GR551x功耗模式及功耗测量说明

版本： **2.1**

发布日期： **2022-09-30**

深圳市汇顶科技股份有限公司

版权所有 © 2022 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，不得暗中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：深圳市福田保税区腾飞工业大厦B座12-13层

电话：+86-755-33338828　　邮编：518000

网址：www.goodix.com

前言

编写目的

本文档将介绍GR551x系列芯片的功耗模式、功耗管理模式以及示例应用详解，以指导用户快速配置系统的功耗管理模式。

读者对象

本文适用于以下读者：

- GR551x用户
- GR551x开发人员
- GR551x测试人员
- 开发爱好者
- 文档工程师

版本说明

本文档为第9次发布，对应的产品系列为GR551x。

修订记录

版本	日期	修订内容
1.0	2019-12-08	首次发布
1.3	2020-03-16	更新“IO管脚配置”章节描述
1.5	2020-05-30	优化“睡眠模式”和“IO管脚配置”章节描述
1.6	2020-06-30	• 删除“IO管脚配置”章节代码中msio的声明 • 优化“睡眠流程验证”章节描述及示意图 • 删除“软件配置”章节中io_table的配置说明
1.7	2020-09-25	“环境搭建”章节，补充开始功耗测量前需先移除J5上跳线帽的说明、增加开发板硬件布局图
1.8	2021-08-09	更新“准备工作”章节
1.9	2022-02-20	基于SDK修改固件名称
2.0	2022-06-24	全文优化描述
2.1	2022-09-30	• 更新“配置示例工程”和“实现功耗管理模式”章节代码名称、代码路径和代码内容 • 删除“配置功耗管理模式”章节重复的说明

版权所有 © 2022 深圳市汇顶科技股份有限公司

目录

前言 I

1 简介 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 参考文档 3

2 Demo测试以及验证 4

2.1 准备工作 4
2.2 睡眠模式唤醒流程验证 4
2.2.1 配置示例工程 4
2.2.2 固件烧录 6
2.2.3 输出波形验证 6

3 功耗管理模式配置 7

3.1 实现功耗管理模式 7
3.2 配置功耗管理模式 7

4 IO管脚配置 9

4.1 配置原则 9
4.2 软件配置 11

5 测量功耗 13

5.1 测量原理 13
5.2 环境搭建 13
5.3 进行测量 14

6 常见问题 16

6.1 热启动外设无法正常操作 16
6.2 J-Link断开 16
6.3 J-Link无法链接 16

版权所有 © 2022 深圳市汇顶科技股份有限公司

1 简介

本章介绍了GR551x芯片的功耗模式、低功耗模式的唤醒源及其切换流程。

1.1 功耗模式

GR551x芯片支持三种功耗模式：工作模式、空闲模式、睡眠模式。

- 工作模式（Active Mode）

  此模式下CPU处于全速运行状态，典型的情况是：

  - 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。

- 空闲模式（Idle Mode）

  此模式下通过ARM系列自带的WFI/WFE（Wait For Interrupt/Event）指令实现。当调用此指令时，PC指针停留在WFI/WFE指令处，当发生IRQ或者Event来唤醒CPU时，PC指针指向下一条指令并继续执行。系统会根据外设/蓝牙子系统/Timer的使用情况自动判断是否进入该状态。

- 睡眠模式（Sleep Mode）

  此模式下HFXO_32M时钟停止运行，MCU子系统（Retention SRAM除外）和蓝牙子系统均处于断电状态，系统只有Always-on（AON）模块的电源运行，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（BLE）Timer、Sleep Timer、Real Time Calendar、AON GPIO）供电。当系统没有任务处理时，可以进入Sleep Mode。

