

**ASR6601 参考手册**

**文档版本 1.5.0 发布日期 2022-08-11**



**版权所有 © 2022 翱捷科技**

**关于本文档**

本文档主要提供 IoT LPWAN SoC 芯片 ASR6601 进行软硬件开发的参考信息。

**读者对象**

本文档主要适用于以下工程师：

* 单板硬件开发工程师
* 软件工程师
* 技术支持工程师

**产品型号**

与本文档相对应的产品型号如下：

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **型号** | **Flash** | **SRAM** | **处理器** | **封装** | **频率** |
| ASR6601SE | 256 KB | 64 KB | 32-bit 48 MHz Arm China STAR-MC1 | QFN68,  8\*8 mm | 150 ~ 960 MHz |
| ASR6601CB | 128 KB | 16 KB | 32-bit 48 MHz Arm China STAR-MC1 | QFN48,  6\*6 mm | 150 ~ 960 MHz |

**版权公告**

版权归 © 2022 翱捷科技股份有限公司所有。保留一切权利。未经翱捷科技股份有限公司的书面许可，不得以任何形式或手段复制、传播、转录、存储或翻译本文档的部分或所有内容。

**商标声明**

 ASR、翱捷和其他翱捷商标均为翱捷科技股份有限公司的商标。

本文档提及的其他所有商标名称、商标和注册商标均属其各自所有人的财产，特此声明。

**免责声明**

翱捷科技股份有限公司对本文档内容不做任何形式的保证，并会对本文档内容或本文中介绍的产品进行不定期更新。

本文档仅作为使用指导，本文的所有内容不构成任何形式的担保。本文档中的信息如有变更，恕不另行通知。

本文档不负任何责任，包括使用本文档中的信息所产生的侵犯任何专有权行为的责任。

**翱捷科技股份有限公司**

地址：上海市浦东新区科苑路399号张江创新园10号楼9楼 邮编：201203 官网[：http://www.asrmicro.com/](http://www.asrmicro.com/)

**文档修订历史**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **日期** | **版本号** | **发布说明** |
| 2021.03 | V1.0.0 | 首次发布。 |
| 2021.05 | V1.1.0 | * 更新第 6 章的综述和表 6-1。 * 更新 16.3 节、16.9 节和 16.14.1 节的部分描述。 * 修正 12.4.13 节 LORAC\_SR 寄存器的描述。 |
| 2021.07 | V1.2.0 | 更新关于 CPU 的描述。 |
| 2022.03 | V1.3.0 | * 增加第 21 章：DMA 和第 22 章：GPTIMER。 * 修正几处笔误。 |
| 2022.05 | V1.4.0 | 由于晶体频率调整，将 RCO4M 修改为 RCO3.6M。 |
| 2022.08 | V1.5.0 | * 更新了 7.5.3 节、8.3.3 节、8.3.4 节、8.3.7 节、8.3.12 节和 8.3.13 节中的部分寄存器位的描述。 * 更新了图 8-1：时钟网络图。 |

# 目录

## 1. 概述 ....................................................................................................................................................... 1 2. ASR6601 简介 ...................................................................................................................................... 2 3. 模块及功能 ............................................................................................................................................ 3

3.1 ASR6601 模块框图 ........................................................................................................................... 3

3.2 ASR6601 功能点............................................................................................................................... 4

## 4. 电源供电 ................................................................................................................................................ 9

4.1 芯片供电管脚 .................................................................................................................................... 9

4.2 芯片内部电源架构 ........................................................................................................................... 10

## 5. 权限控制 .............................................................................................................................................. 11

5.1 简单配置 ......................................................................................................................................... 11

5.1.1 可恢复安全配置 .................................................................................................................. 11

5.1.2 不可恢复安全配置 .............................................................................................................. 11

5.2 访问权限控制 .................................................................................................................................. 11

5.2.1 debuglevel 规则 .................................................................................................................. 11

5.2.2 安全操作与非安全操作 ....................................................................................................... 12

## 6. 工作模式 .............................................................................................................................................. 13

6.1 Run ................................................................................................................................................. 16

6.1.1 进入与退出条件 .................................................................................................................. 16

6.1.2 唤醒源 ................................................................................................................................ 16

6.2 LpRun ............................................................................................................................................. 16

6.2.1 进入与退出条件 .................................................................................................................. 16

6.2.2 唤醒源 ................................................................................................................................ 16

6.3 Sleep ............................................................................................................................................... 17

6.3.1 进入与退出条件 .................................................................................................................. 17

6.3.2 唤醒源 ................................................................................................................................ 17

6.4 LpSleep........................................................................................................................................... 17

6.4.1 进入与退出条件 .................................................................................................................. 17

6.4.2 唤醒源 ................................................................................................................................ 17

6.5 Stop0 .............................................................................................................................................. 18

6.5.1 进入与退出条件 .................................................................................................................. 18

6.5.2 唤醒源 ................................................................................................................................ 18

6.6 Stop1 .............................................................................................................................................. 18

6.6.1 进入与退出条件 .................................................................................................................. 18

6.6.2 唤醒源 ................................................................................................................................ 19

6.7 Stop2 .............................................................................................................................................. 19

6.7.1 进入与退出条件 .................................................................................................................. 19

6.7.2 唤醒源 ................................................................................................................................ 19

6.8 Stop3 .............................................................................................................................................. 20

6.8.1 进入与退出条件 .................................................................................................................. 20

6.8.2 唤醒源 ................................................................................................................................ 20

6.9 Standby........................................................................................................................................... 20

6.9.1 进入与退出条件 .................................................................................................................. 20

6.9.2 唤醒源 ................................................................................................................................ 20

## 7. 系统配置 .............................................................................................................................................. 21

7.1 系统架构 ......................................................................................................................................... 21

7.1.1 Arm China STAR-MC1 微处理器 ........................................................................................ 22

### 7.1.2 DMAC0 ............................................................................................................................... 22 7.1.3 DMAC1 ............................................................................................................................... 22

7.1.4 Master ................................................................................................................................. 22

7.2 存储器映射 ...................................................................................................................................... 23

### 7.2.1 AHB0 SFR .......................................................................................................................... 24 7.2.2 AHB1 SFR .......................................................................................................................... 24

7.2.3 APB0 SFR ........................................................................................................................... 24

7.2.4 APB1 SFR ........................................................................................................................... 25

7.3 SRAM ............................................................................................................................................. 25

7.4 启动方式 ......................................................................................................................................... 26

7.5 系统配置相关寄存器描述 ................................................................................................................ 27

### 7.5.1 SYSCFG\_CR0 .................................................................................................................... 28 7.5.2 SYSCFG\_CR1 .................................................................................................................... 28 7.5.3 SYSCFG\_CR2 .................................................................................................................... 29

7.5.4 SYSCFG-CR3 ..................................................................................................................... 32

7.5.5 SYSCFG\_CR4 .................................................................................................................... 32 7.5.6 SYSCFG\_CR5 .................................................................................................................... 33 7.5.7 SYSCFG\_CR6 .................................................................................................................... 33 7.5.8 SYSCFG\_CR7 .................................................................................................................... 34 7.5.9 SYSCFG\_CR8 .................................................................................................................... 36

7.5.10 SYSCFG\_CR9 .................................................................................................................. 36

7.5.11 SYSCFG\_CR10 ................................................................................................................ 36

7.6 DMA 请求 MUX ............................................................................................................................... 38

## 8. 复位和时钟控制 (RCC)........................................................................................................................ 40

8.1 复位 ................................................................................................................................................. 40

### 8.1.1 外部复位 ............................................................................................................................. 40 8.1.2 上电复位 ............................................................................................................................. 40 8.1.3 系统复位 ............................................................................................................................. 40

8.1.4 低功耗复位 ......................................................................................................................... 40

8.2 时钟 ................................................................................................................................................. 41

8.2.1 系统时钟 SYS\_CLK ........................................................................................................... 42

8.2.2 模块时钟 ............................................................................................................................. 42

8.2.3 时钟输出 MCO ................................................................................................................... 43

8.3 RCC 相关寄存器描述 ...................................................................................................................... 43

8.3.1 RCC\_CR0 ........................................................................................................................... 44 8.3.2 RCC\_CR1 ........................................................................................................................... 46 8.3.3 RCC\_CR2 ........................................................................................................................... 48

8.3.4 RCC\_CGR0 ........................................................................................................................ 50

### 8.3.5 RCC\_CGR1 ........................................................................................................................ 53 8.3.6 RCC\_CGR2 ........................................................................................................................ 54 8.3.7 RCC\_RST0 ......................................................................................................................... 55 8.3.8 RCC\_RST1 ......................................................................................................................... 58

8.3.9 RCC\_RST\_SR .................................................................................................................... 59

8.3.10 RCC\_RST\_CR .................................................................................................................. 60

8.3.11 RCC\_SR ........................................................................................................................... 61

8.3.12 RCC\_SR1 ......................................................................................................................... 62

8.3.13 RCC\_CR3 ......................................................................................................................... 64

## 9. 中断 (Interrupt) ................................................................................................................................... 66

9.1 主要功能 ......................................................................................................................................... 66

9.2 SysTick 功能 ................................................................................................................................... 66

9.3 中断向量表 ...................................................................................................................................... 66

## 10. 嵌入式 Flash ....................................................................................................................................... 68

10.1 简介 ................................................................................................................................................. 68

10.2 主要特性 ......................................................................................................................................... 68

10.3 功能描述 ......................................................................................................................................... 68

10.3.1 Flash info 区划分 ............................................................................................................... 68

10.3.2 EFC\_CR 保护 ................................................................................................................... 69

### 10.3.3 读拍数 .............................................................................................................................. 69 10.3.4 读加速 .............................................................................................................................. 69

10.3.5 指令预取 ........................................................................................................................... 70

10.3.6 Flash Program .................................................................................................................. 70

10.3.7 Flash Erase ....................................................................................................................... 71

10.4 Flash Option Bytes ......................................................................................................................... 72

10.4.1 Flash Option0 ................................................................................................................... 72

10.4.2 Flash Option1 ................................................................................................................... 74

10.5 嵌入式 Flash 相关寄存器描述 ......................................................................................................... 75

10.5.1 EFC\_CR ............................................................................................................................ 76

10.5.2 EFC\_INT\_EN .................................................................................................................... 78

10.5.3 EFC\_SR ............................................................................................................................ 79

### 10.5.4 EFC\_PROG\_DATA0 ........................................................................................................ 80 10.5.5 EFC\_PROG\_DATA1 ........................................................................................................ 80

10.5.6 EFC\_TIMING\_CFG .......................................................................................................... 81

10.5.7 EFC\_PROTECT\_SEQ ...................................................................................................... 81

10.5.8 SERIAL\_NUM\_LOW ......................................................................................................... 82

10.5.9 SERIAL\_NUM\_HIGH ........................................................................................................ 82

10.5.10 OPTION\_CSR\_BYTES ................................................................................................... 82

10.5.11 OPTION\_EXE\_ONLY\_BYTES ....................................................................................... 83

10.5.12 OPTION\_WR\_PROTECT\_BYTES ................................................................................. 84

10.5.13 OPTION\_SECURE\_BYTES0 ......................................................................................... 84

10.5.14 OPTION\_SECURE\_BYTES1 ......................................................................................... 85

## 11. 通用输入输出 (GPIO) .......................................................................................................................... 86

11.1 简介 ................................................................................................................................................. 86

11.2 输出配置 ......................................................................................................................................... 86

11.3 输入配置 ......................................................................................................................................... 86

11.4 输出驱动能力 .................................................................................................................................. 87

11.5 中断 ................................................................................................................................................. 87

11.6 Sleep/Stop0~2 唤醒请求 ................................................................................................................. 87

11.7 Stop3 唤醒请求 ............................................................................................................................... 87

11.8 复用功能控制 .................................................................................................................................. 87

11.9 时钟复位 ......................................................................................................................................... 87

11.10 电源域 ............................................................................................................................................. 88

11.11 低功耗工作与唤醒 ........................................................................................................................... 88

11.12 SWD IO........................................................................................................................................... 88

11.13 BOOT0 的控制 ................................................................................................................................ 88

11.14 GPIO 相关寄存器描述 .................................................................................................................... 89

11.14.1 GPIOx\_OER (x=A, B, C, D) ............................................................................................ 90

11.14.2 GPIOx\_OTYPER (x=A, B, C, D) ..................................................................................... 90

11.14.3 GPIOx\_IER (x=A, B, C, D) .............................................................................................. 90

11.14.4 GPIOx\_PER (x=A, B, C, D) ............................................................................................ 91 11.14.5 GPIOx\_PSR (x=A, B, C, D) ............................................................................................ 91

11.14.6 GPIOx\_IDR (x=A, B, C, D) ............................................................................................. 91

### 11.14.7 GPIOx\_ODR (x=A, B, C, D) ............................................................................................ 92 11.14.8 GPIOx\_BRR (x=A, B, C, D) ............................................................................................ 92 11.14.9 GPIOx\_BSRR (x=A, B, C, D) .......................................................................................... 92 11.14.10 GPIOx\_DSR (x=A, B, C, D) .......................................................................................... 93

11.14.11 GPIOx\_INT\_CR (x=A, B, C, D) ..................................................................................... 93

11.14.12 GPIOx\_FR (x=A, B, C, D) ............................................................................................. 94

11.14.13 GPIOx\_WU\_EN (x=A, B, C, D) ..................................................................................... 94

11.14.14 GPIOx\_WU\_LVL (x=A, B, C, D) ................................................................................... 94

11.14.15 GPIOx\_AFRL (x=A, B, C, D) ........................................................................................ 95

11.14.16 GPIOx\_AFRH (x=A, B, C) ............................................................................................ 97

11.14.17 GPIOD\_AFRH .............................................................................................................. 99

11.14.18 GPIOA\_STOP3\_WU\_CR ........................................................................................... 101

11.14.19 GPIOx\_STOP3\_WU\_CR (x=B, C).............................................................................. 103

11.14.20 GPIOD\_STOP3\_WU\_CR ........................................................................................... 105

## 12. LoRa 控制器 (LoRaC) ...................................................................................................................... 106

12.1 简介 ............................................................................................................................................... 106

12.2 主要特性 ....................................................................................................................................... 106

12.3 功能描述 ....................................................................................................................................... 106

12.3.1 内部 SPI 接口 ................................................................................................................. 106

12.3.2 上电初始化 ..................................................................................................................... 107

12.3.3 中断信号 ......................................................................................................................... 107

12.4 LoRaC 相关寄存器描述 ................................................................................................................ 108

### 12.4.1 SSP\_CR0........................................................................................................................ 109 12.4.2 SSP\_CR1........................................................................................................................ 110 12.4.3 SSP\_DR .......................................................................................................................... 110 12.4.4 SSP\_SR .......................................................................................................................... 111

12.4.5 SSP\_CPSR ..................................................................................................................... 111

12.4.6 SSP\_IMSC ...................................................................................................................... 112

12.4.7 SSP\_RIS ......................................................................................................................... 112

12.4.8 SSP\_MIS ........................................................................................................................ 113 12.4.9 SSP\_ICR......................................................................................................................... 113

12.4.10 SSP\_DMACR ............................................................................................................... 113

12.4.11 LORAC\_CR0 ................................................................................................................ 114 12.4.12 LORAC\_CR1 ................................................................................................................ 114

12.4.13 LORAC\_SR................................................................................................................... 115

### 12.4.14 LORAC\_NSS\_CR ......................................................................................................... 116 12.4.15 LORAC\_SCK\_CR ......................................................................................................... 116

12.4.16 LORAC\_MOSI\_CR ....................................................................................................... 116

12.4.17 LORAC\_MISO\_SR ....................................................................................................... 117

## 13. 通用异步收发器 (UART) ................................................................................................................... 118

13.1 简介 ............................................................................................................................................... 118

13.2 时钟复位 ....................................................................................................................................... 118

13.3 参考时钟 ....................................................................................................................................... 118

13.4 波特率发生器 ................................................................................................................................ 118

13.5 FIFO .............................................................................................................................................. 119

13.6 UART 方式 .................................................................................................................................... 119

13.6.1 波特率除数 ..................................................................................................................... 119

### 13.6.2 数据发送 ......................................................................................................................... 119 13.6.3 数据接收 ......................................................................................................................... 120

13.7 IrDA SIR 方式 ............................................................................................................................... 120

13.7.1 低功耗除数 ..................................................................................................................... 120

13.7.2 IrDA SIR 发送编码器 ....................................................................................................... 121

13.7.3 IrDA SIR 接收解码器 ....................................................................................................... 121

13.8 UART 字符帧结构 ......................................................................................................................... 121

13.9 IrDA 数据调制 ............................................................................................................................... 122

13.10 硬件流控 ....................................................................................................................................... 122

13.11 中断 ............................................................................................................................................... 122

13.12 DMA .............................................................................................................................................. 122

13.13 UART 相关寄存器描述 .................................................................................................................. 123

13.13.1 UARTx\_DR (x=0, 1, 2, 3) .............................................................................................. 124

13.13.2 UARTx\_RSR\_ECR (x=0, 1, 2, 3) .................................................................................. 125

13.13.3 UARTx\_FR (x=0, 1, 2, 3) .............................................................................................. 126

13.13.4 UARTx\_ILPR (x=0, 1, 2, 3) ........................................................................................... 127

13.13.5 UARTx\_IBRD (x=0, 1, 2, 3) .......................................................................................... 127

13.13.6 UARTx\_FBRD (x=0, 1, 2, 3) ......................................................................................... 127

13.13.7 UARTx\_LCR\_H (x=0, 1, 2, 3) ....................................................................................... 128

13.13.8 UARTx\_CR (x=0, 1, 2, 3) .............................................................................................. 129

13.13.9 UARTx\_IFLS (x=0, 1, 2, 3) ........................................................................................... 130

13.13.10 UARTx\_IMSC (x=0, 1, 2, 3) ........................................................................................ 130

13.13.11 UARTx\_RIS (x=0, 1, 2, 3) ........................................................................................... 131

