9
		2M-PHY	20.4

表 3-24 GR5332芯片在不同应用场景下的功耗电流

测试场景	供电方式	PHY	平均功耗电流（μA）
ADV_500ms	DC-DC	1M-PHY	28.6
	SYS_LDO		65.6
ADV_1000ms	DC-DC	1M-PHY	15.6
	SYS_LDO		34.4
ADV_2000ms	DC-DC	1M-PHY	9.4
	SYS_LDO		18.8
CONN_7.5ms	DC-DC	1M-PHY	567.3
		2M-PHY	561.4
	SYS_LDO	1M-PHY	1306
		2M-PHY	1204
CONN_30ms	DC-DC	1M-PHY	149.5
		2M-PHY	143.2

测试场景	供电方式	PHY	平均功耗电流 (μA)
CONN_45ms	SYS_LDO	1M-PHY	330.4
		2M-PHY	313.8
	DC-DC	1M-PHY	103.7
		2M-PHY	98.3
CONN_100ms	SYS_LDO	1M-PHY	229.5
		2M-PHY	313.1
	DC-DC	1M-PHY	49.1
		2M-PHY	47.9
CONN_400ms	SYS_LDO	1M-PHY	109
		2M-PHY	102.5
	DC-DC	1M-PHY	17.3
		2M-PHY	16.8
CONN_1000ms	SYS_LDO	1M-PHY	36.7
		2M-PHY	36
	DC-DC	1M-PHY	10.7
		2M-PHY	10.6
	SYS_LDO	1M-PHY	22.2
		2M-PHY	22.3

3.9 最低工作电压功耗测试

最低工作电压功耗测试，即测试芯片在最低工作电压（2.0 V）时各功耗模式的功耗与射频功耗。

- 测试条件

表 3-25 最低工作电压功耗测试条件

参数	条件
供电电压 (V)	2.0
广播间隔 (ms)	1000
广播数据 (bytes)	31
射频功率放大器 (PA)	GR5331芯片采用UPA；GR5332芯片采用SPA
TX发射功率 (dBm)	0

3.9.1 各功耗模式的功耗测试

- 测试步骤

最低工作电压与典型工作电压下的各功耗模式的功耗测试步骤基本一致，不同点为SoC供电电压需设置为2.0 V。

- 测试最低工作电压下的Sleep功耗，可参考[3.2 Sleep模式功耗测试](#)的测试步骤。

- 测试最低工作电压下的IDLE功耗，可参考[3.3 IDLE模式功耗测试](#)的测试步骤。
- 测试最低工作电压下的Active功耗，可参考[3.4 Active模式功耗测试](#)的测试步骤。
- 测试参考结果

最低工作电压下的测试功耗参考数据如下表所示：

表 3-26 GR533x芯片在最低工作电压下各功耗模式的功耗

功耗模式	平均功耗电流
Sleep	2.36 μ A
IDLE	1.75 mA
Active	3.26 mA

3.9.2 射频功耗测试

- 测试步骤
- 最低工作电压下的RF功耗测试，可参考[3.5.2 广播状态下的射频功耗测试](#)的测试步骤。其中，SoC供电电压需设置为2.0 V。

- 测试参考结果
- 最低工作电压下的RF功耗测试数据如下表所示：

表 3-27 GR5331芯片在最低工作电压下的RF功耗

测试参数	Process	TX	RX
平均功耗电流（mA）	5.09	5.55	7.29
时间（ms）	2.212	/	/
电量= 电流*时间（ μ c）	11.26	/	/

表 3-28 GR5332芯片在最低工作电压下的RF功耗

测试参数	Process	TX	RX
平均功耗电流（mA）	7.26	9.23	7.64
时间（ms）	2.212	/	/
电量= 电流*时间（ μ c）	16.06	/	/