系统功耗模式切换过程如下图所示，系统会自动根据当前的状态进行切换。

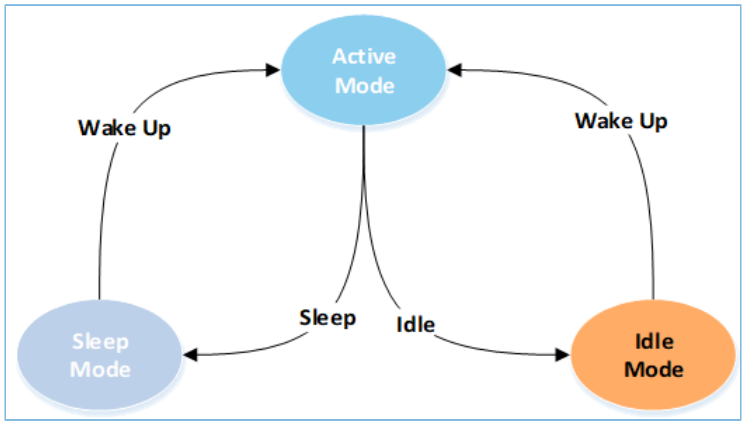

图 1-1 系统功耗模式切换过程

1.2 唤醒源

唤醒源可将系统从低功耗模式中唤醒，包括从Idle Mode唤醒为Active Mode、从Sleep Mode唤醒为Active Mode。

Idle Mode唤醒源：

版权所有 © 2022 深圳市汇顶科技股份有限公司

- Reset
- NVIC Event
- Debug Event

Sleep Mode唤醒源：

- BLE Timer
- Sleep Timer
- Real Time Calendar
- AON GPIO
- LPCOMP
- Reset

用户可以调用SDK的API来配置唤醒源：

```
void pwr_mgmt_wakeup_source_setup(uint32_t wakeup_source);
```

唤醒源配置详情，请参考《GR551x Datasheet》。

1.3 功耗模式切换流程

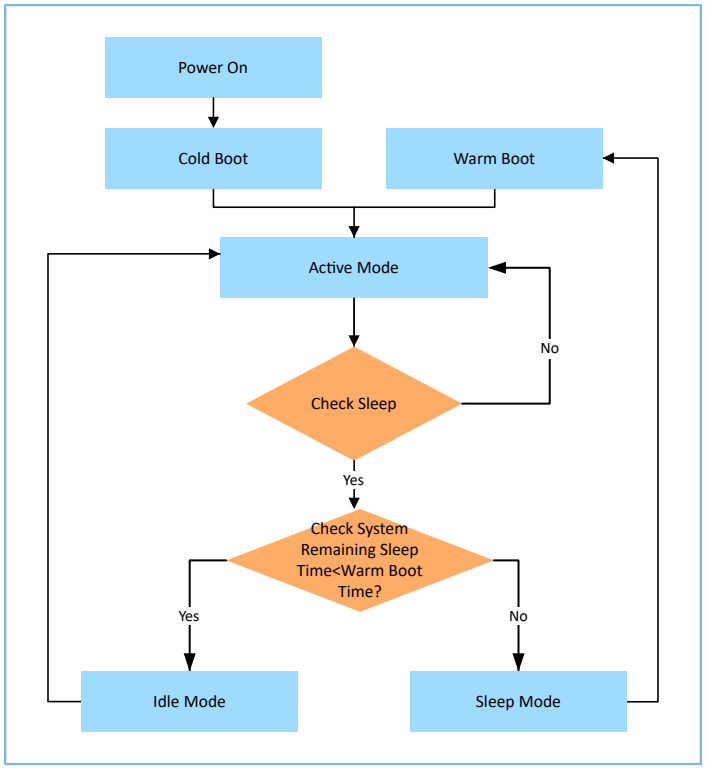

图 1-2 功耗模式切换流程图

一个典型的功耗模式切换流程（比如用户同时使用BLE和外设）描述如下：

1. 系统上电，冷启动。

版权所有 © 2022 深圳市汇顶科技股份有限公司

2. 进入Active Mode。
3. 当无业务逻辑处理时，系统进入Check Sleep单元，检查当前系统是否空闲。
4. 如果Check Sleep单元输出为YES，则判断系统空余时间（如BLE Timer、Sleep Timer、RTC等timer的到期时间）。 若小于热启动耗时，则系统会进入Idle Mode；若剩余系统空闲时间大于热启动耗时，则系统进入Sleep Mode，等待被唤醒。
5. 如果Check Sleep单元输出为No，则系统保持在Active Mode。