13.13.12 UARTx\_MIS (x=0, 1, 2, 3) .......................................................................................... 132

13.13.13 UARTx\_ICR (x=0, 1, 2, 3) ........................................................................................... 132

13.13.14 UARTx\_DMACR (x=0, 1, 2, 3) .................................................................................... 133

13.13.15 UARTx\_ID[8] (x=0, 1, 2, 3) ......................................................................................... 134

## 14. 同步串行端口 (SSP) .......................................................................................................................... 137

14.1 简介 ............................................................................................................................................... 137

14.2 主要特性 ....................................................................................................................................... 137

14.3 功能描述 ....................................................................................................................................... 137

### 14.3.1 基础说明 ......................................................................................................................... 137 14.3.2 时钟分频 ......................................................................................................................... 138 14.3.3 数据格式 ......................................................................................................................... 139 14.3.4 DMA 传输 ........................................................................................................................ 139

14.3.5 中断信号 ......................................................................................................................... 140

14.4 SSP 相关寄存器描述 .................................................................................................................... 140

### 14.4.1 SSP\_CR0........................................................................................................................ 141 14.4.2 SSP\_CR1........................................................................................................................ 142 14.4.3 SSP\_DR .......................................................................................................................... 142 14.4.4 SSP\_SR .......................................................................................................................... 143

14.4.5 SSP\_CPSR ..................................................................................................................... 143

14.4.6 SSP\_IMSC ...................................................................................................................... 144

14.4.7 SSP\_RIS ......................................................................................................................... 144

14.4.8 SSP\_MIS ........................................................................................................................ 145 14.4.9 SSP\_ICR......................................................................................................................... 145

14.4.10 SSP\_DMACR ............................................................................................................... 146

## 15. 内部集成电路 (I2C) 接口 ................................................................................................................... 147

15.1 简介 ............................................................................................................................................... 147

15.2 Start 与 Stop 条件 ......................................................................................................................... 148

15.3 数据传输顺序 ................................................................................................................................ 149

15.4 数据与寻址 .................................................................................................................................... 150

15.5 应答（ACK） ................................................................................................................................ 151

15.6 仲裁 ............................................................................................................................................... 151

15.7 主机模式 ....................................................................................................................................... 152

15.8 FIFO 模式 ..................................................................................................................................... 154

15.9 从机模式 ....................................................................................................................................... 156

15.10 时钟复位 ....................................................................................................................................... 157

15.11 中断请求 ....................................................................................................................................... 157

15.12 DMA 请求 ...................................................................................................................................... 157

15.13 I2C 相关寄存器描述 ...................................................................................................................... 158

### 15.13.1 I2Cx\_CR (x=0, 1, 2) ...................................................................................................... 159 15.13.2 I2Cx\_SR (x=0, 1, 2) ...................................................................................................... 162

15.13.3 I2Cx\_SAR (x=0, 1, 2) .................................................................................................... 163

15.13.4 I2Cx\_DBR (x=0, 1, 2).................................................................................................... 164

15.13.5 I2Cx\_LCR (x=0, 1, 2) .................................................................................................... 164

15.13.6 I2Cx\_WCR (x=0, 1, 2)................................................................................................... 164

15.13.7 I2Cx\_RST\_CYCL (x=0, 1, 2) ........................................................................................ 165

15.13.8 I2Cx\_BMR (x=0, 1, 2) ................................................................................................... 165

15.13.9 I2Cx\_WFIF0 (x=0, 1, 2) ................................................................................................ 165

15.13.10 I2Cx\_WFIFO\_WPTR (x=0, 1, 2) ................................................................................. 166

15.13.11 I2Cx\_WFIFO\_RPTR (x=0, 1, 2) .................................................................................. 166

15.13.12 I2Cx\_RFIFO (x=0, 1, 2) .............................................................................................. 166

### 15.13.13 I2Cx\_RFIFO\_WPTR (x=0, 1, 2) .................................................................................. 167 15.13.14 I2Cx\_RFIFO\_RPTR (x=0, 1, 2) .................................................................................. 167

15.13.15 I2Cx\_WFIFO\_STATUS (x=0, 1, 2) ............................................................................. 167

15.13.16 I2Cx\_RFIFO\_STATUS (x=0, 1, 2) .............................................................................. 168

## 16. 模数转换器 (ADC) ............................................................................................................................. 169

16.1 简介 ............................................................................................................................................... 169

16.2 输入模式 ....................................................................................................................................... 169

16.3 采样通道 ....................................................................................................................................... 170

16.4 触发方式 ....................................................................................................................................... 170

16.5 低功耗运行 .................................................................................................................................... 171

16.6 溢出控制 ....................................................................................................................................... 171

16.7 采样模式 ....................................................................................................................................... 171

16.8 参考电压 ....................................................................................................................................... 171

16.9 数据 Buffer .................................................................................................................................... 172

16.10 DMA 请求 ...................................................................................................................................... 172

16.11 中断请求 ....................................................................................................................................... 173

16.12 低功耗工作与唤醒 ......................................................................................................................... 173

16.13 时钟和复位 .................................................................................................................................... 173

16.14 ADC 相关寄存器描述 .................................................................................................................... 173

16.14.1 ADC\_CR ....................................................................................................................... 174

16.14.2 ADC\_CFGR .................................................................................................................. 175

16.14.3 ADC\_SEQR0 ................................................................................................................ 177

16.14.4 ADC\_SEQR1 ................................................................................................................ 178

16.14.5 ADC\_DIFFSEL ............................................................................................................. 179

16.14.6 ADC\_ISR ...................................................................................................................... 179

16.14.7 ADC\_IER ...................................................................................................................... 180

16.14.8 ADC\_DR ....................................................................................................................... 180

## 17. 基本定时器 (BSTIM) ......................................................................................................................... 181

17.1 简介 ............................................................................................................................................... 181

17.2 主要特性 ....................................................................................................................................... 181

17.3 接口时钟 ....................................................................................................................................... 182

17.4 计数器 ........................................................................................................................................... 182

17.5 自动重加载 .................................................................................................................................... 182

17.6 分频计数器 .................................................................................................................................... 182

17.7 DMA 控制 ...................................................................................................................................... 183

17.8 支持单脉冲 .................................................................................................................................... 183

17.9 支持主模式选择 ............................................................................................................................ 183

17.10 更新事件管理 ................................................................................................................................ 184

17.11 Debug 模式控制 ............................................................................................................................ 184

17.12 中断信号 ....................................................................................................................................... 184

17.13 BSTIMER 相关寄存器描述 ........................................................................................................... 185

### 17.13.1 BSTIM\_CR1 .................................................................................................................. 186 17.13.2 BSTIM\_CR2 .................................................................................................................. 187

17.13.3 BSTIM\_DIER ................................................................................................................ 187

17.13.4 BSTIM\_SR .................................................................................................................... 188

17.13.5 BSTIM\_EGR ................................................................................................................. 188 17.13.6 BSTIM\_CNT.................................................................................................................. 188 17.13.7 BSTIM\_PSC.................................................................................................................. 189

17.13.8 BSTIM\_ARR ................................................................................................................. 189

## 18. 实时时钟 (RTC) ................................................................................................................................. 190

18.1 简介 ............................................................................................................................................... 190

18.2 主要特性 ....................................................................................................................................... 190

18.3 接口时钟 ....................................................................................................................................... 190

18.4 日历 ............................................................................................................................................... 191

18.4.1 读取日历 ......................................................................................................................... 191

18.4.2 设置日历 ......................................................................................................................... 191

18.5 RTC PPM 调整 ............................................................................................................................. 192

18.6 低功耗唤醒 .................................................................................................................................... 192

18.7 tamper/wakeup IO 检测 ................................................................................................................ 193

18.7.1 初始化和配置流程 .......................................................................................................... 193

18.7.2 清除保留 SRAM ............................................................................................................. 193

18.8 周期计数功能 ................................................................................................................................ 193

18.9 闹钟功能 ....................................................................................................................................... 194

18.10 内部信号 IO 输出 .......................................................................................................................... 195

18.11 中断 ............................................................................................................................................... 195

18.12 RTC 相关寄存器描述 .................................................................................................................... 196

18.12.1 RTC\_CR ....................................................................................................................... 197

18.12.2 RTC\_ALARM0 .............................................................................................................. 200

18.12.3 RTC\_ALARM1 .............................................................................................................. 201

18.12.4 RTC\_PPMADJUST ....................................................................................................... 202

18.12.5 RTC\_CALENDAR ......................................................................................................... 202

18.12.6 RTC\_CALENDAR\_H .................................................................................................... 203

18.12.7 RTC\_CYC\_MAX\_VALUE ............................................................................................. 203

18.12.8 RTC\_SR ........................................................................................................................ 204

18.12.9 RTC\_ASYNDATA ......................................................................................................... 205

18.12.10 RTC\_ASYNDATA\_H .................................................................................................. 205

18.12.11 RTC\_CR1 ................................................................................................................... 206 18.12.12 RTC\_SR1 ................................................................................................................... 207 18.12.13 RTC\_CR2 ................................................................................................................... 208

18.12.14 RTC\_SUB\_SECOND .................................................................................................. 209

18.12.15 RTC\_CYC\_CNT\_VALUE............................................................................................ 209

### 18.12.16 RTC\_ALARM0\_SUB ................................................................................................... 210 18.12.17 RTC\_ALARM1\_SUB ................................................................................................... 210

18.12.18 RTC\_CALENDAR\_R .................................................................................................. 211

18.12.19 RTC\_CALENDAR\_R\_H.............................................................................................. 211

## 19. 低功耗通用异步接收器 (LPUART) .................................................................................................... 212

19.1 简介 ............................................................................................................................................... 212

19.2 主要特性 ....................................................................................................................................... 212

19.3 功能描述 ....................................................................................................................................... 212

19.3.1 数据格式 ......................................................................................................................... 212

19.3.2 波特率产生 ..................................................................................................................... 213

19.3.3 CTS/RTS 流控 ................................................................................................................ 213

### 19.3.4 DMA 请求 ........................................................................................................................ 214 19.3.5 中断信号 ......................................................................................................................... 214

19.3.6 低功耗唤醒 ..................................................................................................................... 215

19.4 LPUART 相关寄存器描述 ............................................................................................................. 215

19.4.1 LPUART\_CR0 ................................................................................................................ 216 19.4.2 LPUART\_CR1 ................................................................................................................ 217 19.4.3 LPUART\_SR0 ................................................................................................................. 218 19.4.4 LPUART\_SR1 ................................................................................................................. 219

19.4.5 LPUART\_DATA .............................................................................................................. 220

## 20. 低功耗定时器 (LPTIM) ...................................................................................................................... 221

20.1 简介 ............................................................................................................................................... 221

20.2 主要特性 ....................................................................................................................................... 221

20.3 接口时钟 ....................................................................................................................................... 222

20.4 计数时钟选择 ................................................................................................................................ 222

20.5 计数器 ........................................................................................................................................... 223

20.6 计数模式 ....................................................................................................................................... 223

20.7 软件触发和外部触发 ..................................................................................................................... 224

20.8 分频计数器 .................................................................................................................................... 224

20.9 PWM ............................................................................................................................................. 225

20.10 支持单脉冲、Set-once、Timeout 模式输出 ................................................................................. 225

20.11 正交编码 ....................................................................................................................................... 226

20.12 支持 DEBUG 模式控制 ................................................................................................................. 227

20.13 唤醒信号 ....................................................................................................................................... 227

20.14 中断信号 ....................................................................................................................................... 228

20.15 LPTIMER 相关寄存器描述 ............................................................................................................ 228

### 20.15.1 LPTIM\_ISR ................................................................................................................... 229 20.15.2 LPTIM\_ICR ................................................................................................................... 230 20.15.3 LPTIM\_IER ................................................................................................................... 231

20.15.4 LPTIM\_CFGR ............................................................................................................... 232

20.15.5 LPTIM\_CR .................................................................................................................... 234

20.15.6 LPTIM\_CMP ................................................................................................................. 235

20.15.7 LPTIM\_ARR .................................................................................................................. 235 20.15.8 LPTIM\_CNT .................................................................................................................. 235 20.15.9 LPTIM\_CSR .................................................................................................................. 236

20.15.10 LPTIM\_SR1 ................................................................................................................ 237

## 21. 直接存储器访问控制器 (DMA) .......................................................................................................... 238

21.1 简介 ............................................................................................................................................... 238

21.2 主要特性 ....................................................................................................................................... 238

21.3 配置传输数据长度 ......................................................................................................................... 238

21.4 数据搬移方式 ................................................................................................................................ 239

21.5 LLI ................................................................................................................................................. 241

21.6 Auto-reloading .............................................................................................................................. 241

21.7 中断 ............................................................................................................................................... 242

21.8 DMA 相关寄存器描述.................................................................................................................... 243

21.8.1 DMA\_SARx ..................................................................................................................... 244

21.8.2 DMA\_DARx..................................................................................................................... 244

21.8.3 DMA\_LLPx ...................................................................................................................... 244

21.8.4 DMA\_CTLx ..................................................................................................................... 245

21.8.5 DMA\_CFGx..................................................................................................................... 247 21.8.6 DMA\_StatusTfr ............................................................................................................... 249

21.8.7 DMA\_StatusBlock ........................................................................................................... 249

### 21.8.8 DMA\_StatusSrcTran ....................................................................................................... 250 21.8.9 DMA\_StatusDstTran ....................................................................................................... 250

21.8.10 DMA\_StatusErr ............................................................................................................. 251

21.8.11 DMA\_MaskTfr ............................................................................................................... 252

21.8.12 DMA\_MaskBlock .......................................................................................................... 253

### 21.8.13 DMA\_MaskSrcTran ...................................................................................................... 254 21.8.14 DMA\_MaskDstTran ...................................................................................................... 255

21.8.15 DMA\_MaskErr .............................................................................................................. 256

21.8.16 DMA\_ClearTfr ............................................................................................................... 257

21.8.17 DMA\_ClearBlock .......................................................................................................... 257

### 21.8.18 DMA\_ClearSrcTran ...................................................................................................... 258 21.8.19 DMA\_ClearDstTran ...................................................................................................... 258

21.8.20 DMA\_ClearErr .............................................................................................................. 259

21.8.21 DMA\_DmaCfgReg ........................................................................................................ 260

21.8.22 DMA\_ChEnReg ............................................................................................................ 260

## 22. 通用定时器 (GPTIMER) .................................................................................................................... 262

22.1 简介 ............................................................................................................................................... 262

22.2 主要特性 ....................................................................................................................................... 262

22.3 计数器 ........................................................................................................................................... 264

22.3.1 计数时钟选择 ................................................................................................................. 264

22.3.2 自动重装载 ..................................................................................................................... 265

### 22.3.3 向上计数 ......................................................................................................................... 265 22.3.4 向下计数 ......................................................................................................................... 266

22.3.5 中间对齐计数 ................................................................................................................. 266

22.4 分频计数器 .................................................................................................................................... 267

22.5 采样时钟 ....................................................................................................................................... 267

22.6 通道 ............................................................................................................................................... 268

22.6.1 输入捕获 ......................................................................................................................... 269

22.6.2 输出比较 ......................................................................................................................... 269

22.7 触发输入通道 ................................................................................................................................ 272

22.8 更新事件管理 ................................................................................................................................ 272

22.9 编码模式控制 ................................................................................................................................ 273

22.10 从模式控制 .................................................................................................................................... 274

22.11 主模式控制 .................................................................................................................................... 275

22.12 输出控制 ....................................................................................................................................... 276

22.13 通道重映射 .................................................................................................................................... 276

22.14 Debug 模式控制 ............................................................................................................................ 276

22.15 DMA 控制 ...................................................................................................................................... 276

22.16 中断 ............................................................................................................................................... 277

22.17 GPTIMER 相关寄存器描述 ........................................................................................................... 277

### 22.17.1 GPTIM\_CR1 ................................................................................................................. 279 22.17.2 GPTIM\_CR2 ................................................................................................................. 280

22.17.3 GPTIM\_SMCR .............................................................................................................. 281

22.17.4 GPTIM\_DIER ................................................................................................................ 282

22.17.5 GPTIM\_SR.................................................................................................................... 284

22.17.6 GPTIM\_EGR ................................................................................................................. 285

### 22.17.7 GPTIM\_CCMR1 ............................................................................................................ 286 22.17.8 GPTIM\_CCMR2 ............................................................................................................ 289

22.17.9 GPTIM\_CCER .............................................................................................................. 292

22.17.10 GPTIM\_CNT ............................................................................................................... 294

### 22.17.11 GPTIM\_PSC ............................................................................................................... 294 22.17.12 GPTIM\_ARR ............................................................................................................... 295 22.17.13 GPTIM\_CCR0 ............................................................................................................. 295 22.17.14 GPTIM\_CCR1 ............................................................................................................. 295 22.17.15 GPTIM\_CCR2 ............................................................................................................. 296 22.17.16 GPTIM\_CCR3 ............................................................................................................. 296

22.17.17 GPTIM\_DCR ............................................................................................................... 296

22.17.18 GPTIM\_DMAR ............................................................................................................ 298

22.17.19 GPTIM\_OR ................................................................................................................. 298

