

# GR5526功耗模式及功耗测量说明

版本: 1.0

发布日期: 2023-01-10

深圳市汇顶科技股份有限公司

#### 版权所有 © 2023 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

**G@DiX**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: <u>www.goodix.com</u>

# 前言

#### 编写目的

本文档将介绍GR5526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:

- GR5526用户
- GR5526开发人员
- GR5526测试人员
- 开发爱好者
- 文档工程师

#### 版本说明

本文档为第1次发布,对应的产品系列为GR5526。

#### 修订记录

版本	日期	修订内容
1.0	2023-01-10	首次发布

T

前言	I
1 简介	1
1.1 功耗模式	1
1.2 唤醒源	2
1.3 功耗模式切换流程	
1.4 参考文档	3
2 Demo测试以及验证	5
2.1 准备工作	5
2.2 睡眠模式唤醒流程验证	5
2.2.1 配置示例工程	5
2.2.2 固件烧录	7
2.2.3 输出波形验证	7
3 功耗管理模式配置	8
3.1 实现功耗管理模式	
3.2 配置功耗管理模式	
4 IO管脚配置	10
4.1 配置原则	
4.2 软件配置	12
5 测量功耗	14
5.1 测量原理	
5.2 环境搭建	
5.3 进行测量	15
5.4 漏电说明	16
6 常见问题	
<b>6.1</b> 热启动外设无法正常操作	
6.2 J-Link断开	
6.3 J-Link无法链接	18

简介

### 1 简介

本章介绍了GR5526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

GR5526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)

此模式下存在两种状态,系统会自动识别并进行处理。

- WFI状态: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。
- SRPG状态:通过基于WFI/WFE进一步开发的更低功耗的SRPG指令实现的。当调用此指令时,MCU子系统会断电以降低功耗,当发生AON IRQ或者BLE IRQ时,MCU子系统会重新上电并原地唤醒。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

## G@DiX

### 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:

- 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《GR5526 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。
- 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。
- 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
GR5526开发者指南	介绍GR5526SDK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
GR5526 Datasheet	介绍GR5526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。

## 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	GR5526 Starter Kit开发板(以下简称"开发板")
连接线	USB Type-C
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: <u>https//www.segger.com/downloads/jlink/</u>
Keil MDK5	IDE工具,支持MDK-ARM 5.20 及以上版本,下载网址: <u>https://www.keil.com/download/product/</u>

### 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。

## GODiX

🛄 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K2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。
  - 用Keil打开ble\_app\_pcs工程,路径为: SDK\_Folder\projects\ble\ble\_peripheral\ble\_ap
    p\_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)

## G@DiX

```
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\List ings\。
- **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。

### 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。

#### 🛄 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。
	Idle自动管理模式,系统会自动在Active Mode与Idle Mode之间切换。
PMR_MGMT_IDLE_MODE	• 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。
	睡眠自动管理模式,系统会自动在Active Mode、Idle Mode、Sleep Mode之间切
	换。
PMR_MGMT_SLEEP_MODE	• 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。

## 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。GR5526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。

#### 🛄 说明:

但当外部驱动设备进入高阻抗状态时,如果GR5526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。

## GODiX

#### 🛄 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,GR5526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:

## G@DiX

- 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:
  - 。 MODEO: 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。

### 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(己下载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。

## G@DiX

- 2. KeySight的A+连接到开发板的VBAT端(开发板上的J1 Pin 1,如上图所示),为开发板上GR5526芯片 供电。
- 3. KeySight的A-连接到开发板的GND端,即J21 Pin 1,形成供电环路。
- 4. 将拨码开关S1拨到Pin2和Pin3接通。
- 5. 移除J65跳线帽,即不连接J-Link和Uart,避免J-Link和Uart导致的漏电。
- 6. 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。
- 7. 通过USB线将KeySight与PC机连接。

#### 🛄 说明:

在开发板测量功耗前,需要取下开发板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(TX的长度设置为28 bytes payload):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。





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 5-3 开发板连接业务功耗测试波形

## 5.4 漏电说明

开发板集成了USB转串口芯片和电平转换芯片,两种芯片皆由开发板的VIO\_OUT供电,而VIO\_OUT来源 于GR5526芯片内部IO\_LDO供电。基于开发板测量GR5526芯片功耗时,由于电平转换芯片和USB转串口芯片自 身耗电以及不同程度的漏电,测量的GR5526芯片电流值将偏大,导致GR5526芯片功耗测量结果偏大。

#### 🛄 说明:

此漏电说明仅针对于GR5526-SK-BASIC-RevC版本的开发板,不同版本的开发板由于电路设计不同,导致漏电源不同,漏电流大小不同。

如下为USB转串口芯片(U16)和电平转换芯片(U4和U5)的原理图。



图 5-4 USB转串口芯片(U16)原理图



图 5-5 电平转换芯片(U4和U5)原理图

供电电压为3.3 V时,对开发板进行系统级测试,测量的漏电结果如下表所示。

漏电源	漏电量
USB转串口芯片(U16)	30 μΑ
	221 μΑ + 1.5 μΑ
	说明:
电十转换心方(04和05)	其中U5 UART3_RX的漏电量为15 μA, UART3_TX的漏电量为206 μA, U4和U5芯片自身
	耗电量为1.5 μA。

#### 🛄 说明:

不同的开发板板间器件不同,测量时的供电电压不同都将导致漏电量差异,以上数据仅供参考。

## 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。