说明:

从Sleep Mode进入热启动流程需要一段启动时间且启动电流较大。睡眠时间较短时（如小于2 ms），系统进入Sleep Mode后功耗降低不明显。从系统综合性能考虑，当睡眠时间较长时，系统进入Sleep Mode的平均功耗更低。

1.4 参考文档

在进行操作前，可参考以下文档。

表 1-1 文档参考

名称	描述
GR551x开发者指南	介绍GR551xSDK以及基于SDK的应用开发和调试
Keil用户指南	Keil详细操作说明：www.keil.com/support/man/docs/uv4/
Bluetooth GATT Spec	Bluetooth Profile和Service的详细信息查看地址：www.bluetooth.com/specifications/gatt
GR551x Datasheet	介绍GR551x芯片引脚分布、内存、PMU、时钟、外设、安全核心、通信子系统和封装信息。

版权所有 © 2022 深圳市汇顶科技股份有限公司

2 Demo测试以及验证

本章介绍如何使用和验证带睡眠模式的示例工程，SDK_Folder\projects\ble\ble_peripheral\目录下的示例工程均支持睡眠模式。

说明:

SDK_Folder为SDK的根目录。

2.1 准备工作

应用工程示例之前，需要完成以下准备工作。

- 硬件准备

表 2-1 硬件准备

名称	描述
开发板	GR5515 Starter Kit开发板（以下简称“开发板”）
连接线	Micro USB 2.0数据线、USB 2.0数据线
逻辑分析仪	Saleae逻辑分析仪、KeySight测试仪

- 软件准备

表 2-2 软件准备

名称	描述
Windows	Windows 7/Windows 10操作系统
J-Link Driver	J-Link驱动程序，下载网址：https//www.segger.com/downloads/jlink/
Keil MDK5	IDE工具，支持MDK-ARM 5.20 及以上版本，下载网址：https://www.keil.com/download/product/

2.2 睡眠模式唤醒流程验证

当系统处于Sleep Mode时，一旦产生BLE timer中断，系统将被唤醒并进入热启动流程。在热启动流程代码中，通过添加GPIO初始化模块（比如GPIO翻转），可实现GPIO在系统Sleep Mode和热启动下输出相应的消息，以验证睡眠模式与热启动流程之间转换是否正常。

下面章节将对睡眠流程验证的各步骤进行详细描述。

2.2.1 配置示例工程

本文档以ble_app_pcs示例工程为例进行配置说明。

版权所有 © 2022 深圳市汇顶科技股份有限公司

说明:

- Ultra Deep Sleep是一种特殊的Deep Sleep模式。在该模式下，除Always-on（AON）模块的电源运行外，其他电源域均关闭电源，Retention SRAM电源也会被关闭，所以通过AON GPIO或Sleep Timer唤醒后，程序将执行冷启动流程。用户必须通过调用SDK层的pwr_mgmt_ultra_sleep()才可以进入Ultra Deep Sleep模式。
- ble_app_pcs开始运行时，系统会调用pwr_mgmt_ultra_sleep()进入Ultra Deep Sleep，并设置AON_GPIO为唤醒源。长按开发板上的OK键3秒以上可以将系统从Ultra Deep Sleep中唤醒，并发起持续时长为30秒的广播。

1. 用Keil打开ble_app_pcs工程，路径为：`SDK_Folder\projects\ble\ble_peripheral\ble_app_pcs\Keil_5\ble_app_pcs.uvprojx`
2. 在热启动流程的代码（main_init函数）中，添加GPIO初始化函数。