# 表格

表 3-1 ASR6601 功能点 ..................................................................................................................................... 4 表 6-1 不同模块在各工作模式下的工作状态 .................................................................................................... 13 表 7-1 Master 总线访问范围 ............................................................................................................................. 22 表 7-2 存储器映射 ............................................................................................................................................ 23 表 7-3 AHB0 SFR 内部的地址 mapping ........................................................................................................... 24 表 7-4 AHB1 SFR 内部的地址 mapping ........................................................................................................... 24 表 7-5 APB0 SFR 内部的地址 mapping ........................................................................................................... 24 表 7-6 APB1 SFR 内部的地址 mapping ........................................................................................................... 25 表 7-7 SoC 启动方式配置表 ............................................................................................................................. 26 表 7-8 SYSCFG 寄存器列表 ............................................................................................................................. 27 表 7-9 DMA 请求 MUX ..................................................................................................................................... 38 表 8-1 RCC 寄存器列表 .................................................................................................................................... 43 表 9-1 中断向量表 ............................................................................................................................................ 66 表 10-1 Flash info 区划分 ................................................................................................................................. 68 表 10-2 Flash Option0 ...................................................................................................................................... 72 表 10-3 SoC 启动方式配置表 ........................................................................................................................... 73 表 10-4 Flash Option1 ...................................................................................................................................... 74 表 10-5 嵌入式 Flash 寄存器列表 ..................................................................................................................... 75 表 11-1 GPIO 寄存器列表 ................................................................................................................................. 89 表 12-1 LORAC 寄存器列表 ........................................................................................................................... 108 表 13-1 接收 FIFO 位功能描述 ........................................................................................................................ 119 表 13-2 UART 寄存器列表 .............................................................................................................................. 123 表 14-1 SSP 寄存器列表 ................................................................................................................................ 140 表 15-1 Start 和 Stop 条件定义....................................................................................................................... 148 表 15-2 主机事务 ............................................................................................................................................ 152 表 15-3 从机事务 ............................................................................................................................................ 156 表 15-4 I2C 寄存器列表 .................................................................................................................................. 158 表 16-1 ADC 采样通道 ................................................................................................................................... 170 表 16-2 ADC 寄存器列表 ................................................................................................................................ 173 表 17-1 BSTIMER 中断信号 ........................................................................................................................... 184 表 17-2 BSTIMER 寄存器列表 ....................................................................................................................... 185 表 18-1 RTC 唤醒源 ....................................................................................................................................... 192 表 18-2 配置唤醒信号使能的 bit 信息 ............................................................................................................. 192 表 18-3 RTC 中断信号 .................................................................................................................................... 195 表 18-4 RTC 寄存器列表 ................................................................................................................................ 196 表 19-1 LPUART 寄存器列表 ......................................................................................................................... 215 表 20-1 LPTIMER0 的外部触发源 .................................................................................................................. 224 表 20-2 LPTIMER1 的外部触发源 .................................................................................................................. 224 表 20-3 正交编码通道信号 ............................................................................................................................. 227 表 20-4 LPTIMER 中断信号 ........................................................................................................................... 228 表 20-5 LPTIMER 寄存器列表 ........................................................................................................................ 228 表 21-1 Handshake 值 .................................................................................................................................... 239 表 21-2 DMA 中断信号 ................................................................................................................................... 242 表 21-3 DMA 寄存器列表 ............................................................................................................................... 243 表 22-1 GPTIMER 模块介绍 ........................................................................................................................... 263 表 22-2 输入通道有效极性配置 ...................................................................................................................... 268 表 22-3 输入通道映射 ..................................................................................................................................... 268 表 22-4 输出比较各种模式下的输出波形描述 ................................................................................................ 270 表 22-5 编码模式 ............................................................................................................................................ 273 表 22-6 各 GPTIMER 的内部触发输入映射 .................................................................................................... 274 表 22-7 GPTIMER 中断信号 ........................................................................................................................... 277 表 22-8 GPTIMER 寄存器列表 ....................................................................................................................... 277

# 插图

图 3-1 ASR6601 模块框图 .................................................................................................................................. 3 图 4-1 低功耗广域网 SoC 芯片供电接口 ............................................................................................................ 9 图 4-2 芯片内部的电源架构 .............................................................................................................................. 10 图 7-1 系统架构图 ............................................................................................................................................ 21 图 8-1 时钟网络图 ............................................................................................................................................ 41 图 12-1 上电初始化时序 ................................................................................................................................. 107 图 13-1 UART 字符帧 ..................................................................................................................................... 121 图 13-2 IrDA 数据调制（3/16） ..................................................................................................................... 122 图 14-1 SSP master 与 SPI slave 之间的连接 ............................................................................................... 138 图 14-2 SPI Master 与 SSP Slave 之间的连接 ............................................................................................... 138 图 14-3 MASTER 模式下时钟输出的公式 ...................................................................................................... 138 图 15-1 I2C 框图 ............................................................................................................................................. 147 图 15-2 Start 与 Stop 条件的 SDA 与 SCL 信号 ............................................................................................. 148 图 15-3 FIFO 模式示意图 ............................................................................................................................... 154 图 16-1 ADC 框图 ........................................................................................................................................... 169 图 17-1 BSTIMER 框图 .................................................................................................................................. 181 图 17-2 计数和分频波形 ................................................................................................................................. 182 图 17-3 单脉冲波形 ........................................................................................................................................ 183 图 19-1 LPUART 的数据传输格式 .................................................................................................................. 212 图 19-2 两个 LPUART 设备之间的连接 .......................................................................................................... 213 图 20-1 LPTIMER 框图 ................................................................................................................................... 222 图 20-2 计数模式转换图 ................................................................................................................................. 223 图 20-3 单脉冲计数 ........................................................................................................................................ 225 图 20-4 Set-once 计数 .................................................................................................................................... 226 图 20-5 Timeout 计数 ..................................................................................................................................... 226 图 21-1 数据传输 ............................................................................................................................................ 238 图 21-2 LLI 链表 ............................................................................................................................................. 241 图 22-1 GPTIMER 框图 .................................................................................................................................. 263 图 22-2 外部时钟模式 1 计数 .......................................................................................................................... 264 图 22-3 外部时钟模式 2 计数 .......................................................................................................................... 264 图 22-4 内部触发信号做时钟计数 ................................................................................................................... 265 图 22-5 向上计数 ............................................................................................................................................ 265 图 22-6 向下计数 ............................................................................................................................................ 266 图 22-7 中间对齐计数 ..................................................................................................................................... 266 图 22-8 分频计数器 ........................................................................................................................................ 267 图 22-9 输入捕获 ............................................................................................................................................ 269 图 22-10 各种输出比较模式下的波形 ............................................................................................................. 271 图 22-11 边沿对齐计数 PWM2 ....................................................................................................................... 271 图 22-12 中间对齐计数 PWM2 ....................................................................................................................... 271 图 22-13 使能快速模式时的单脉冲输出波形 .................................................................................................. 272 图 22-14 外部触发信号清除通道输出 ............................................................................................................. 272 图 22-15 编码模式 1 的计数波形 .................................................................................................................... 274 图 22-16 从模式下的复位模式波形 ................................................................................................................. 274 图 22-17 从模式下的门控模式波形 ................................................................................................................. 274 图 22-18 从模式下的触发模式波形 ................................................................................................................. 275

1 概述

## 1. 概述

ASR6601 是由翱捷科技股份有限公司研发的支持 LoRa 调制方式的国产低功耗广域网无线通信 SoC。ASR6601系列适用于智能表计、智能物流、智能建筑、智慧城市、智慧农业等诸多应用场景。在ASR6601的内部集成了Sub 1GHz的射频收发机、Arm China STAR-MC1微处理器、内置 Flash 存储、内置 SRAM 及众多功能的模拟模块。本参考手册主要是面向 SoC 产品应用开发人员，包含软件及硬件开发者。根据本手册中的信息及 SDK 中的 API，可以帮助工程师解决在开发过程中可能碰到的多种问题；如需其他帮助请联系翱捷科技的工程师。本手册会持续更新。

2 ASR6601 简介

## 2. ASR6601 简介

ASR6601 SoC 是一款支持 LoRa 调制方式的低功耗广域网无线通信 SoC 芯片。ASR6601 芯片中集成的超低功耗收发机，配合片外匹配网络可以支持 150 MHz ~ 960 MHz 全频段工作。除了支持 LoRa 调制方式外，还可以支持 FSK 收发、MSK 收发和 BPSK 发射等。在 3.3 V 电源供电的情况下，通过高功率 PA，最大可发射 22 dBm 的输出功率。

ASR6601 SoC 主要有 Run、LpRun、Sleep、LpSleep、Stop0、Stop1、Stop2、Stop3、 Standby 几种工作模式。每种模式支持的功能，工作的模块和功耗各不相同。终端用户可以根据自己的应用场景选择相应的工作模式。其中比较常用的两种低功耗模式为 Standby 模式和 Stop3 模式，在 3.3 V 电源供电的情况下 Standby 模式功耗低至 0.9 uA；Stop3 模式功耗低至

1.3 uA（ASR6601CB）和 1.6 uA（ASR6601SE）。

ASR6601 SoC 采用的 32 位 ARM STAR 内核，最高主频 48 MHz，支持 SWD 调试接口，支持

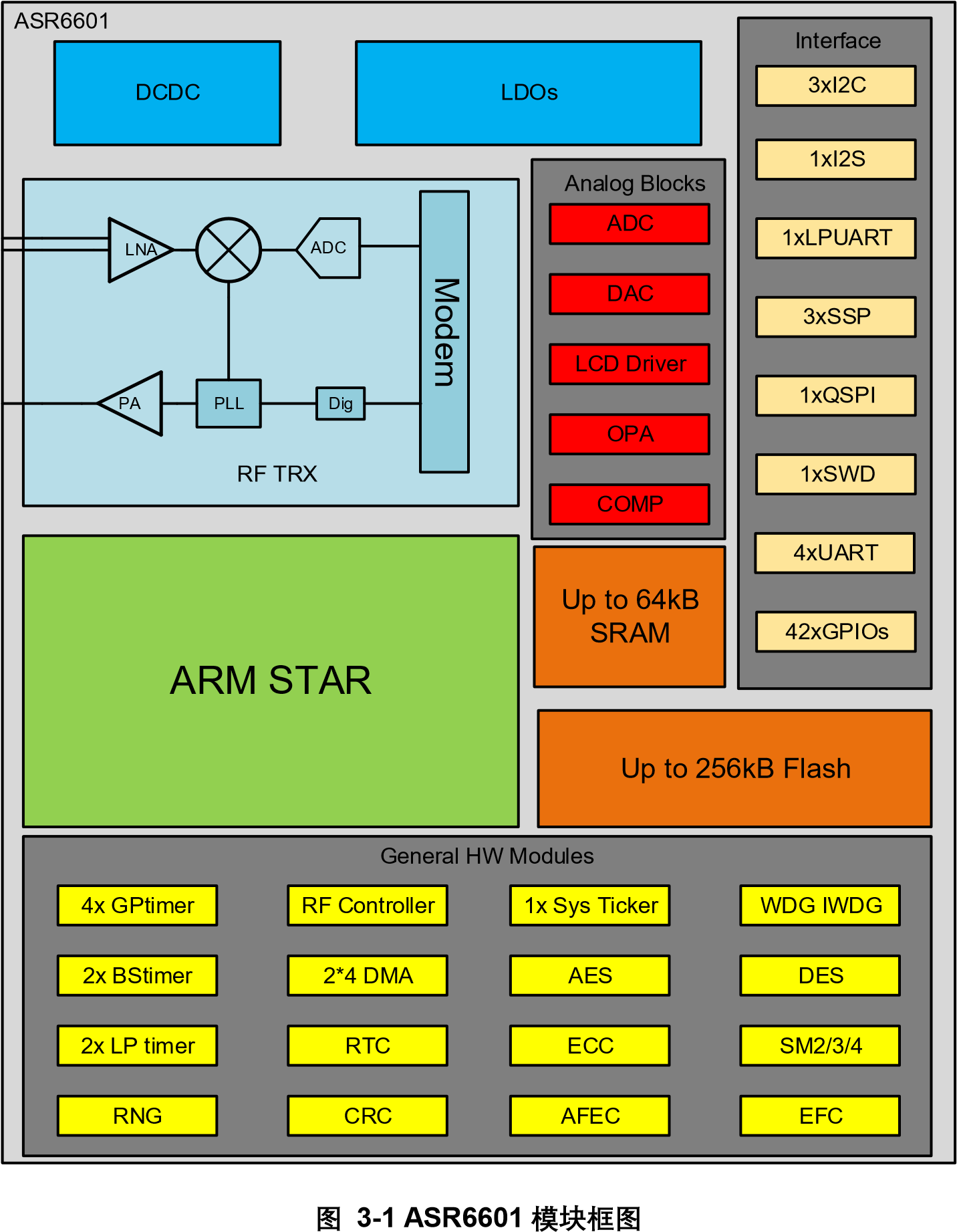
SysTick、MPU、FPU 功能，同时支持 37 个 IRQ，有 8 个中断优先级。

ASR6601 支持 UART，I2C，I2S，LPUART，SSP，QSPI 等接口，配合不同种类的对应接口的外设可以实现丰富的功能满足客户需求。ASR6601 除了支持丰富的数字功能外，也集成丰富的模拟功能，包含 ADC、DAC、OPA 以及 LCD 驱动等。