   用户可使用GPIO输出信息，该GPIO应该是当前应用工程中未被使用的GPIO（如AON_GPIO_3）。

```
void main_init(void)
{
    uint32_t boot_flag = get_wakeup_flag();
    if ( COLD_BOOT == boot_flag )
    {
        extern void __main(void);
        __main();
    }
    else
    {
        ll_aon_gpio_set_pin_mode(LL_AON_GPIO_PIN_3, LL_AON_GPIO_MODE_OUTPUT);
        ll_aon_gpio_disable_it(LL_AON_GPIO_PIN_3);
        ll_aon_gpio_toggle_pin(LL_AON_GPIO_PIN_3);
        ll_aon_gpio_toggle_pin(LL_AON_GPIO_PIN_3);

        warm_boot_process();
        while (1);
    }
    // Never execute here
}
```

说明:

名称：*gr_platform.c*

路径：`SDK_Folder\platform\soc\common`

需要在该文件开始处添加`#include "gr55xx_ll_aon_gpio.h"`，防止编译错误。

3. 配置系统功耗管理模式为睡眠自动管理模式：将pwr_mgmt_mode_set()函数的入参设置为：PMR_MGMT_SLEEP_MODE。

```
void app_periph_init(void)
```

版权所有 © 2022 深圳市汇顶科技股份有限公司

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

说明:

名称：*user_periph_setup.c*

路径：SDK_Folder\projects\ble\ble_peripheral\ble_app_pcs\Src\platform\

2.2.2 固件烧录

ble_app_pcs工程的源码位于SDK_Folder\projects\ble\ble_peripheral\ble_app_pcs。

用户可使用GProgrammer将*ble_app_pcs.bin*烧录至开发板。GProgrammer烧录固件的具体操作方法，请参考《GProgrammer用户手册》。

说明:

- *ble_app_pcs.bin*位于SDK_Folder\projects\ble\ble_peripheral\ble_app_pcs\Keil_5\Listings\。
- GProgrammer位于SDK_Folder\tools\GProgrammer。

2.2.3 输出波形验证

使用逻辑分析仪器捕捉GPIO口（AON_GPIO_3）的输出波形。

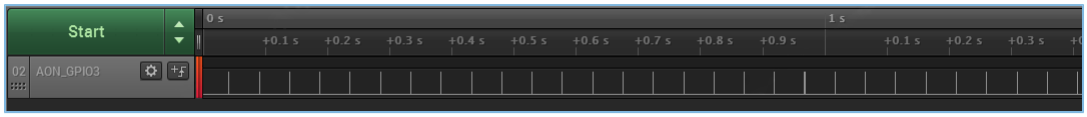

图 2-1 逻辑分析仪捕捉GPIO口的输出波形

AON_GPIO_3输出周期性的脉冲波（见图 2-1），表示系统的睡眠模式与热启动流程正常配合。其中，两次脉冲之间代表系统进入Sleep Mode。当BLE Timer中断到来即刻唤醒整个系统，使系统进入热启动。热启动流程中，GPIO被初始化，AON_GPIO_3翻转为高电平。

说明:

系统处于Sleep Mode时J-Link会断开，用户无法进行在线调试。推荐使用GPIO方式输出外部信息进行Sleep Mode调试。

版权所有 © 2022 深圳市汇顶科技股份有限公司

3 功耗管理模式配置

本章主要介绍如何配置功耗管理模式：睡眠自动管理模式（PMR_MGMT_SLEEP_MODE）、Idle自动管理模式（PMR_MGMT_IDLE_MODE）和Active管理模式（PMR_MGMT_ACTIVE_MODE）。

3.1 实现功耗管理模式

以ble_app_pcs工程为例，其main函数基本能满足常规的低功耗应用。用户可通过pwr_mgmt_schedule函数自动实现各种功耗管理模式。该main函数的代码片段如下所示。

```
int main(void)
{
    // Initialize user peripherals.
    app_periph_init();

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

    // Initialize ble stack.
    ble_stack_init(ble_evt_handler, &heaps_table);

    // Loop
    while (1)
    {
        pwr_mgmt_schedule();
    }
}
```