ASR6601 通过硬件方式实现 AES 加密，大大简化了加解密的效率。同时还支持国密 SM2/3/4。

### 3. 模块及功能

#### 3.1 ASR6601 模块框图



#### 3.2 ASR6601 功能点

**表 3-1 ASR6601 功能点**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 模块名称 | 模块支持的功能点 | |
| rcc | 时钟复位控制 | |
| syscfg | 系统功能寄存器 | |
| pwr | 1. | 芯片低功耗模式控制 |
|  | 2. | 支持中断信号产生 |
| sec | 1.  2. | 安全 IP 使能滤波安全 IP 报警信号滤波 |
|  | 3. | 报警信号处理，支持产生状态、中断请求、复位请求 |
| CPU | 1.  2.  3. | 支持 swd 调试接口  支持 systick 功能支持 mpu 功能 |
|  | 4. | 支持 fpu 功能 |
|  | 5. | 支持 37 个 irq，8 个中断优先级 |
| MPU | 访问权限控制，包括 cpu、dma、swd 调试接口的 slave 访问操作 | |
| EFC | 1.  2.  3.  4.  5. | 上电芯片模式判断  flash info 区数据上电加载  flash 基本操作，包括 read、program、page erase、mass erase  flash 操作关键时序控制，包括读拍数、program 高压时间、erase 高压时间 flash 指令预取功能，1 个深度的预取 buffer |
|  | 6. | flash program 操作支持 single 与连续方式 |
|  | 7. | flash info 区 option bytes 操作 |
|  | 8. | 支持产生中断信号 |
| I2S | 1.  2.  3.  4.  5.  6. | Philips I2S 串行协议支持 Master 与 Slave 模式  1 条接收通道，1 条发送通道，全双工接收 FIFO 深度为 4 发送 FIFO 深度为 4 接收支持 12，16，20，24，32 位分辨率 |
|  | 7. | 发送支持 12，16，20，24，32 位分辨率 |
|  | 8. | 支持可编程的 DMA 寄存器 |
|  | 1. 支持可编程的 FIFO Threshold 2. 1 支持中断信号产生 | |
| UART | 1. 支持 IrDA，支持 3/16 与 low-power（1.41-2.23us）位宽 2. 支持 FIFO 收发，16x8bits 的发送 FIFO，16x10bits 的接收 FIFO 3. 支持 Buffer 收发，1 个深度的发送与接收 Buffer 4. 波特率产生，采用 16 倍过采样，支持 16 位整数分频与 6 位小数分频，最高支持接口时钟频率/16 | |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | 1. Uart 数据格式配置，包括 1-2 位 Stop，0-1 位 parity（odd，even，固定 0，固定 1，无校验），5-8 位数据 2. 支持 DMA 传输 3. 支持无效 start 检测 4. 支持 breakline 发送与检测 5. 支持硬件流控 CTS 与 RTS 6. 支持中断信号产生 | |
| lpuart | 1.  2.  3. | 支持低功耗唤醒  波特率产生，不支持过采样，支持 4 位小数分频与 12 位整数分频，整数分频最小支持 3  数据格式配置，包括 1-2 位 Stop，0-1 位 parity（奇校验、偶校验、固定 1、固定 0、无校验），5-8 位数据 |
|  | 4. | 支持 cts 与 rts 流控 |
|  | 5. | 支持 dma 请求 |
|  | 6. | 支持中断信号产生 |
| SSP | 1.  2.  3.  4. | 支持 Master 与 Slave  可编程波特率与预分频，Master 最高支持 1/2 接口时钟频率，Slave 最高支持 1/12 接口时钟频率  支持 8\*16 位的接收与发送 FIFO 数据长度可配置，4-16 位 |
|  | 5. | 支持 DMA 请求 |
|  | 6. | 支持支持 Motorola、Microwire（NS）、TI 格式 |
|  | 7. | Motorola 支持 4 种极性相位组合 |
|  | 8. | 支持中断信号产生 |
| I2C | 1.  2.  3.  4. | 支持主模式与从模块支持多主仲裁  支持 Standard Mode 与 Fast Mode  支持 7 位地址模式 |
|  | 5. | 支持 Clock Stretching |
|  | 6. | 支持产生中断信号 |
|  | 7. | 支持 DMA 请求 |
| AFEC | 1.  2.  3. | 模拟 IP 状态寄存器模拟 IP 控制寄存器  部分寄存器支持安全锁定控制 |
|  | 4. | 支持中断信号产生 |
| lorac | 1.  2.  3. | LORA IP 控制寄存器  LORA 状态寄存器  LORA IP SPI 接口来源，支持 ssp master 控制与 reg 控制两种方式 |
|  | 4. | 支持 DMA 请求与应答 |
|  | 5. | 支持中断信号产生 |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| RTC | 1. 日历计数功能，采用 BCD 格式，支持秒、分、小时、日、月、年、星期 2. 支持 ppm 调整，调整步长 0.5ppm，支持+/-1024 ppm 调整 3. 支持低功耗唤醒 4. tamper/wakeup IO 检测功能，支持有效电平选择，滤波拍数可配置 5. 周期计数功能，32 位计数器 6. 闹钟功能，支持两个闹钟，支持 Mask 选择与日历匹配 7. tamper/wakeup 报警清除 retention sram 功能 8. 部分寄存器支持安全锁定控制 9. 内部信号 IO 输出，包括 alarm0 匹配脉冲，alarm1 匹配脉冲，周期计数配置脉冲，秒信号输出 10. 支持日历计数值读取 11. 支持 sub-second 计数值读取 12. 支持周期计数的计数值读取 13. 支持中断信号产生 | |
| iwdg | 1.  2.  3. | 看门狗计数功能，减法计数，计数时钟支持预分频（4-256 分频）  看门狗异常状态，计数达到 0（喂狗过晚）或喂狗时计数值大于计数窗口值时（喂狗过早）产生  支持产生中断信号 |
|  | 4. | 支持喂狗窗口配置 |
|  | 5. | 支持计数值读取 |
|  | 6. | 支持低功耗唤醒 |
| qspi | 1.  2.  3. | 仅支持主接口  支持 1 线、2 线、4 线模式  支持 3 种工作模式，包括间接访问、状态查询与 Memory-mapping |
|  | 4. | 支持波特率分频，最高支持接口时钟频率/2 |
|  | 5. | 支持产生中断信号 |
| crc | 1.  2.  3. | 可配置多项式位宽，支持 7、8、16、32 位支持不同的 hsize 访问，先算低 byte 可编程 crc 初值 |
|  | 4. | 支持输入数据 reverse，支持 byte，halfword 与 word |
|  | 5. | 支持输出数据 reverse，支持 word |
| DMA | 1.  2.  3.  4.  5. | 支持 1 个主接口 AHB 总线 AHB 接口仅支持小端结构  支持中断信号产生  传输模式，支持 M2M，P2M，M2P，P2P 支持软件触发握手信号 |
|  | 6. | 支持 4 组硬件握手信号，包括 burst 与 single 请求 |
|  | 7. | 支持硬件握手信号来源，每组支持 64 个源头选择 |
|  | 8. | 支持 4 个逻辑通道 |
|  | 9. | 通道 0 配置如下：  (1) 8 bytes 深度 FIFO |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | 1. 最大 burst 长度为 8 2. 最大传输长度为 2047 3. 仅支持 dmac 流控 4. 源地址数据位宽可配置 5. 目的地址数据位宽可配置 6. 地址支持递增，递减，不变 7. 支持块传输，包括连续地址、自动加载与链表 8. 支持 scatter 与 gather   10. 通道 1-3 配置如下：   1. 8 bytes 深度 FIFO 2. 最大 burst 长度为 8 3. 最大传输长度为 2047 4. 仅支持 dmac 流控 5. 源地址数据位宽可配置 6. 目的地址数据位宽可配置 7. 地址支持递增，递减，不变 8. 支持块传输，包括连续地址与自动加载，但不支持链表 9. 不支持 scatter 与 gather | |
| GPIO | 1.  2.  3. | IO 输出配置，支持 push-pull、open drain、输出高阻  IO 输入配置，支持 floating、输入上拉、输入下拉、模拟输入  IO 其它配置，上拉配置、下拉配置、驱动能力控制 |
|  | 4. | 支持产生中断信号，包括上升沿中断、下降沿中断、双沿中断 |
|  | 5. | 支持产生唤醒信号，包括高电平、低电平 |
| SAE | 1.  2.  3.  4. | 支持 AES128/192/256 支持 DES 与 3DES 支持 SM2、SM3、SM4（ASR6601SE）  支持 RSA1024/2048 |
|  | 5. | 支持 ECC224/256/384/512 |
|  | 6. | 支持 SHA1，SHA-224，SHA256，SHA384，SHA512 |
|  | 7. | 支持随机数发生器 |
| Basic timer | 1.  2.  3. | 16bits 计数器，加法计数，支持自动加载  16bits 的计数时钟预分频支持 DMA 请求 |
|  | 4. | 支持产生中断信号 |
| GP timer | 1.  2.  3. | 32bits 计数器，支持自动加载，支持加法、减法、加减计数  16bits 的计数时钟预分频  gptimer0 与 gptimer1 支持 4 通道，gptimer2 与 gptimer3 支持 2 通道，每个通道可支持输入捕获、输出比较、PWM 产生、单脉冲输出 |
|  | 4. | 支持正交解码 |
|  | 5. | 支持产生中断信号 |
|  | 6. | 支持 DMA 请求 |
| LP timer | 1.  2.  3.  4. | 支持选择内部时钟与 IO 时钟作为计数时钟  16bits 计数器，加法计数，支持自动加载支持计数时钟预分频支持正交解码 |
|  | 5. | 支持输入捕获、输出比较、PWM 产生、单脉冲输出 |
|  | 6. | 支持产生中断信号 |
|  | 7. | 支持 DMA 请求 |
| ADC | 1.  2.  3.  4.  5.  6. | 采样精度 12 bits  采样速度可配置，最高支持 1 MHz 支持单端与差分采样  数据对齐方式仅支持右对齐支持 8 个外部通道  支持 7 个内部通道，包括 DAC 输出、内部 Vref、VDD/3（电池电量）、Vts（内部温度传感器）、OPA 输出（3 个） |
|  | 7. | 触发方式，支持软件触发与硬件触发 |
|  | 8. | 采样方式，支持采样序列、连续、单次、非连续 |
|  | 1. 支持模拟看门狗功能，共 3 路，可配置通道选择与高低阈值 2. 支持 DMA 请求 3. 支持产生中断信号 | |
| DAC | 1.  2.  3.  4. | 输出精度 10 bits  输出速度可配置，最高支持 1 MHz 数据对齐方式仅支持右对齐特殊波形输出，支持三角波 |
|  | 5. | 触发方式，支持软件触发与硬件触发 |
|  | 6. | 支持 DMA 请求 |
|  | 7. | 支持产生中断信号 |
| lcdctrl | 1.  2.  3.  4. | frame 速率分频控制  bias 控制，支持 static，1/2，1/3，1/4  duty 控制，支持 static（1comx27seg），1/2（2comx26seg），1/3（3comx25seg），  1/4（4comx24seg），1/8（8comx20seg）  dead frame 控制，支持 0-7 拍的 dead frame，用于调节对比度 |
|  | 5. | blink 控制，支持 1，2，3，4，8 或全部 pixel 的闪烁功能，闪烁频率可配置 |
|  | 6. | 支持大小电流选择控制，包括状态机动态控制与寄存器静态控制，状态机动态控制时可配置大电流维持拍数 |
|  | 7. | 支持中断信号产生 |

4 电源供电

### 4. 电源供电

#### 4.1 芯片供电管脚

ASR6601 有几个独立的电源供电管脚，通过将这些电源供电管脚分开，可以很好的避免 SoC 上各部分之间的相互影响，特别是 SoC 数字部分工作时对射频收发机性能的干扰。

ASRR6601 的供电接口如图 4-1 所示：

* **VDD\_IN**：射频收发机中 PA 的供电电源。
* **VBAT\_RF**：射频收发机供电电源。
* **VDCC\_RF**：射频收发机中部分模块的供电电源，**须在PCB上连接到芯片VREG管脚**。
* **VBAT\_ESD0**：数字 IO 的供电电源。
* **VBAT\_ESD1**：数字 IO 的供电电源。
* **VBAT\_ESD2**：数字 IO 的供电电源。
* **VBAT\_ESD3**：数字 IO 的供电电源。
* **VBAT\_DCC**：模拟电路中 DCDC 的单独供电电源。
* **VBAT\_ESD\_RTC**：RTC 域 IO 的供电电源。
* **VBAT\_RTC**：模拟 RTC 的供电电源。
* **VBAT\_ANA**：模拟电路的供电电源。

Regulator

RF Transceiver

ANALOG

DIGITAL IO

VBAT

\_

ESD

0

VBAT

\_

ESD

\_

RTC

VBAT

\_

ESD

1

VBAT

\_

ESD

2

VBAT

\_

ESD

3

VBAT

\_

ANA

VBAT

\_

RTC

VBAT

\_

DCC

DCDC

VREG

VDD

\_

IN

VBAT

\_

RF

VDCC

\_

RF

R

V

\_

PA

RFO

**图 4-1 低功耗广域网 SoC 芯片供电接口**

4 电源供电

#### 4.2 芯片内部电源架构

芯片的内部电源域主要分为 main 域、aon 域及 aonr 域。如图 4-2 所示，这里需要注意的是电源域是按照功能来划分的。

1. **main 域**包含了 SoC 的绝大部分数字逻辑电路，在常用的低功耗模式 Standby 和 Stop3 中， main 域的电源会断开。
2. **aon 域**的名字来源于 always on domain，顾名思义这部分的供电时一直有的，即使在低功耗模式下，这部分的供电也是一直有的。在 aon 域的大部分模块也是可以一直工作的。
3. **aonr 域**主要包含了在 Stop3 模式下需要保持的模块，这部分模块在 Standby 模式下是会断电的。在 aonr 域模块保持当前状态不掉电的情况下，系统可以快速恢复并继续执行。

main domain

aon

domain

Interal LDOs

RTC

IOs

Main

IOs

aonr

domain

VBAT

\_

ESD

0

~

3

VBAT

\_

ANA

VBAT

\_

RTC

VBAT

\_

ESD

\_

RTC

DCDC

Flash

VBAT

\_

DCC

VREG

3

.

3

V

3

.

3

V

3

.

3

V

3

.

3

V

3

.

3

V

1

.

5

V

1

.

2

V

1

.

2

V

3

.

3

V

1

.

2

V

**图 4-2 芯片内部的电源架构**

5 权限控制

### 5. 权限控制

#### 5.1 简单配置

本节为客户提供常用的简单配置，以满足客户基本的安全需求。

##### 5.1.1 可恢复安全配置

* 使能安全

配置 OPTION1 的 Flashsecstart 为 0，Flashsecend 为 0x3F，配置整个 FLASHmain 为安全区域。

该操作配置后，SWD 和非安全区域代码无法读写 FLASH\_main 区域，以保护代码安全性。

但需注意运行在非安全 SRAM 区域的代码或者非安全 DMA 将无法访问 FLASH\_main。

* 去使能安全

配置 OPTION1 的 FlashSecStart 为 0x3F，FlashSecEnd 为 0，配置整个 FLASH\_main 为非安全区域。

该操作将擦除整个 FLASH\_main，之后可以重新烧录程序。

**5.1.2 不可恢复安全配置**

配置 Option0 的 debuglevel 为 2。该操作不可逆，需保证代码成熟可靠。

#### 5.2 访问权限控制

基于 debuglevel 规则、boot 启动方式、exeonly 访问规则、wrprotect 访问规则、info 区访问规则、安全区域访问规则，控制来自 cpucode、cpusw、dmac0、dmac1 四个主接口的访问权限。

##### 5.2.1 debuglevel 规则

debuglevel 主要影响 cpu\_code（boot from SRAM 与 boot from bootloader）、cpu\_sw、dmac0 和 dmac1 对敏感区域的访问权限。敏感区域包括 flash\_main，flash\_info 的 otp 区和 retention SRAM。

详细信息请参见《*ASR6601*访问权限控制说明》。

5 权限控制

##### 5.2.2 安全操作与非安全操作

* 安全操作

由安全区域的代码发起的操作，包括：

* + 配置为安全区域的 dmac0 发起的操作
  + 配置为安全区域的 flashmain 区发起的操作（CPU\_Code）
  + 配置为安全区域的 systemsram 发起的操作（CPU\_Code）
* 非安全操作

由非安全区域的代码发起的操作，包括：

* + 配置为非安全区域的 dmac0 发起的操作
  + dmac1 发起的操作
  + debug 接口发起的操作（CPU\_SW）
  + Bootloader 发起的操作（CPU\_Code）
  + 配置为非安全区域的 flashmain 区发起的操作（CPU\_Code）
  + 配置为非安全区域的 systemsram 发起的操作（CPU\_Code）

详细信息请参见《*ASR6601*访问权限控制说明》。

### 6. 工作模式

ASR6601 低功耗广域网 SoC 主要有 Run、LpRun、Sleep、LpSleep、Stop0、Stop1、Stop2、

Stop3、Standby几种工作模式。每种模式支持的功能，工作的模块和功耗各不相同。终端用户可以根据自己的应用场景选择相应的工作模式。下文将对这些模式进行详细介绍。

另外有几点需要注意：

1. 进低功耗模式时标志为 O 的外设（不包含 GPIO）是默认关闭的，在低功耗模式下需要用到的功能需要在进低功耗之前将其打开。
2. 在进入低功耗模式时，为了能达到相应的设计功耗值，需注意以下几点：
   1. 没有使用的 GPIO 需要配置为 ANALOG 模式（高阻）。
   2. 如果有使用的 GPIO 是输入模式，需要配置上下拉。
   3. 若是输出模式连接的外设的上下拉要根据输出的电平进行配置。
3. 进出低功耗模式使用的RCO48M/2，进低功耗模式之前如果使用的是非RCO48M/2时钟，则需要切换为 RCO48M/2，出低功耗模式之后可以再切换为之前使用的时钟。
4. RCO32K/XO32K 及其他低功耗下支持的模拟功能，如果在低功耗状态下需要用到，需要在进低功耗之前打开。
5. 除 RCO48M/RCO32K/XO32K 以外的时钟，及其余模拟功能模块需要在进低功耗之前软件关闭。

#### 表 6-1 不同模块在各工作模式下的工作状态

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Run | LpRun | Sleep | LpSleep | Stop0 | Stop1 | Stop2 |  | Stop3 |  | Standby | Stop0  -  2    Wakeup | Stop3    Wakeup | Standby    Wakeup |
| cpu | Y | Y | NA | NA | NA | NA | NA | NA |  | NA |  |  |  |  |
| efc | Y | Y | O | O | NA | NA | NA | NA |  | NA |  |  |  |  |
| sysramc | Y | Y | O | O | NA | NA | NA | NA |  | NA |  |  |  |  |
| retramc | Y | Y | O | O | NA | NA | NA | NA |  | NA |  |  |  |  |
| i2s | O | O | O | O | NA | NA | NA | NA |  | NA |  |  |  |  |
| uart0 | O | O | O | O | NA | NA | NA | NA |  | NA |  |  |  |  |
| uart1 | O | O | O | O | NA | NA | NA | NA |  | NA |  |  |  |  |
| uart2 | O | O | O | O | NA | NA | NA | NA |  | NA |  |  |  |  |
| uart3 | O | O | O | O | NA | NA | NA | NA |  | NA |  |  |  |  |
| ssp0 | O | O | O | O | NA | NA | NA | NA |  | NA |  |  |  |  |
| ssp1 | O | O | O | O | NA | NA | NA | NA |  | NA |  |  |  |  |
| ssp2 | O | O | O | O | NA | NA | NA | NA |  | NA |  |  |  |  |
| qspi | O | O | O | O | NA | NA | NA | NA |  | NA |  |  |  |  |
| i2c0 | O | O | O | O | NA | NA | NA | NA |  | NA |  |  |  |  |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Run | LpRun | Sleep | LpSleep | Stop0 | Stop1 | Stop2 | Stop3 | | Standby | Stop0  -  2    Wakeup | Stop3    Wakeup | Standby    Wakeup |
| i2c1 | O | O | O | O | NA | NA | NA | NA | | NA |  |  |  |
| i2c2 | O | O | O | O | NA | NA | NA | NA | | NA |  |  |  |
| adcctrl | O | O | O | O | NA | NA | NA | NA | | NA |  |  |  |
| dacctrl | O | O | O | O | NA | NA | NA | NA | | NA |  |  |  |
| gptim0 | O | O | O | O | NA | NA | NA | NA | | NA |  |  |  |
| gptim1 | O | O | O | O | NA | NA | NA | NA | | NA |  |  |  |
| gptim2 | O | O | O | O | NA | NA | NA | NA | | NA |  |  |  |
| gptim3 | O | O | O | O | NA | NA | NA | NA | | NA |  |  |  |
| basictim0 | O | O | O | O | NA | NA | NA | NA | | NA |  |  |  |
| basictim1 | O | O | O | O | NA | NA | NA | NA | | NA |  |  |  |
| wwdg | O | O | O | O | NA | NA | NA | NA | | NA |  |  |  |
| crc | O | O | O | O | NA | NA | NA | NA | | NA |  |  |  |
| sec | O | O | O | O | NA | NA | NA | NA | | NA |  |  |  |
| sac | O | O | O | O | NA | NA | NA | NA | | NA |  |  |  |
| mpu | O | O | O | O | NA | NA | NA | NA | | NA |  |  |  |
| dmac0 | O | O | O | O | NA | NA | NA | NA | | NA |  |  |  |
| dmac1 | O | O | O | O | NA | NA | NA | NA | | NA |  |  |  |
| syscfg | O | O | O | O | NA | NA | NA | NA | | NA |  |  |  |
| afec | O | O | O | O | NA | NA | NA | NA | | NA |  |  |  |
| lorac | O | O | O | O | NA | NA | NA | NA | | NA |  |  |  |
| gpio | O | O | O | O | NA | NA | NA | GPIO0~55: Y3  GPIO56~63:Y4 | | GPIO0~55: NA3  GPIO56~63: Y4 | Y | Y |  |
| rcc | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | | Y |  |  |  |
| pwr | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | | Y |  |  |  |
| lpuart | O | O | O | O | O | O | O | O (RX only) | | O (RX only) | Y | Y | Y |
| lcdctrl | O | O | O | O | O | O | O | O | | O |  |  |  |
| lptim0 | O | O | O | O | O | O | O | O | | O | Y | Y | Y |
| lptim1 | O | O | O | O | O | O | O | O | | O | Y | Y | Y |
| iwdg | O | O | O | O | O | O | O | O | | O | Y1 | Y | Y |
| rtc | O | O | O | O | O | O | O | O | | O | Y | Y | Y |
| ADC | O | O | O | O | NA | NA | NA | NA | | NA |  |  |  |
| RCO48M | O | O | O | O | NA | NA | NA | NA | | NA |  |  |  |
| XO24M | O | O | O | O | NA | NA | NA | NA | | NA |  |  |  |
| PLL48M | O | O | O | O | NA | NA | NA | NA | | NA |  |  |  |
| RNG | O | O | O | O | NA | NA | NA | NA | | NA |  |  |  |
| DAC | O | O | O | O | O3 | O3 | O3 | NA | | NA |  |  |  |
| OPA | O | O | O | O | O | O | O | NA | | NA |  |  |  |
| COMP | O | O | O | O | O | O | O | O | | O | Y | Y | Y |
| VD | O | O | O | O | O | O | O | O | | O | Y | Y | Y |
| RCO3.6M | O | O | O | O | O | O | O | O | | O |  |  |  |
|  | Run | LpRun | Sleep | LpSleep | Stop0 | Stop1 | Stop2 |  | Stop3 | Standby | Stop0  -  2    Wakeup | Stop3    Wakeup | Standby    Wakeup |
| RCO32K | O | O | O | O | O | O | O | O |  | O |  |  |  |
| XO32K | O | O | O | O | O | O | O | O |  | O |  |  |  |
| LCD | O | O | O | O | O | O | O | O |  | O |  |  |  |
| BOR | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y |  | Y | Y2 | Y2 | Y2 |
| FLASH | Y | Y | Y | Y | SLM | SLM | SLM | PDM |  | PDM |  |  |  |
| SRAM | Y | Y | Y | Y | NA | NA | NA | NA1 |  | NA2 |  |  |  |
| IO | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y |  | Y |  |  |  |
| RF | O | O | O | O | O | O | O | O |  | O | Y | Y | Y |

表格中的注意事项和部分标号的意义：

* **stop0-2**：支持全部 GPIO 唤醒，可配置；支持全部 GPIO 状态保持。
* **stop3**：支持 56 个 Main 域 GPIO 唤醒，可配置；支持全部 GPIO 状态保持。
* **standby**：支持 8 个 AON 域 GPIO 状态保持，Main 域 GPIO 仅可用于模拟功能（LCD， comp）；不支持 GPIO 唤醒。Standby/Stop3 时 LPUART 仅支持 RX。
* **Y**：正常工作。
* **O**：软件可配置。
* **O3**：不支持数据更新，但已有电平仍可输出。
* **Y1**：产生系统复位，间接唤醒系统。
* **Y2**：产生 BOR 复位，间接唤醒系统。
* **Y3**: 保持进低功耗之前的状态，支持唤醒功能。
* **Y4**: IO MUX Function=1 功能 NA；其余复用功能正常工作  **NA1**：ret，alg 内容保留，sys 可配置是否内容保留。
* **NA2**：ret 内容保留。
* **NA3**: Analog Output Only

#### 6.1 Run

##### 6.1.1

上电或系统复位后的缺省工作模式。

可由 Run 进入 Sleep、LpRun、Stop0、Stop1、Stop2、Stop3、Standby。可由 Sleep、LpRun、Stop0、Stop1、Stop2、Stop3、Standby 返回 Run。

具体模式切换条件，请见其它功耗模式的切换描述。

**6.1.2 唤醒源**

N/A

#### 6.2 LpRun

##### 6.2.1 进入与退出条件

可由 Run 进入 LpRun，进入条件如下，软件切换 LDO 的工作状态。在切换 LDO 工作之前，高速时钟要全部关闭，CPU 跑在 32K 的时钟上。

进入 LpRun 配置寄存器切换 LDO 的流程如下：

1：0x05 地址寄存器 [3:3] 配置为全 1，其他位保持不变

2：0x06 地址寄存器 [21:20] 配置为全 1，其他位保持不变

可由 LpRun 返回 Run，退出条件如下，软件切换 LDO 的工作状态。切换完成之后才可打开高速时钟。

退出 LpRun 返回 Run 的流程如下：

1：0x06 地址寄存器 [21:20] 配置为全 0，其他位保持不变

2：0x05 地址寄存器 [3:3] 配置为全 0，其他位保持不变

**6.2.2 唤醒源**

N/A

#### 6.3 Sleep

##### 6.3.1

可由 Run 进入 Sleep，进入条件为：CPU 执行 wfi/wfe 指令（SLEEPDEEP=0)，或者 isr 返回

（SLEEPONEXIT=1 并且 SLEEPDEEP=0）。

可由 Sleep 返回 Run，退出条件为：如果 wfi 进入则支持中断唤醒，如果 wfe 进入则支持事件唤醒。

**注意：**因为无专用的事件唤醒信号，所以采用*SVONPEND=1* 并且关闭对应*NVIC* 的方式实现，此时中断信号用于事件唤醒。

**6.3.2 唤醒源**

各个模块的中断信号。

#### 6.4 LpSleep

##### 6.4.1 进入与退出条件

可由 LpRun 进入 LpSleep，进入条件为：CPU 执行 wfi/wfe 指令（SLEEPDEEP=0)，或者 isr 返回（SLEEPONEXIT=1 并且 SLEEPDEEP=0）。

可由 LpSleep 返回 LpRun，退出条件为：如果 wfi 进入则支持中断唤醒，如果 wfe 进入则支持事件唤醒。

**注意：**无专用的事件唤醒信号，采用*SVONPEND=1* 并且关闭对应*NVIC* 的方式实现，此时中断信号用于事件唤醒。

**6.4.2 唤醒源**

各个模块的中断信号。

#### 6.5 Stop0

##### 6.5.1

可由 Run 进入 Stop0，进入条件为：配置 lp\_mode 为 2’b00，CPU 执行 wfi/wfe 指令（SLEEPDEEP=1），或者 isr 返回（SLEEPONEXIT=1 同时 SLEEPDEEP=1）。

可由 Stop0 返回 Run，退出条件为：如果 wfi 进入则支持中断唤醒，如果 wfe 进入则支持事件唤醒。

由 pwr 模块汇总唤醒源状态，并输出 *pwr\_wakeup\_int* 中断信号与 *pwr\_wakeup\_event* 事件信号给 CPU 用于唤醒。

##### 6.5.2 唤醒源

* GPIO00-GPIO63 均可用于唤醒，4 个 IO 为一组，一组内每个 IO 均有唤醒使能配置，一组可产生一个唤醒信号，一组内每个 IO 均支持选择高电平唤醒或低电平唤醒。除 GPIO 外的唤醒源列举如下。
* PVM 报警  Wakeup/Tamper IO
* VD 报警  RTC Alarm
* TD 报警  RTC CYC Timer
* LD 报警  LPUART 接收状态
* 比较器  LORA BUSY
* LPTIM0/1  LORA IRQ
* FD\_32K 报警

#### 6.6 Stop1

##### 6.6.1 进入与退出条件

可由 Run 进入 Stop1，进入条件为：配置 lp\_mode 为 2’b01，CPU 执行 wfi/wfe 指令

（SLEEPDEEP=1），或者 isr 返回（SLEEPONEXIT=1 同时 SLEEPDEEP=1）；

可由 Stop1 返回 Run，退出条件为：如果 wfi 进入则支持中断唤醒，如果 wfe 进入则支持事件唤醒。

由 pwr 模块汇总唤醒源状态，并输出 *pwr\_wakeup\_int* 中断信号与 *pwr\_wakeup\_event* 事件信号给 CPU 用于唤醒。

###### 6.6.2 唤醒源

* GPIO00-GPIO63 均可用于唤醒，4 个 IO 为一组，一组内每个 IO 均有唤醒使能配置，一组可产生一个唤醒信号，一组内每个 IO 均支持选择高电平唤醒或低电平唤醒。除 GPIO 外的唤醒源列举如下。
* PVM 报警  Wakeup/Tamper IO
* VD 报警  RTC Alarm
* TD 报警  RTC CYC Timer
* LD 报警  LPUART 接收状态
* 比较器  LORA BUSY
* LPTIM0/1  LORA IRQ
* FD\_32K 报警

#### 6.7 Stop2

##### 6.7.1 进入与退出条件

可由 Run 进入 Stop2，进入条件为：配置 lp\_mode 为 2’b10，CPU 执行 wfi/wfe 指令

（SLEEPDEEP=1），或者 isr 返回（SLEEPONEXIT=1 同时 SLEEPDEEP=1）；

可由 Stop2 返回 Run，退出条件为：如果 wfi 进入则支持中断唤醒，如果 wfe 进入则支持事件唤醒；

由 pwr 模块汇总唤醒源状态，并输出 *pwr\_wakeup\_int* 中断信号与 *pwr\_wakeup\_event* 事件信号给 CPU 用于唤醒。

###### 6.7.2 唤醒源

* GPIO00-GPIO63 均可用于唤醒，4 个 IO 为一组，一组内每个 IO 均有唤醒使能配置，一组可产生一个唤醒信号，一组内每个 IO 均支持选择高电平唤醒或低电平唤醒。除 GPIO 外的唤醒源列举如下。
* PVM 报警  Wakeup/Tamper IO
* VD 报警  RTC Alarm
* TD 报警  RTC CYC Timer
* LD 报警  LPUART 接收状态
* 比较器  LORA BUSY
* LPTIM0/1  LORA IRQ
* FD\_32K 报警

#### 6.8 Stop3

##### 6.8.1 进入与退出条件

可由 Run 进入 Stop3，进入条件为：配置 lp\_mode 为 2’b11，lp\_mode\_ext 为 1’b1，CPU 执行 wfi/wfe 指令（SLEEPDEEP=1），或者 isr 返回（SLEEPONEXIT=1 同时 SLEEPDEEP=1）；可由 Stop3 返回 Run，退出条件为：有 Stop3 唤醒事件发生。

###### 6.8.2 唤醒源

* GPIO00-GPIO55 均可用于唤醒，4 个 IO 为一组，每组可选择一个 IO 用于唤醒，每组产生一个唤醒信号，每组支持选择高电平唤醒或低电平唤醒。除 GPIO 外的唤醒源列举如下。
* PVM 报警  RTC Alarm
* VD 报警  RTC CYC Timer
* 比较器  LPUART 接收状态
* LPTIM0/1  LORA BUSY
* FD\_32K 报警  LORA IRQ
* Wakeup/Tamper IO  IWDG 超时

#### 6.9 Standby

##### 6.9.1 进入与退出条件

可由 Run 进入 Standby，进入条件为：配置 lp\_mode 为 2’b11，lp\_mode\_ext 为 1’b0，CPU 执行wfi/wfe指令（SLEEPDEEP=1），或者isr返回（SLEEPONEXIT=1同时SLEEPDEEP=1）；可由 Standby 返回 Run，退出条件为：有 Standby 唤醒事件发生。

**注意：**

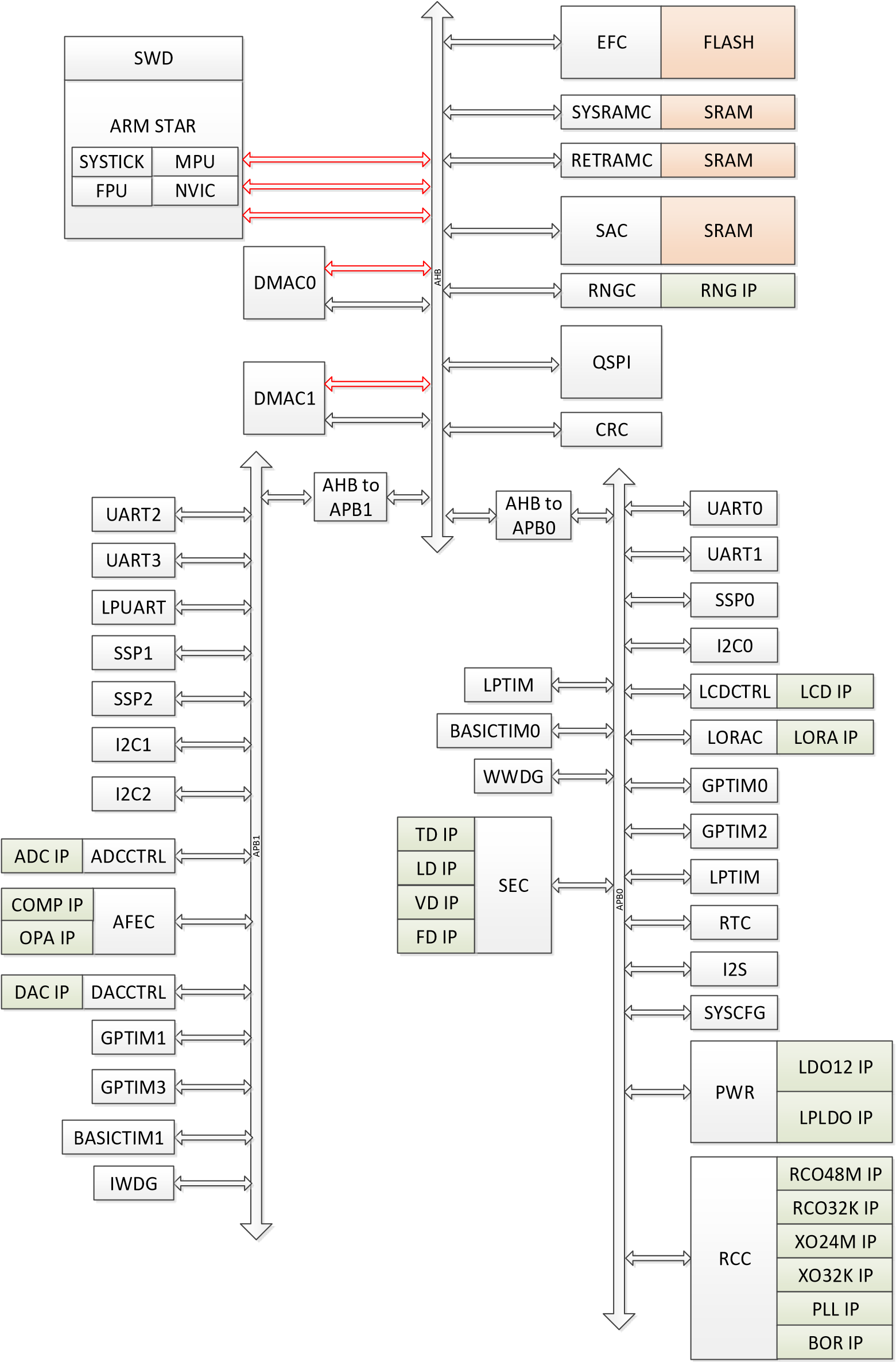
1. *DCDC*与*VBAT*供电切换时，*Standby*进入后会立即退出，不需要唤醒事件。
2. *dbg\_standby=1*时，不能进行*DCDC*与*VBAT*电源切换，如果两者均有效，以 *dbg\_standby*优先。

###### 6.9.2 唤醒源

* PVM 报警  RTC Alarm
* VD 报警  RTC CYC Timer
* 比较器  LPUART 接收状态
* LPTIM0/1  LORA BUSY
* FD\_32K 报警  LORA IRQ
* Wakeup/Tamper IO  IWDG 超时

### 7. 系统配置

#### 7.1 系统架构



**图 7-1 系统架构图**

##### 7.1.1 Arm China STAR-MC1 微处理器

Arm China STAR-MC1 微处理器共包括三条 master 总线，包括 icode AHB bus，dcode AHB bus 以及 system AHB bus，用于执行程序访问、数据访问以及寄存器访问。

**7.1.2 DMAC0**

DMAC0 共包括一条 master 总线，可用于协助 CPU 完成数据搬移操作。

##### 7.1.3 DMAC1

DMAC1 共包括一条 master 总线，可用于协助 CPU 完成数据搬移操作。

**7.1.4 Master**

各个 master 总线可访问的地址范围请见下表。***(1)*** 表示仅在*boot from bootloader*时可访问。

**表 7-1 Master 总线访问范围**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 起始地址 | 结束地址 | 功能描述 | 可执行 | icode  访问 | dcode  访问 | system  访问 | dmac0 访问 | dmac1 访问 |
| 0xE0100000 | 0xFFFFFFFFF | Reserved |  |  |  |  |  |  |
| 0xE0000000 | 0xE00FFFFF | ARM STAR peripherals |  |  |  |  |  |  |
| 0xA0000000 | 0xDFFFFFFF | Reserved |  |  |  |  |  |  |
| 0x70000000 | 0x9FFFFFFF | Reserved |  |  |  |  |  |  |
| 0x60000000 | 0x6FFFFFFF | Qspi Flash Bank | Y |  |  | Y | Y | Y |
| 0x50000000 | 0x5FFFFFFF | Reserved |  |  |  |  |  |  |
| 0x40030000 | 0x4FFFFFFF | AHB1 SFR |  |  |  | Y | Y | Y |
| 0x40020000 | 0x4002FFFF | AHB0 SFR |  |  |  | Y | Y | Y |
| 0x40010000 | 0x4001FFFF | APB1 SFR |  |  |  | Y | Y | Y |
| 0x40000000 | 0x4000FFFF | APB0 SFR |  |  |  | Y | Y | Y |
| 0x30000400 | 0x3FFFFFFF | Reserved |  |  |  |  |  |  |
| 0x30000000 | 0x300003FF | Retention SRAM |  |  |  | Y | Y | Y |
| 0x20010000 | 0x2FFFFFFF | Reserved |  |  |  |  |  |  |
| 0x20000000 | 0x2000FFFF | System SRAM | Y |  |  | Y | Y | Y |
| 0x18010000 | 0x1FFFFFFF | Reserved |  |  |  |  |  |  |
| 0x18000000 | 0x1800FFFF | System SRAM | Y | Y | Y |  |  |  |
| 0x10004000 | 0x17FFFFFF | Reserved |  |  |  |  |  |  |
| 0x10003000 | 0x10003FFF | Option Bytes |  |  | Y |  |  |  |
| 0x10002000 | 0x10002FFF | Factory Bytes |  |  | Y |  |  |  |
| 0x10001C00 | 0x10001FFF | OTP |  |  | Y |  |  |  |
| 0x10000000 | 0x10001BFF | BootLoader |  | Y**(1)** | Y**(1)** |  |  |  |
| 0x08040000 | 0x0FFFFFFF | Reserved |  |  |  |  |  |  |
| 0x08000000 | 0x0803FFFF | Flash Main | Y | Y | Y |  | Y | Y |
| 0x00040000 | 0x07FFFFFF | Reserved |  |  |  |  |  |  |
| 0x00000000 | 0x0003FFFF | Flash Main/BootLoader/  System SRAM**(1)** | Y | Y | Y |  |  |  |