说明:

名称：*main.c*

路径：SDK_Folder\projects\ble\ble_peripheral\ble_app_pcs\Src\user\

3.2 配置功耗管理模式

用户可通过pwr_mgmt_mode_set()函数配置系统的功耗管理模式。

```
/**
*********************************************************************
 * @brief  Set the specified sleep mode. When the setting is completed, the system will
 *         automatically enter the specified sleep mode through the strategy.
 * @param[in] pm_mode : sleep level
 * @retval : void
*********************************************************************
 */
 void pwr_mgmt_mode_set(pwr_mgmt_mode_t pm_mode);
```

版权所有 © 2022 深圳市汇顶科技股份有限公司

说明:

名称：*gr55xx_pwr.h*

路径：`SDK_Folder\components\sdk`

pwr_mgmt_mode_set()的形参pm_mode，用于设置系统的功耗管理模式。

表 3-1 pwr_mgmt_mode_t的取值

pm_mode值	说明
PMR_MGMT_ACTIVE_MODE	Active管理模式，系统保持在Active Mode，全速运行。
PMR_MGMT_IDLE_MODE	Idle自动管理模式，系统会自动在Active Mode与Idle Mode之间切换。 • 有待处理任务时，系统处于Active Mode。 • 无待处理任务时，系统处于Idle Mode，等待中断唤醒后进入Active Mode。
PMR_MGMT_SLEEP_MODE	睡眠自动管理模式，系统会自动在Active Mode、Idle Mode、Sleep Mode之间切换。 • 当有待处理任务时，系统处于Active Mode。 • 无待处理任务时，系统根据可预测的睡眠时间（AON Timer 与BLE Timer均可预测睡眠时间）判断进入Idle Mode或Sleep Mode。

版权所有 © 2022 深圳市汇顶科技股份有限公司

4 IO管脚配置

4.1 配置原则

芯片提供片上可编程上/下拉电阻，以替代外部电阻，节省空间和成本；还可以防止未被使用的GPIO管脚处于浮空状态，避免额外电流从VDDIO电源泄露。

说明:

用户不可为GPIO管脚同时配置上拉电阻和下拉电阻。单个电阻的值约为100 kΩ。GR551x上电后，默认为所有GPIO管脚配置下拉电阻。

使能片上配置上/下拉电阻应遵循以下规则：

1. GPIO管脚处于浮空状态，当引脚上有外部干扰电压时，GPIO管脚则应使能内部上/下拉电阻。
2. GPIO管脚未使用，则使能内部下拉电阻。
3. GPIO管脚设为输入且该管脚被外部设备拉高/低时，则应禁能内部上/下拉电阻。
4. GPIO管脚作为输入且连接的外部设备处于高阻抗状态，则应使能内部上/下拉电阻。
5. GPIO管脚设为输出时，则应禁能内部上/下拉电阻。

关于遵循原则的部分说明和电路原理如下。

1. 如果GPIO管脚处于浮空状态，当引脚上有外部干扰电压时可能导致输入门导通，从VDDIO经过输入门产生额外电流。在某些情况下，从VDDIO流出的电流较大可能导致芯片运行异常。

   GPIO管脚的简要工作原理如图 4-1所示：

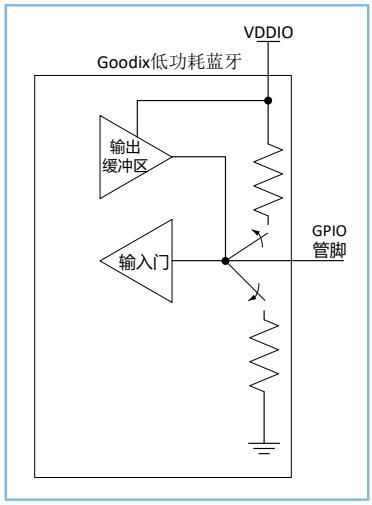

图 4-1 GPIO管脚电路

2. GPIO管脚用作输入且有外部驱动设备连接时，上/下拉电阻通常应被禁用，否则可能会引起VDDIO电流泄露。

版权所有 © 2022 深圳市汇顶科技股份有限公司

说明:

但当外部驱动设备进入高阻抗状态时，如果GR551x输入还处于浮空状态，这可能会导致额外电流流出。因此，当外部驱动设备进入高阻抗状态时，需使能相应的上/下拉电阻。

(1) GPIO管脚设为输入，将片上电阻配置为上拉电阻，且该管脚的外部驱动设备处于低电平状态。电流会从VDDIO泄露，流经上拉电阻到达地线（流经此外部设备），如图 4-2所示。

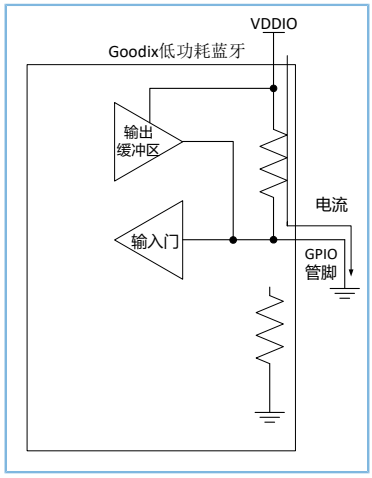

图 4-2 低电平驱动输入时的电流示意图

上拉电阻的电阻值约为100 kΩ，当VDDIO的电压为3.3 V时，如有一个GPIO管脚配置不当，则会有约33 μA的额外电流从VDDIO泄露；如多个GPIO管脚配置不当，则每个管脚都会有33 μA的漏电流产生。

(2) GPIO管脚设为输入，使能下拉电阻而非上拉电阻，所连接的外部设备处于高电平，则无电流从VDDIO泄露，但VDDIO会通过外部器件产生电流，如图 4-3所示。

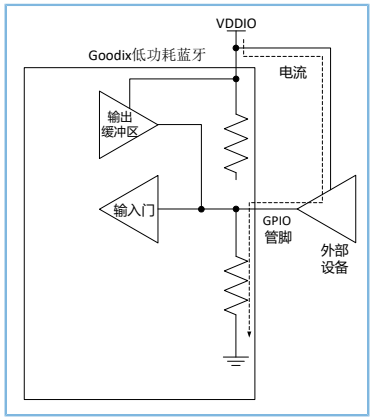

图 4-3 高电平驱动输入时的电流示意图

3. GPIO管脚设为输出时，应禁用上/下拉电阻。否则也可能会引起电流泄露且额外电流会流经该上/下拉电阻。

版权所有 © 2022 深圳市汇顶科技股份有限公司

说明:

但当GPIO设为输出时，内部上/下拉电阻长期处于禁能状态，GR551x输入门的输入和外部设备的输入都会处于浮空状态，而用户须避免出现这样的浮空状态。因此，则在高阻态期间使能上/下拉电阻。

(1) 将GPIO管脚设为输出且为该管脚配置下拉电阻，当输出处于高电平状态时，电流会从VDDIO流向该下拉电阻，如图 4-4所示。

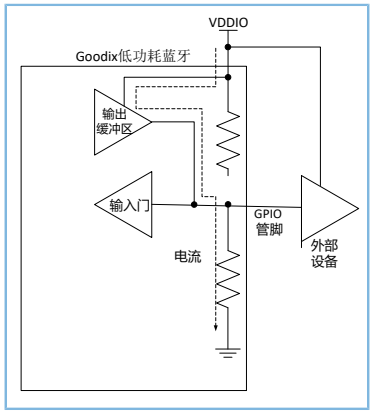

图 4-4 GPIO设为输出且输出高电平的电流图

(2) GPIO管脚设为输出且处于低电平时，使能上拉电阻，泄露的电流会流经此上拉电阻和低电平输出缓冲区，最终到达地线，如图 4-5所示。

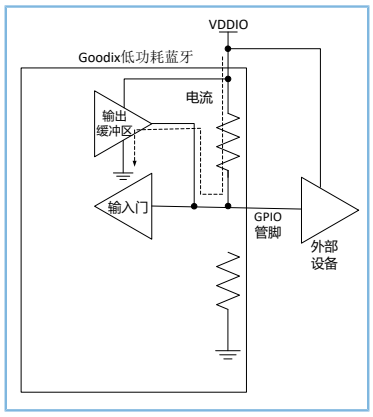

图 4-5 GPIO设为输出且输出低电平的电流图

4.2 软件配置

芯片在上电初始化后，三类IO引脚的初始化状态如下：

- GPIO：输入且使能内部下拉电阻
- AON GPIO：输入且使能内部下拉电阻
- MSIO：模拟输入

为防止IO状态不确定而导致漏电，用户可在实际的外设应用需求中选择合适的上拉或者下拉。例如：

版权所有 © 2022 深圳市汇顶科技股份有限公司

- 对于一般未使用的IO引脚，根据4.1 配置原则中的第2条，可设置为内部下拉。
- I2C模块因设备外部有上拉电阻，根据4.1 配置原则中的第3条，设置SCL/SDA引脚为浮空状态。
- SPI/QSPI模块，可根据通信协议中的CPHA和CPOL配置各引脚初始化状态，如：
  - MODE0：SCLK/CS引脚配置为下拉电阻。
  - MODE3：SCLK/CS引脚配置上拉电阻，其他引脚可配置初始化状态为下拉电阻。

版权所有 © 2022 深圳市汇顶科技股份有限公司

5 测量功耗

本节以开发板作为待测板，简述如何使用功耗测试仪（KeySight N6705C DC Power Analyzer）对其进行功耗测试的方式和概要分析测试结果。

5.1 测量原理

使用功耗测试仪器为芯片供电时，芯片在运行过程中消耗的电流将经过功耗测试仪器，仪器将电流信号记录下来。

根据公式：

P = U * I（P为功耗；U为供电电压；I为电流；）

U为电压保持不变，P的值与I值成正比，因此功耗仪器记录的电流曲线，便可以认为是功耗的曲线。

5.2 环境搭建

按照下图连接开发板（已下载2.2.2 固件烧录的固件）与KeySight功耗测试仪器（以KeySight N6705C为例），将功耗测试仪与开发板进行物理连接。

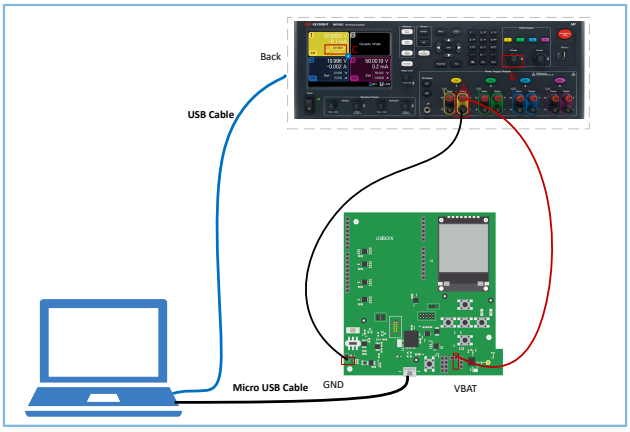

图 5-1 开发板和Keysight板连接图

1. 打开KeySight，用KeySight B按钮将通道的电压输出调整到3.3 V，即KeySight C处显示3.3 V。
2. KeySight的A+连接到开发板的VBAT端（开发板上的J10 Pin 2，如下图所示），为开发板上GR551x芯片供电。