#### 7.2 存储器映射

存储器映射表如下所示，Bytes 数据使用小端格式存储，即低地址存储低位 Byte 数据。

##### 表 7-2 存储器映射

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 区域 | 起始地址 | 结束地址 | 功能描述 | 地址范围 |
| SYSTEM | 0xE0100000 | 0xFFFFFFFFF | Reserved |  |
| PPB | 0xE0000000 | 0xE00FFFFF | ARM STAR peripherals |  |
| EXT PERIPHERAL | 0xA0000000 | 0xDFFFFFFF | Reserved |  |
| EXT SRAM | 0x70000000 | 0x9FFFFFFF | Reserved |  |
| 0x60000000 | 0x6FFFFFFF | Qspi Flash Bank | 256MB |
| PERIPHERAL | 0x50000000 | 0x5FFFFFFF | Reserved |  |
| 0x40030000 | 0x4FFFFFFF | AHB1 SFR |  |
| 0x40020000 | 0x4002FFFF | AHB0 SFR |  |
| 0x40010000 | 0x4001FFFF | APB1 SFR |  |
| 0x40000000 | 0x4000FFFF | APB0 SFR |  |
| SRAM | 0x30000400 | 0x3FFFFFFF | Reserved |  |
| 0x30000000 | 0x300003FF | Retention SRAM | 1KB |
| 0x20010000 | 0x2FFFFFFF | Reserved |  |
| 0x20000000 | 0x2000FFFF | System SRAM | 64KB |
| CODE | 0x18010000 | 0x1FFFFFFF | Reserved |  |
| 0x18000000 | 0x1800FFFF | System SRAM | 64KB |
| 0x10004000 | 0x17FFFFFF | Reserved |  |
| 0x10003000 | 0x10003FFF | Option Bytes | 4KB |
| 0x10002000 | 0x10002FFF | Factory Bytes | 4KB |
| 0x10001C00 | 0x10001FFF | OTP | 1KB |
| 0x10000000 | 0x10001BFF | BootLoader | 7KB |
| 0x08040000 | 0x0FFFFFFF | Reserved |  |
| 0x08000000 | 0x0803FFFF | Flash Main | 256KB |
| 0x00040000 | 0x07FFFFFF | Reserved |  |
| 0x00000000 | 0x0003FFFF | Flash Main/BootLoader/  System SRAM**(1)** | 256KB |

***(1)*** 由启动方式决定*0x00000000*地址对应的存储器。

##### 7.2.1 AHB0 SFR

AHB0 SFR 内部的地址 mapping 请见下表。

**表 7-3 AHB0 SFR 内部的地址 mapping**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 起始地址 | 结束地址 | 功能描述 | 地址范围 |
| 0x40025000 | 0x4002FFFF | Reserved |  |
| 0x40024000 | 0x40024FFF | DMAC1 | 4KB |
| 0x40023000 | 0x40023FFF | DMAC0 | 4KB |
| 0x40022000 | 0x40022FFF | CRC | 4KB |
| 0x40021000 | 0x40021FFF | QSPI | 4KB |
| 0x40020000 | 0x40020FFF | EFC | 4KB |

##### 7.2.2 AHB1 SFR

AHB1 SFR 内部的地址 mapping 请见下表。

**表 7-4 AHB1 SFR 内部的地址 mapping**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 起始地址 | 结束地址 | 功能描述 | 地址范围 |
| 0x40034000 | 0x4003FFFF | Reserved |  |
| 0x40033000 | 0x40033FFF | RNGC | 4KB |
| 0x40030000 | 0x40032FFF | SAC | 12KB**(1)(2)** |

1. 低*8KB*为*ARAM*空间，高*4KB*为寄存器空间。
2. *ARAM*空间仅支持*word*访问。

##### 7.2.3 APB0 SFR

APB0 SFR 内部的地址 mapping 请见下表。

**表 7-5 APB0 SFR 内部的地址 mapping**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 起始地址 | 结束地址 | 功能描述 | 地址范围 |
| 0x4000f000 | 0x4000FFFF | SEC | 4KB |
| 0x4000e000 | 0x4000EFFF | RTC | 4KB |
| 0x4000d800 | 0x4000DFFF | LPTIM1 | 2KB |
| 0x4000d000 | 0x4000D7FF | LPTIM0 | 2KB |
| 0x4000c000 | 0x4000CFFF | BASICTIM0 | 4KB |
| 0x4000b000 | 0x4000BFFF | GPTIM2 | 4KB |
| 0x4000a000 | 0x4000AFFF | GPTIM0 | 4KB |
| 0x40009000 | 0x40009FFF | LORAC | 4KB |
| 0x40008000 | 0x40008FFF | AFEC | 4KB |
| 起始地址 | 结束地址 | 功能描述 | 地址范围 |
| 0x40007000 | 0x40007FFF | I2C0 | 4KB |
| 0x40006000 | 0x40006FFF | SSP0 | 4KB |
| 0x40005000 | 0x40005FFF | LPUART | 4KB |
| 0x40004000 | 0x40004FFF | UART1 | 4KB |
| 0x40003000 | 0x40003FFF | UART0 | 4KB |
| 0x40002000 | 0x40002FFF | I2S | 4KB |
| 0x40001800 | 0x40001FFF | PWR | 2KB |
| 0x40001000 | 0x400017FF | SYSCFG | 2KB |
| 0x40000000 | 0x40000FFF | RCC | 4KB |

##### 7.2.4 APB1 SFR

APB1 SFR 内部的地址 mapping 请见下表。

**表 7-6 APB1 SFR 内部的地址 mapping**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 起始地址 | 结束地址 | 功能描述 | 地址范围 |
| 0x4001fc00 | 0x4001FFFF | PortD | 1KB |
| 0x4001f800 | 0x4001FBFF | PortC | 1KB |
| 0x4001f400 | 0x4001F7FF | PortB | 1KB |
| 0x4001f000 | 0x4001F3FF | PortA | 1KB |
| 0x4001e000 | 0x4001EFFF | WWDG | 4KB |
| 0x4001d000 | 0x4001DFFF | IWDG | 4KB |
| 0x4001c000 | 0x4001CFFF | BASICTIM1 | 4KB |
| 0x4001b000 | 0x4001BFFF | GPTIM3 | 4KB |
| 0x4001a000 | 0x4001AFFF | GPTIM1 | 4KB |
| 0x40019000 | 0x40019FFF | DACCTRL | 4KB |
| 0x40018000 | 0x40018FFF | LCDCTRL | 4KB |
| 0x40017000 | 0x40017FFF | ADCCTRL | 4KB |
| 0x40016000 | 0x40016FFF | Reserved | 4KB |
| 0x40015000 | 0x40015FFF | I2C2 | 4KB |
| 0x40014000 | 0x40014FFF | I2C1 | 4KB |
| 0x40013000 | 0x40013FFF | SSP2 | 4KB |
| 0x40012000 | 0x40012FFF | SSP1 | 4KB |
| 0x40011000 | 0x40011FFF | UART3 | 4KB |
| 0x40010000 | 0x40010FFF | UART2 | 4KB |

##### 7.3 SRAM

系统中 SRAM 包括 system sram，retention sram 以及 sac sram。其中 sac sram 仅支持 word 访问，system sram 与 retention sram 支持 word、halfword、byte 访问。

#### 7.4 启动方式

启动方式由 IO 电平以及 Flash 存储数据共同决定，具体见下表。

##### 表 7-7 SoC 启动方式配置表

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| DEBUG\_  LEVEL | USE\_FLASH\_  BOOT0 | FLASH\_  BOOT0 | BOOT0  PIN | FLASH\_  BOOT1 | MAIN\_FLASH\_  EMPTY | Boot Config |
| 2 | X | X | X | X | X | Boot from Flash Main |
| <2 | 0 | X | 0 | X | 0 | Boot from Flash Main |
| <2 | 0 | X | 0 | X | 1 | Boot from Flash Bootloader |
| <2 | 0 | X | 1 | 1 | X | Boot from Flash Bootloader |
| <2 | 0 | X | 1 | 0 | X | Boot from System SRAM |
| <2 | 1 | 1 | X | X | 0 | Boot from Flash Main |
| <2 | 1 | 1 | X | X | 1 | Boot from Flash Bootloader |
| <2 | 1 | 0 | X | 1 | X | Boot from Flash Bootloader |
| <2 | 1 | 0 | X | 0 | X | Boot from System SRAM |

其中，DebugLevel、UseFlashBoot0、FlashBoot0、FlashBoot1 为 Flash info 区数据，可由应用根据需要修改。MainFlashEmpty 由 Flash Main 区的 0 地址数据决定，如果为 0xFFFFFFFF，则 MainFlashEmpty 为 1，否则为 0。BOOT0 pin 由 GPIO02 电平决定。

启动方式的判断在芯片上电、退出 Standby、系统复位时发生，由硬件自动完成。

#### 7.5 系统配置相关寄存器描述

寄存器基地址：0x40001000

**表 7-8 SYSCFG 寄存器列表**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 寄存器 | 偏移量 | 描述 |
| SYSCFG\_CR0 | 0x000 | 控制寄存器 0，DMA 硬件握手控制 |
| SYSCFG\_CR1 | 0x004 | 控制寄存器 1，DMA 硬件握手控制 |
| SYSCFG\_CR2 | 0x008 | 控制寄存器 2 |
| SYSCFG\_CR3 | 0x00C | 控制寄存器 3，低功耗 Debug 连接控制 |
| SYSCFG\_CR4 | 0x010 | 控制寄存器 4 |
| SYSCFG\_CR5 | 0x014 | 控制寄存器 5 |
| SYSCFG\_CR6 | 0x018 | 控制寄存器 6，安全锁定控制 |
| SYSCFG\_CR7 | 0x01C | 控制寄存器 7，安全锁定控制 |
| SYSCFG\_CR8 | 0x020 | 控制寄存器 8，QSPI 存储密钥 |
| SYSCFG\_CR9 | 0x024 | 控制寄存器 9，QSPI REMAP 控制 |
| SYSCFG\_CR10 | 0x028 | 控制寄存器 10 |

##### 7.5.1 SYSCFG\_CR0

偏移量：0x000 复位值：0x00000000

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **31-30** | **29-24** | **23-22** | **21-16** |
| RESERVED | DMAC0\_HANDSHAKE0\_SEL | RESERVED | DMAC0\_HANDSHAKE1\_SEL |
| r | r/w | r | r/w |
| **15-14** | **13-8** | **7-6** | **5-0** |
| RESERVED | DMAC0\_HANDSHAKE2\_SEL | RESERVED | DMAC0\_HANDSHAKE3\_SEL |
| r | r | r | r/w |

**位 31-30 RESERVED：**保留，不能修改。

**位 29-24 DMAC0\_HANDSHAKE0\_SEL：**DMAC0 的 HANDSHAKE0 来源选择，请查询表*7-9 DMA*

请求*MUX*。

**位 23-22 RESERVED：**保留，不能修改。

**位 21-16 DMAC0\_HANDSHAKE1\_SEL：**DMAC0 的 HANDSHAKE1 来源选择。请查询表*7-9 DMA*

请求*MUX*。

**位 15-14 RESERVED：**保留，不能修改。

**位 13-8 DMAC0\_HANDSHAKE2\_SEL：**DMAC0 的 HANDSHAKE2 来源选择，请查询表*7-9 DMA*

请求*MUX*。

**位 7-6 RESERVED：**保留，不能修改。

**位 5-0 DMAC0\_HANDSHAKE3\_SEL：**DMAC0 的 HANDSHAKE3 来源选择，请查询表*7-9 DMA*

请求*MUX*。

##### 7.5.2 SYSCFG\_CR1

偏移量：0x004 复位值：0x00000000

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **31-30** | **29-24** | **23-22** | **21-16** |
| RESERVED | DMAC1\_HANDSHAKE0\_SEL | RESERVED | DMAC1\_HANDSHAKE1\_SEL |
| r | r/w | r | r/w |
| **15-14** | **13-8** | **7-6** | **5-0** |
| RESERVED | DMAC1\_HANDSHAKE2\_SEL | RESERVED | DMAC1\_HANDSHAKE3\_SEL |
| r | r | r | r/w |

**位 31-30 RESERVED：**保留，不能修改。

**位 29-24 DMAC1\_HANDSHAKE0\_SEL：**DMAC1 的 HANDSHAKE0 来源选择，请查询表*7-9 DMA*

请求*MUX*。

**位 23-22 RESERVED：**保留，不能修改。**位 21-16 DMAC1\_HANDSHAKE1\_SEL：**DMAC1 的 HANDSHAKE1 来源选择。请查询表*7-9 DMA* 请求*MUX*。

**位 15-14 RESERVED：**保留，不能修改。

**位 13-8 DMAC1\_HANDSHAKE2\_SEL：**DMAC1 的 HANDSHAKE2 来源选择，请查询表*7-9 DMA*

请求*MUX*。

**位 7-6 RESERVED：**保留，不能修改。

**位 5-0 DMAC1\_HANDSHAKE3\_SEL：**DMAC1 的 HANDSHAKE3 来源选择，请查询表*7-9 DMA*

请求*MUX*。

##### 7.5.3 SYSCFG\_CR2

偏移量：0x008 复位值：0x00000000

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **31** | **30** | **29-28** | **27** |
| RESERVED | SYSCFG\_HALTED\_IPTI  M1\_EN | RESERVED | SYSCFG\_HALTED\_LPT  IM0\_EN |
| r | r/w | r | r/w |
| **26** | **25** | **24** | **23** |
| SYSCFG\_HALTED\_IW  DG\_EN | SYSCFG\_HALTED\_WW  DG\_EN | SYSCFG\_HALTED\_GP  TIM0\_EN | SYSCFG\_HALTED\_GP  TIM1\_EN |
| r/w | r/w | r/w | r/w |
| **22** | **21** | **20** | **19** |
| SYSCFG\_HALTED\_GP  TIM2\_EN | SYSCFG\_HALTED\_GP  TIM3\_EN | SYSCFG\_HALTED\_BA  SICTIM0\_EN | SYSCFG\_HALTED\_BA  SICTIM1\_EN |
| r/w | r/w | r/w | r/w |
| **18** | **17** | **16-12** | |
| QSPI\_MEM\_ENCRYPT  \_EN | QSPI\_REMAP\_ENABLE | RESERVED | |
| r/w | r/w | r | |
| **11** | **10** | **9-8** | |
| CPU\_STCALIB\_SKEW | SYSCFG\_DBG\_SLEEP | RESERVED | |
| r/w | r/w | r | |
| **7** | **6** | **5** | **4** |
| UART0\_DMA\_CLR\_SEL | UART1\_DMA\_CLR\_SEL | UART2\_DMA\_CLR\_SEL | UART3\_DMA\_CLR\_SEL |
| r/w | r/w | r/w | r/w |
| **3** | **2** | **1** | **0** |
| SSP0\_DMA\_CLR\_SEL | SSP1\_DMA\_CLR\_SEL | SSP2\_DMA\_CLR\_SEL | SSP\_AFEC\_DMA\_CLR  \_SEL |
| r/w | r/w | r/w | r/w |

**位 31 RESERVED：**保留，不能修改。

**位 30 SYSCFG\_HALTED\_LPTIM1\_EN：**CPU halted 时，lPTIM1 停止计数的使能控制。

* 0：不使能
* 1：使能**位 29-28 RESERVED：**保留，不能修改。

**位 27 SYSCFG\_HALTED\_LPTIM0\_EN：**CPU halted 时，LPTIM0 停止计数的使能控制。

* 0：不使能
* 1：使能**位 26 SYSCFG\_HALTED\_IWDG\_EN：**CPU halted 时，IWDG 停止计数的使能控制。
* 0：不使能
* 1：使能**位 25 SYSCFG\_HALTED\_WWDG\_EN：**CPU halted 时，WWDG 停止计数的使能控制。
* 0：不使能
* 1：使能**位 24 SYSCFG\_HALTED\_GPTIM0\_EN：**CPU halted 时，GPTIM0 停止计数的使能控制。
* 0：不使能
* 1：使能**位 23 SYSCFG\_HALTED\_GPTIM1\_EN：**CPU halted 时，GPTIM1 停止计数的使能控制。
* 0：不使能
* 1：使能**位 22 SYSCFG\_HALTED\_GPTIM2\_EN：**CPU halted 时，GPTIM2 停止计数的使能控制。
* 0：不使能
* 1：使能**位 21 SYSCFG\_HALTED\_GPTIM3\_EN：**CPU halted 时，GPTIM3 停止计数的使能控制。
* 0：不使能
* 1：使能**位 20 SYSCFG\_HALTED\_BASICTIM0\_EN：**CPU halted 时，BASICTIM0 停止计数的使能控制。
* 0：不使能
* 1：使能**位 19 SYSCFG\_HALTED\_BASICTIM1\_EN：**CPU halted 时，BASICTIM1 停止计数的使能控制。
* 0：不使能
* 1：使能

**位 18 QSPI\_MEM\_ENCRYPT\_EN：**QSPI 的存储加密功能使能控制。

* 0：不使能
* 1：使能

**位 17 QSPI\_REMAP\_ENABLE：**QSPI 的 remap 功能使能控制。

* 0：不使能
* 1：使能**位 16-12 RESERVED：**保留，不能修改。

**位 11 CPU\_STCALIB\_SKEW：**CPU SysTick 的 skew 配置。影响 CPU 的 STCALIB[24]位。

* 0：无 skew
* 1：有 skew

**位 10 SYSCFG\_DBG\_SLEEP：**Sleep 低功耗模式是否允许 debug 连接。

仅在 debug 时使用，会影响 sleep 低功耗模式的实现方式。

* 0：不允许
* 1：允许**位 9-8 RESERVED：**保留，不能修改。

**位 7 UART0\_DMA\_CLR\_SEL：**UART0 的 DMA\_CLR 信号选择。

建议配置为 1，提高 DMAC 搬数效率，UART IP 默认使用同步后的 DMA\_CLR 信号。

* 0：使用 2 拍同步后的 DMA\_CLR 信号
* 1：直接使用 dmac 输出的 DMA\_CLR 信号**位 6 UART1\_DMA\_CLR\_SEL：**UART1 的 DMA\_CLR 信号选择。