版权所有 © 2022 深圳市汇顶科技股份有限公司

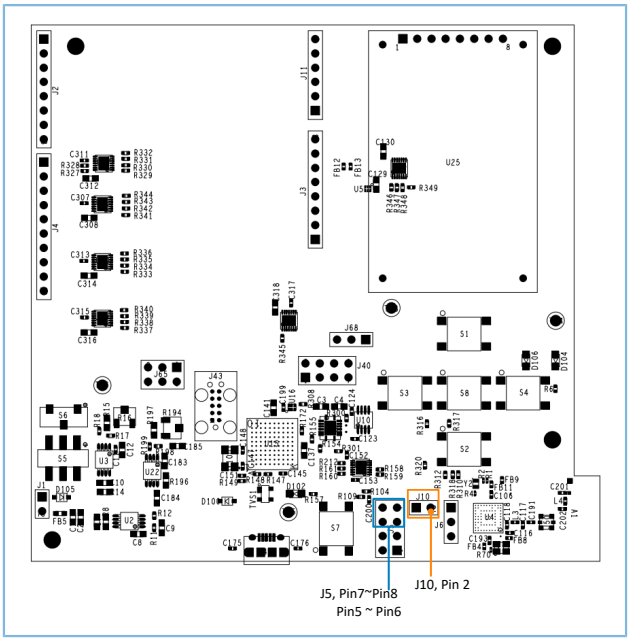

图 5-2 GR5515 Starter Kit开发板的硬件布局（顶层图）

3. KeySight的A-连接到开发板的GND端，形成供电环路。
4. 将开发板Micro USB接口接到PC机的任意USB端口，为开发板芯片外围电路供电。
5. 通过USB线将KeySight与PC机连接。

说明:

在开发板测量功耗前，需要先将如图 5-2所示J5上Pin 5 ～ Pin 6、Pin 7 ～ Pin 8上的跳线帽移除，并取下开发板右上方的LCD屏幕。避免额外电流从VDDIO电源泄露，导致测量睡眠功耗异常。详细说明请参考4.1 配置原则。

5.3 进行测量

基本环境搭建完成后，使用KeySight与PC机的配套软件可以进行功耗的测试。

下图为一个典型的广播业务电流波形图：系统在Sleep模式下唤醒后，进行37、38、39信道的TX/RX业务，业务完毕后，再次进入了Sleep模式。

图 5-3 开发板广播业务功耗测试波形

版权所有 © 2022 深圳市汇顶科技股份有限公司

下图为一个典型的连接业务电流波形图，也有同广播业务类似的电流时序。

图 5-4 开发板连接业务功耗测试波形

6 常见问题

本章列出了系统在热启动、睡眠模式时可能出现的问题和解决办法。

6.1 热启动外设无法正常操作

- 问题描述

  热启动唤醒后，外设不能正常运行。

- 问题分析

  由于外设属于MCU Subsystem域，睡眠期间会关闭电压，导致原先的寄存器配置丢失。

- 处理方法

  推荐用户采用App Drvier外设驱动接口，当热启动唤醒之后，系统会自动初始化外设模块。不推荐使用HAL Driver外设驱动接口，否则会出现唤醒后，在使用HAL层接口时会因外设寄存器未恢复而造成操作失败的情况。

6.2 J-Link断开

- 问题描述

  使能Sleep自动管理模式后，应用程序会进入Sleep Mode。此时J-Link断开，无法继续调试。

- 问题分析

  Sleep Mode下会关闭除Always-on域外的所有电源（包括J-Link电源）。J-Link不能保持正常连接。

- 处理方法

  在开发初期，建议选择Active管理模式或者Idle自动管理模式进行开发。在开发后期，仅需验证睡眠功能是否正常使用。

6.3 J-Link无法链接

- 问题描述

  将使能Sleep自动管理模式的应用下载到开发板，再次使用J-Link链接时，链接失败。

- 问题分析

  开发板大部分时间处于Sleep Mode导致J-Link无法与PC端正常交互，无法链接。

- 处理方法

  使用*custom_config.h*中的BOOT_LONG_TIME配置，使能该字段后，在cold boot阶段，系统会增加500 ms的delay时间，用户可以利用这一段时间完成J-Link的链接，及时的下载代码刷新固件。

版权所有 © 2022 深圳市汇顶科技股份有限公司