建议配置为 1，提高 DMAC 搬数效率，UART IP 默认使用同步后的 DMA\_CLR 信号。

* 0：使用 2 拍同步后的 DMA\_CLR 信号
* 1：直接使用 DMAC 输出的 DMA\_CLR 信号**位 5 UART2\_DMA\_CLR\_SEL：**UART2 的 DMA\_CLR 信号选择。

建议配置为 1，提高 DMAC 搬数效率，UART IP 默认使用同步后的 DMA\_CLR 信号。

* 0：使用 2 拍同步后的 DMA\_CLR 信号
* 1：直接使用 DMAC 输出的 DMA\_CLR 信号**位 4 UART3\_DMA\_CLR\_SEL：**UART3 的 DMA\_CLR 信号选择。

建议配置为 1，提高 DMAC 搬数效率，UART IP 默认使用同步后的 DMA\_CLR 信号。

* 0：使用 2 拍同步后的 DMA\_CLR 信号
* 1：直接使用 DMAC 输出的 DMA\_CLR 信号**位 3 SSP0\_DMA\_CLR\_SEL：**SSP0 的 DMA\_CLR 信号选择。

建议配置为 1，提高 DMAC 搬数效率，SSP IP 默认使用同步后的 DMA\_CLR 信号。

* 0：使用 2 拍同步后的 DMA\_CLR 信号
* 1：直接使用 DMAC 输出的 DMA\_CLR 信号**位 2 SSP1\_DMA\_CLR\_SEL：**SSP1 的 DMA\_CLR 信号选择。

建议配置为 1，提高 DMAC 搬数效率，SSP IP 默认使用同步后的 DMA\_CLR 信号。

* 0：使用 2 拍同步后的 DMA\_CLR 信号
* 1：直接使用 DMAC 输出的 DMA\_CLR 信号**位 1 SSP2\_DMA\_CLR\_SEL：**SSP2 的 DMA\_CLR 信号选择。

建议配置为 1，提高 DMAC 搬数效率，SSP IP 默认使用同步后的 DMA\_CLR 信号。

* 0：使用 2 拍同步后的 DMA\_CLR 信号
* 1：直接使用 DMAC 输出的 DMA\_CLR 信号**位 0 SSP\_AFEC\_DMA\_CLR\_SEL：**AFEC 中 SSP 的 DMA\_CLR 信号选择。建议配置为 1，提高 DMAC 搬数效率，SSP IP 默认使用同步后的 DMA\_CLR 信号。
* 0：使用 2 拍同步后的 DMA\_CLR 信号
* 1：直接使用 DMAC 输出的 DMA\_CLR 信号

##### 7.5.4 SYSCFG-CR3

偏移量：0x00C 复位值：0x00000000

对应寄存器在 AON 电源域。

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **31-2** | **1** | **0** |
| RESERVED | SYSCFG\_DBG\_STOP | SYSCFG\_DBG\_STANDBY |
| r | r/w | r/w |

**位 31-2 RESERVED：**保留，不能修改。

**位 1 SYSCFG\_DBG\_STOP：**Stop 低功耗模式是否允许 debug 连接。

仅在 debug 时使用，会影响 stop 低功耗模式的实现方式。

* 0：不允许
* 1：允许**位 0 SYSCFG\_DBG\_STANDBY：**Standby 低功耗模式是否允许 debug 连接。

仅在 debug 时使用，会影响 standby 低功耗模式的实现方式。

* 0：不允许  1：允许

##### 7.5.5 SYSCFG\_CR4

偏移量：0x010 复位值：0x00000000 对应寄存器在 AON 电源域。

|  |  |
| --- | --- |
| **31** | **30-0** |
| SYSCFG\_CR4\_REG | USER-DEFINED |
| r/w | r/w |

**位 31：**LPTIM1 的 IN2 重映射使能。

* 0：不使能，LPTIM1 的 IN2 由 GPIO 的 AFR 决定
* 1：使能，LPTIM1 的 IN2 来自 LPTIM0 的 IN1 **位 30-0：**无特殊功能，可用于软件存储少量数据。

##### 7.5.6 SYSCFG\_CR5

偏移量：0x014 复位值：0x00000000 对应寄存器在 AON 电源域。

|  |
| --- |
| **31-0** |
| SYSCFG\_CR5\_REG |
| r/w |

**位 31-0 SYSCFG\_CR5\_REG：**无特殊功能，可用于软件存储少量数据。

##### 7.5.7 SYSCFG\_CR6

偏移量：0x018 复位值：0x00000000

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **31-16** | **15** | **14-5** | **4** |
| RESERVED | RNGC\_SECURE\_LOCK | ANALOG\_MAIN\_SECU  RE\_LOCK | RESERVED |
| r | r/w | r/w | r |
| **3** | **2** | **1** | **0** |
| SEC\_SECURE\_LOCK | SAC\_SECURE\_LOCK | DMAC0\_SLAVE\_SECU  RE\_LOCK | DMAC0\_MASTER\_SEC  URE\_LOCK |
| r/w | r/w | r/w | r/w |

**位 31-16 RESERVED：**保留，不能修改。

**位 15 RNGC\_SECURE\_LOCK：**RNGC 安全锁定位。

* 0：非安全锁定
* 1：安全锁定**位 14-5 ANALOG\_MAIN\_SECURE\_LOCK：**AFEC 中 Main 域配置的安全锁定位。

1. 对应 VD
   * 0：非安全锁定
   * 1：安全锁定
2. 对应 TD
   * 0：非安全锁定
   * 1：安全锁定
3. 对应 LD
   * 0：非安全锁定
   * 1：安全锁定
4. 对应 FD24M
   * 0：非安全锁定
   * 1：安全锁定
5. 对应 FD32M
   * 0：非安全锁定
   * 1：安全锁定
6. 对应 RNG
   * 0：非安全锁定
   * 1：安全锁定
7. 对应 TEST
   * 0：非安全锁定
   * 1：安全锁定

[14:12] 未使用

* + 0：非安全锁定
  + 1：安全锁定 **位 4 RESERVED：**保留，不能修改。

**位 3 SEC\_SECURE\_LOCK：**SEC 安全锁定位。

* + 0：非安全锁定
  + 1：安全锁定**位 2 SAC\_SECURE\_LOCK：**SAC 安全锁定位。
  + 0：非安全锁定
  + 1：安全锁定**位 1 DMAC0\_SLAVE\_SECURE\_LOCK：**DMAC0 的从接口安全锁定位。
  + 0：非安全锁定
  + 1：安全锁定**位 0 DMAC0\_MASTER\_SECURE\_LOCK：**DMAC0 的主接口安全锁定位。
  + 0：非安全锁定
  + 1：安全锁定

##### 7.5.8 SYSCFG\_CR7

偏移量：0x01C 复位值：0x00000000 对应寄存器在 AON 电源域。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **31-15** | **14-5** | | **4** | |
| RESERVED | ANALOG\_AON\_SECURE\_LOCK | | RTC\_CALENDAR\_SECURE\_LOCK | |
| r | r/w | | r/w | |
| **3** | **2** | **1** | | **0** |
| RTC\_WAKEUP2\_SEC  URE\_LOCK | RTC\_WAKEUP1\_SECU  RE\_LOCK | RTC\_WAKEUP0\_SECU  RE\_LOCK | | RTC\_TAMPER\_SECUR  E\_LOCK |
| r/w | r/w | r/w | | r/w |

**位 31-16 RESERVED：**保留，不能修改。

**位 14-5 ANALOG\_AON\_SECURE\_LOCK：**AFEC 中 AON 域配置的安全锁定位。

1. 对应 LPLDO
   * 0：非安全锁定
   * 1：安全锁定
2. 对应 RCO3.6M
   * 0：非安全锁定
   * 1：安全锁定
3. 对应 PWRSW
   * 0：非安全锁定
   * 1：安全锁定
4. 对应 RCO32K
   * 0：非安全锁定
   * 1：安全锁定
5. 对应 XO32K
   * 0：非安全锁定
   * 1：安全锁定
6. 对应 LDO12
   * 0：非安全锁定
   * 1：安全锁定
7. 对应 FD32K
   * 0：非安全锁定
   * 1：安全锁定

[14:12] 未使用

* + 0：非安全锁定
  + 1：安全锁定 **位 4 RTC\_CALENDAR\_SECURE\_LOCK：**RTC 中 Calendar 配置的安全锁定位。
  + 0：非安全锁定
  + 1：安全锁定**位 3 RTC\_WAKEUP2\_SECURE\_LOCK：**RTC 中 Wakeup2 配置的安全锁定位。
  + 0：非安全锁定
  + 1：安全锁定**位 2 RTC\_WAKEUP1\_SECURE\_LOCK：**RTC 中 Wakeup1 配置的安全锁定位。
  + 0：非安全锁定
  + 1：安全锁定**位 1 RTC\_WAKEUP0\_SECURE\_LOCK：**RTC 中 Wakeup0 配置的安全锁定位。
  + 0：非安全锁定
  + 1：安全锁定**位 0 RTC\_TAMPER\_SECURE\_LOCK：**RTC 中 Tamper 配置的安全锁定位。
  + 0：非安全锁定
  + 1：安全锁定

##### 7.5.9 SYSCFG\_CR8

偏移量：0x020 复位值：0x00000000

|  |
| --- |
| **31-0** |
| QSPI\_MEM\_ENCRYPT\_KEY |
| r/w |

**位 31-0 QSPI\_MEM\_ENCRYPT\_KEY：**QSPI 的存储加密密钥。

##### 7.5.10 SYSCFG\_CR9

偏移量：0x024 复位值：0x00000000

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **31-28** | **27-14** | **13-0** |
| RESERVED | QSPI\_REMAP\_SRC\_ADDR | QSPI\_REMAP\_DST\_ADDR |
| r | r/w | r/w |

**位 31-28 RESERVED：**保留，不能修改。**位 27-14 QSPI\_REMAP\_SRC\_ADDR：**QSPI 映射前地址，单位为 1KB。**位 13-0 QSPI\_REMAP\_DST\_ADDR：**QSPI 映射后地址，单位为 1KB。

##### 7.5.11 SYSCFG\_CR10

偏移量：0x028 复位值：0x00000000

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **31-24** | **23** | **22** | **21-15** | **14** | **13-0** |
| RESERVED | I2S\_WS\_SEL | I2S\_WS\_EN | I2S\_WS\_LEN | I2S\_MODE\_SEL | QSPI\_REMAP\_  SIZE |
| r | r/w | r/w | r/w | r/w | r/w |

**位 31-24 RESERVED：**保留，不能修改。**位 23 I2S\_WS\_SEL：**I2S WS 输出延时使能。

* 0：不使能
* 1：使能

**注意：**此寄存器仅在*I2S*主接口时有效，使能后，输出的*WS*信号比数据会延后一拍。

**位 22 I2S\_WS\_EN：**I2S WS 使能。

* 0：不使能
* 1：使能**注意：**此寄存器仅在*I2S*主接口时有效，使能后会基于*I2S\_WS\_LEN*配置产生*WS*信号。

**位 21-15 I2S\_WS\_LEN：**I2S 主接口的分辨率配置。

N：WS 频率=I2S 接口时钟频率/[(N+1)\*2]

I2S 接口时钟频率由 *RCC* 的 I2S\_CLK\_DIV 与 I2S\_CLK\_SEL 共同决定。

**位 14 I2S\_MODE\_SEL：**I2S 主从选择。

* 0：从接口
* 1：主接口**注意：**除此寄存器外，还需要配置*RCC*的*I2S\_CLK\_DIV*与*I2S\_CLK\_SEL*，以及*GPIO*的复用配置。**位 13-0 QSPI\_REMAP\_SIZE：**QSPI 的 REMAP 的空间大小，单位为 1KB。

##### 7.6 DMA 请求 MUX

**表 7-9 DMA 请求 MUX**

|  |  |
| --- | --- |
| No. | Source |
| 63 |  |
| 62 |  |
| 61 |  |
| 60 |  |
| 59 |  |
| 58 |  |
| 57 |  |
| 56 |  |
| 55 |  |
| 54 |  |
| 53 | basictim0\_up |
| 52 | basictim1\_up |
| 51 | gptim3\_up |
| 50 | gptim3\_trg |
| 49 | gptim3\_ch0 |
| 48 | gptim3\_ch1 |
| 47 | gptim2\_up |
| 46 | gptim2\_trg |
| 45 | gptim2\_ch0 |
| 44 | gptim2\_ch1 |
| 43 | gptim1\_up |
| 42 | gptim1\_trg |
| 41 | gptim1\_ch0 |
| 40 | gptim1\_ch1 |
| 39 | gptim1\_ch2 |
| 38 | gptim1\_ch3 |
| 37 | gptim0\_up |
| 36 | gptim0\_trg |
| 35 | gptim0\_ch0 |
| 34 | gptim0\_ch1 |
| 33 | gptim0\_ch2 |
| 32 | gptim0\_ch3 |
| 31 | uart0\_rx |
| 30 | uart0\_tx |
| 29 | uart1\_rx |
| 28 | uart1\_tx |
| 27 | uart2\_rx |
| No. | Source |
| 26 | uart2\_tx |
| 25 | uart3\_rx |
| 24 | uart3\_tx |
| 23 | lpuart\_rx |
| 22 | lpuart\_tx |
| 21 | ssp0\_rx |
| 20 | ssp0\_tx |
| 19 | ssp1\_rx |
| 18 | ssp1\_tx |
| 17 | ssp2\_rx |
| 16 | ssp2\_tx |
| 15 | i2c0\_rx |
| 14 | i2c0\_tx |
| 13 | i2c1\_rx |
| 12 | i2c1\_tx |
| 11 | i2c2\_rx |
| 10 | i2c2\_tx |
| 9 |  |
| 8 |  |
| 7 | adcctrl |
| 6 | dacctrl |
| 5 | lorac\_rx |
| 4 | lorac\_tx |
| 3 |  |
| 2 |  |
| 1 |  |
| 0 |  |

### 8. 复位和时钟控制 (RCC)

#### 8.1 复位

复位主要包括四种类型，外部复位、上电复位、系统复位、低功耗复位。

##### 8.1.1 外部复位

外部复位由 RSTN IO 输入，低电平有效。

外部复位用于复位所有数字逻辑。

##### 8.1.2 上电复位

上电复位由 BOR 电路产生。BOR 电路监控 VBAT 电压，保证当电压大于 1.8V 时内部复位释放。

上电复位用于复位所有数字逻辑。

##### 8.1.3 系统复位

系统复位源头包括 IWDG 复位、WWDG 复位、Option Byte Load 复位、Software 复位、Sec 复位、上电复位、外部复位。

* IWDG 复位：由 IWDG 模块产生，用于异常恢复。
* WWDG 复位：由 WWDG 模块产生，用于异常恢复。
* Option Byte Load 复位：由 EFC 模块产生，用于启动 option byte 重新加载。
* Software 复位：由 CPU 模块产生。
* Sec 复位：由 Sec 模块产生，用于安全报警复位。

系统复位用于复位 Main 域的大部分数据逻辑，但不包括复位源状态寄存器，该寄存器用于记录哪个系统复位源产生此次复位。

##### 8.1.4 低功耗复位

低功耗复位由低功耗状态机产生，用于退出 Standby 或 Stop3 模式时复位 Main 域的逻辑。

低功耗复位用于复位 Main 域的所有数字逻辑。

#### 8.2 时钟

时钟网络图如下所示：

iwdg, gpio

**图 8-1 时钟网络图**

##### 8.2.1 系统时钟 SYS\_CLK

系统时钟 SYS\_CLK 来源包括 RCO48M 的 2 分频，RCO32K，XO32K，PLL，XO24M， XO32M，RCO3.6M，RCO48M，缺省为 RCO48M 的 2 分频。

* RCO48M 为内部时钟电路产生，频率为 48MHz。
* RCO32K 为内部时钟电路产生，频率为 32KHz。
* RCO3.6M 为内部时钟电路产生，频率为 3.6MHz。
* XO32K 为外部晶振产生，频率为 32.768KHz。
* XO32M 为外部晶振产生，频率为 32MHz。
* XO24M 为外部晶振产生，频率为 24MHz。
* PLL为内部时钟电路，PLL的时钟源支持选择RCO48M、XO32M、XO24M、RCO3.6M， PLL 时钟输出最大支持 48MHz。

AHB 总线时钟 HCLK 由 SYS\_CLK 分频产生，分频系数支持 2^N，N 支持 0-9。

系统中包括两条 APB 总线，APB 总线时钟 PCLK1 与 PCLK2 由 HCLK 分频产生，分频系数支持 2^M，M 支持 0-4，两个 APB 总线分频系数可以独立配置。

##### 8.2.2 模块时钟

模块时钟包括总线时钟与接口时钟。

总线时钟由 HCLK 或 PCLK 门控产生，用于模块的总线访问。

部分模块除总线时钟外，还有独立的接口时钟，与总线时钟异位，用于模块的功能实现。

模块的接口时钟来源如下：

* LPTIM 支持 PCLK0，RCO3.6M，XO32K，RCO32K，IO 输入时钟；
* LCDCTRL 支持 XO32K，RCO32K，RCO3.6M；
* LPUART 支持 XO32K，RCO32K，RCO3.6M；
* RTC 支持 XO32K，RCO32K；
* IWDG 支持 XO32K，RCO32K；
* UART 支持 PCLK0/PCLK1，RCO3.6M，XO32K，XO24M；
* ADCCTRL 支持 PCLK1，SYS\_CLK，PLL，RCO48M；
* I2S 支持 PCLK0，XO24M，PLL，XO32M，IO 输入时钟；
* QSPI 支持 HCLK，SYS\_CLK，PLL；

ADCCTRL 与 I2S 还支持接口时钟分频功能，用于实现低频接口时钟产生。

LPTIM，LCDCTRL，LPUART，RTC，IWDG 支持 AON 域与 Main 域时钟单独门控。

##### 8.2.3 时钟输出 MCO

支持通过 MCO 信号将系统内部时钟通过 IO 输出。

MCO 时钟来源支持 RCO32K，XO32K，RCO3.6M，XO24M，XO32M，RCO48M，PLL， SYS\_CLK。

时钟支持分频输出，分频系统可由软件配置。

#### 8.3 RCC 相关寄存器描述

寄存器基地址：0x40000000

##### 表 8-1 RCC 寄存器列表

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 寄存器 | 偏移量 | 描述 |
| RCC\_CR0 | 0x000 | 控制寄存器 0 |
| RCC\_CR1 | 0x004 | 控制寄存器 1，接口时钟来源选择 |
| RCC\_CR2 | 0x008 | 控制寄存器 2，接口时钟来源选择 |
| RCC\_CGR0 | 0x00C | 模块时钟门控寄存器 0 |
| RCC\_CGR1 | 0x010 | 模块时钟门控寄存器 1 |
| RCC\_CGR2 | 0x014 | 模块时钟门控寄存器 2 |
| RCC\_RST0 | 0x018 | 模块复位控制寄存器 0 |
| RCC\_RST1 | 0x01C | 模块复位控制寄存器 1 |
| RCC\_RST\_SR | 0x020 | 系统复位源状态寄存器 |
| RCC\_RST\_CR | 0x024 | 系统复位源使能寄存器 |
| RCC\_SR | 0x028 | 状态寄存器，配置完成状态 |
| RCC\_SR1 | 0x02C | 状态寄存器 1，模块时钟门控状态 |
| RCC\_CR3 | 0x030 | 控制寄存器 3，接口时钟分频控制 |

##### 8.3.1 RCC\_CR0

偏移量：0x000 复位值：0x00000000

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **31-26** | **25** | **24-22** | **21-19** | **18** |
| RESERVED | STCLKEN\_SEL | MCO\_CLK\_DIV\_NUM | MCO\_CLK\_SEL | MCO\_CLK\_OUT\_EN |
| r | r/w | r/w | r/w | r/w |
| **17-15** | **14-12** | **11-8** | **7-5** | **4-0** |
| PCLK1\_DIV | SYS\_CLK\_SEL | HCLK\_DIV | PCLK0\_DIV | RESERVED |
| r/w | r/w | r/w | r/w | r |

**位 31-26 RESERVED：**保留，不能修改。

**位 25 STCLKEN\_SEL：**CPU SYSTICK 时钟来源选择。

* 0：XO32K
* 1：RCO32K **位 24-22 MCO\_CLK\_DIV\_NUM：**MCO 分频系数。
* <4：分频系数为 1
* 4：分频系数为 2
* 5：分频系数为 4
* 6：分频系数为 8
* 7：分频系数为 16 **注意：**需要保证在*MCO\_CLK\_OUT\_EN=0* 时修改*MCO* 分频系数。如果*MCO\_CLK\_OUT\_EN* 已使能，则需要软件先关闭*MCO\_CLK\_OUT\_EN*，并且等待至少*2* 拍切换前的时钟周期或者查询*RCC\_SR1*，然后再配置*mco*分频系数。

**位 21-19 MCO\_CLK\_SEL：**MCO 来源选择。

* 0：RCO32K
* 1：XO32K
* 2：RCO3.6M
* 3：XO24M
* 4：XO32M
* 5：RCO48M
* 6：PLL
* 7：SYS\_CLK **注意：**需要保证在*MCO\_CLK\_OUT\_EN=0*时修改*mco*来源选择。如果*MCO\_CLK\_OUT\_EN*已使能，则需要软件先关闭*MCO\_CLK\_OUT\_EN*，并且等待至少*2* 拍切换前的时钟周期或者查询*RCC\_SR1*，然后再配置*mco*来源选择。

**位 18 MCO\_CLK\_OUT\_EN：**MCO 输出使能。

* 0：不使能
* 1：使能

**位 17-15 PCLK1\_DIV：**PCLK1 分频系数。

* 0：pclk1 时钟频率等于 hclk 时钟频率
* 1：pclk1 时钟频率等于 hclk 时钟频率的 1/2
* 2：pclk1 时钟频率等于 hclk 时钟频率的 1/4
* 3：pclk1 时钟频率等于 hclk 时钟频率的 1/8
* >3：pclk1 时钟频率等于 hclk 时钟频率的 1/16 **位 14-12 SYS\_CLK\_SEL：**SYS\_CLK 时钟源选择。
* 0：RCO48M 的 2 分频
* 1：RCO32K
* 2：XO32K
* 3：PLL
* 4：XO24M
* 5：XO32M
* 6：RCO3.6M
* 7：RCO48M **位 11-8 HCLK\_DIV：**HCLK 分频系数。
* 0：hclk 时钟频率等于 sys\_clk 时钟频率
* 1：hclk 时钟频率等于 sys\_clk 时钟频率的 1/2
* 2：hclk 时钟频率等于 sys\_clk 时钟频率的 1/4
* 3：hclk 时钟频率等于 sys\_clk 时钟频率的 1/8
* 4：hclk 时钟频率等于 sys\_clk 时钟频率的 1/16
* 5：hclk 时钟频率等于 sys\_clk 时钟频率的 1/32
* 6：hclk 时钟频率等于 sys\_clk 时钟频率的 1/64
* 7：hclk 时钟频率等于 sys\_clk 时钟频率的 1/128
* 8：hclk 时钟频率等于 sys\_clk 时钟频率的 1/256
* >8：hclk 时钟频率等于 sys\_clk 时钟频率的 1/512 **位 7-5 PCLK0\_DIV：**PCLK0 分频系数。
* 0：pclk0 时钟频率等于 hclk 时钟频率
* 1：pclk0 时钟频率等于 hclk 时钟频率的 1/2
* 2：pclk0 时钟频率等于 hclk 时钟频率的 1/4
* 3：pclk0 时钟频率等于 hclk 时钟频率的 1/8
* >3：pclk0 时钟频率等于 hclk 时钟频率的 1/16

**位 4-0 RESERVED：**保留，不能修改。

##### 8.3.2 RCC\_CR1

偏移量：0x004 复位值：0x00000000

对应寄存器在 AON 电源域。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **31-12** | **11** | **10** | **9-8** | |
| RESERVED | LPTIM1\_EXT\_CLK\_SEL | LPTIM0\_EXT\_CLK\_SEL | LPTIM1\_CLK\_SEL | |
| r | r/w | r/w | r/w | |
| **7-6** | **5-4** | **3-2** | **1** | **0** |
| LPTIM0\_CLK\_SEL | LCDCTRL\_CLK\_SEL | LPUART\_CLK\_SEL | RTC\_CLK\_  SEL | IWDG\_CLK\_  SEL |
| r/w | r/w | r/w | r/w | r/w |

**位 31-12 RESERVED：**保留，不能修改。

**位 11 LPTIM1\_EXT\_CLK\_SEL：**LPTIM1 接口时钟选择。

* 0：由 LPTIM1\_CLK\_SEL 决定时钟来源
* 1：使用来自 IO 的 IN1 作为接口时钟**注意：**

1. 需要保证在*LPTIM1\_CLK\_EN=0*时修改*LPTIM1*接口时钟选择。如果*LPTIM1\_CLK\_EN*已使能，则需要软件先关闭*LPTIM1\_CLK\_EN*，并且等待至少*2*拍切换前的时钟周期或者查询*RCC\_SR1*，然后再配置*LPTIM1*接口时钟选择。
2. *LPTIM1\_EXT\_CLK\_SEL*与*LPTIM1\_CLK\_SEL*共同决定*LPTIM1*的接口时钟来源。

**位 10 LPTIM0\_EXT\_CLK\_SEL：**LPTIM0 接口时钟选择。

* 0：由 LPTIM0\_CLK\_SEL 决定时钟来源
* 1：使用来自 IO 的 IN1 作为接口时钟**注意：**

1. 需要保证在*LPTIM0\_CLK\_EN=0*时修改*LPTIM0*接口时钟选择。如果*LPTIM0\_CLK\_EN*已使能，则需要软件先关闭*LPTIM0\_CLK\_EN*，并且等待至少*2*拍切换前的时钟周期或者查询*RCC\_SR1*，然后再配置*LPTIM0*接口时钟选择。
2. *LPTIM0\_EXT\_CLK\_SEL*与*LPTIM0\_CLK\_SEL*共同决定*LPTIM0*的接口时钟来源。

**位 9-8 LPTIM1\_CLK\_SEL：**LPTIM1 接口时钟选择。

* 0：PCLK0
* 1：RCO3.6M
* 2：XO32K
* 3：RCO32K

###### 注意：

1. 需要保证在*LPTIM1\_CLK\_EN=0*时修改*LPTIM1*接口时钟选择。如果*LPTIM1\_CLK\_EN*已使能，则需要软件先关闭*LPTIM1\_CLK\_EN*，并且等待至少*2*拍切换前的时钟周期或者查询*RCC\_SR1*，然后再配置*LPTIM1*接口时钟选择。
2. *LPTIM1\_CLK\_SEL*与*LPTIM1*外部的时钟选择寄存器共同决定*LPTIM1*的接口时钟来源。
3. 如果选择*PCLK0*，则需要先配置*RCC\_CGR1*的*LPTIM1\_INF\_CLK\_EN*为*1*。

**位 7-6 LPTIM0\_CLK\_SEL：**LPTIM0 接口时钟选择。

* 0：PCLK0
* 1：RCO3.6M
* 2：XO32K
* 3：RCO32K

###### 注意：

1. 需要保证在*LPTIM0\_CLK\_EN=0*时修改*LPTIM0*接口时钟选择。如果*LPTIM0\_CLK\_EN*已使能，则需要软件先关闭*LPTIM0\_CLK\_EN*，并且等待至少*2*拍切换前的时钟周期或者查询*RCC\_SR1*，然后再配置*LPTIM0*接口时钟选择。
2. *LPTIM0\_CLK\_SEL*与*LPTIM0*外部的时钟选择寄存器共同决定*LPTIM0*的接口时钟来源。
3. 如果选择*PCLK0*，则需要先配置*RCC\_CGR1*的*LPTIM0\_INF\_CLK\_EN*为*1*。

**位 5-4 LCDCTRL\_CLK\_SEL：**LCDCTRL 接口时钟选择。

* 0：XO32K
* 1：RCO32K
* >1：RCO3.6M **位 3-2 LPUART\_CLK\_SEL：**LPUART 接口时钟选择。
* 0：XO32K
* 1：RCO32K
* >1：RCO3.6M **位 1 RTC\_CLK\_SEL：**RTC 接口时钟选择。
* 0：XO32K
* 1：RCO32K

**位 0 IWDG\_CLK\_SEL：**IWDG 接口时钟选择。

* 0：XO32K
* 1：RCO32K

##### 8.3.3 RCC\_CR2

偏移量：0x008 复位值：0x00000000

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **31-17** | **16-15** | **14-13** | **12-11** | |
| RESERVED | UART0\_CLK\_SEL | UART1\_CLK\_SEL | UART2\_CLK\_SEL | |
| r | r/w | r/w | r/w | |
| **10-9** | **8-7** | **6-5** | **4-2** | **1-0** |
| UART3\_CLK\_SEL | RESERVED | ADCCTRL\_CLK\_SEL | I2S\_CLK\_SEL | QSPI\_CLK\_SEL |
| r/w | r | r/w | r/w | r/w |

**位 31-17 RESERVED：**保留，不能修改。

**位 16-15 UART0\_CLK\_SEL：**UART0 接口时钟选择。

* 0：PCLK0
* 1：RCO3.6M
* 2：XO32K
* 3：XO24M **注意：**需要保证在*UART0\_CLK\_EN=0*时修改*UART0*接口时钟选择。如果*UART0\_CLK\_EN*已使能，则需要软件先关闭 *UART0\_CLK\_EN*，并且等待至少 *2* 拍切换前的时钟周期或者查询 *RCC\_SR1*，然后再配置 *UART0*接口时钟选择。

**位 14-13 UART1\_CLK\_SEL：**UART1 接口时钟选择。

* 0：PCLK0
* 1：RCO3.6M
* 2：XO32K
* 3：XO24M **注意：**需要保证在*UART1\_CLK\_EN=0*时修改*UART1*接口时钟选择。如果*UART1\_CLK\_EN*已使能，则需要软件先关闭 *UART1\_CLK\_EN*，并且等待至少 *2* 拍切换前的时钟周期或者查询 *RCC\_SR1*，然后再配置 *UART1*接口时钟选择。

**位 12-11 UART2\_CLK\_SEL：**UART2 接口时钟选择。

* 0：PCLK1
* 1：RCO3.6M
* 2：XO32K
* 3：XO24M **注意：**需要保证在*UART2\_CLK\_EN=0*时修改*UART2*接口时钟选择。如果*UART2\_CLK\_EN*已使能，则需要软件先关闭 *UART2\_CLK\_EN*，并且等待至少 *2* 拍切换前的时钟周期或者查询 *RCC\_SR1*，然后再配置 *UART2*接口时钟选择。

**位 10-9 UART3\_CLK\_SEL：**UART3 接口时钟选择。

* 0：PCLK1
* 1：RCO3.6M
* 2：XO32K
* 3：XO24M

**注意：**需要保证在*UART3\_CLK\_EN=0*时修改*UART3*接口时钟选择。如果*UART3\_CLK\_EN*已使能，则需要软件先关闭 *UART3\_CLK\_EN*，并且等待至少 *2* 拍切换前的时钟周期或者查询 *RCC\_SR1*，然后再配置 *UART3*接口时钟选择。

**位 8-7 RESERVED：**保留，不能修改。

**位 6-5 ADCCTRL\_CLK\_SEL：**ADCCTRL 接口时钟选择。

* 0：PCLK1
* 1：SYS\_CLK
* 2：PLL
* 3：RCO48M **注意：**需要保证在*ADCCTRL\_CLK\_EN=0* 时修改*ADCCTRL* 接口时钟选择。如果*ADCCTRL\_CLK\_EN* 已使能，则需要软件先关闭*ADCCTRL\_CLK\_EN*，并且等待至少*2*拍切换前的时钟周期或者查询*RCC\_SR1*，然后再配置*ADCCTRL*接口时钟选择。

**位 4-2 I2S\_CLK\_SEL：**I2S 接口时钟选择。

* 0：PCLK0
* 1：XO24M
* 2：PLL
* 3：XO32M
* >3：外部时钟 IOM\_I2S\_CLK

###### 注意：

1. 需要保证在*I2S\_CLK\_EN=0*时修改*I2S*接口时钟选择。如果*I2S\_CLK\_EN*已使能，则需要软件先关闭*I2S\_CLK\_EN*，并且等待至少*2*拍切换前的时钟周期或者查询*RCC\_SR1*，然后再配置*I2S*接口时钟选择。
2. *I2S*作为*slave*使用时，必须配置*>3*；*I2S*作为*master*使用时，可根据功能需要进行选择。

**位 1-0 QSPI\_CLK\_SEL：**QSPI 接口时钟选择。

* 0：HCLK
* 1：SYS\_CLK
* >1：PLL **注意：**需要保证在*QSPI\_CLK\_EN=0* 时修改*QSPI* 接口时钟选择。如果*QSPI\_CLK\_EN* 已使能，则需要软件先关闭*QSPI\_CLK\_EN*，并且等待至少*2* 拍切换前的时钟周期或者查询*RCC\_SR1*，然后再配置*QSPI* 接口时钟选择。

**8.3.4 RCC\_CGR0**

偏移量：0x00C 复位值：0x00000000

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **31** | **30** | **29** | **28** | **27** | **26** | **25** | **24** |
| PWR\_CLK  \_EN | DMAC0\_C  LK\_EN | DMAC1\_C  LK\_EN | CRC\_CLK  \_EN | BASICTIM0  \_CLK\_EN | BASICTIM1  \_CLK\_EN | IOM0\_CL  K\_EN | IOM1\_CL  K\_EN |
| r/w | r/w | r/w | r/w | r/w | r/w | r/w | r/w |
| **23** | **22** | **21** | **20** | **19** | **18** | **17** | **16** |
| IOM2\_CLK  \_EN | IOM3\_CL  K\_EN | SYSCFG\_  CLK\_EN | UART0\_C  LK\_EN | UART1\_CL  K\_EN | UART2\_CL  K\_EN | UART3\_C  LK\_EN | LPUART\_  CLK\_EN |
| r/w | r/w | r/w | r/w | r/w | r/w | r/w | r/w |
| **15** | **14** | **13** | **12** | **11** | **10** | **9** | **8** |
| SSP0\_CLK  \_EN | SSP1\_CL  K\_EN | SSP2\_CL  K\_EN | I2C0\_CLK  \_EN | I2C1\_CLK\_  EN | I2C2\_CLK\_  EN | RESERVE  D | ADCCTRL \_CLK\_EN |
| r/w | r/w | r/w | r/w | r/w | r/w | r | r/w |
| **7** | **6** | **5** | **4** | **3** | **2** | **1** | **0** |
| AFEC\_CL  K\_EN | LCDCTRL \_CLK\_EN | DACCTRL \_CLK\_EN | LORAC\_C  LK\_EN | GPTIM0\_C  LK\_EN | GPTIM1\_C  LK\_EN | GPTIM2\_ CLK\_EN | GPTIM3\_ CLK\_EN |
| r/w | r/w | r/w | r/w | r/w | r/w | r/w | r/w |

**位 31 PWR\_CLK\_EN：**PWR 时钟使能。

* 0：不使能
* 1：使能**位 30 DMAC0\_CLK\_EN：**DMAC0 时钟使能。
* 0：不使能
* 1：使能**位 29 DMAC1\_CLK\_EN：**DMAC1 时钟使能。
* 0：不使能
* 1：使能**位 28 CRC\_CLK\_EN：**CRC 时钟使能。
* 0：不使能
* 1：使能**位 27 BASICTIM0\_CLK\_EN：**BASICTIM0 时钟使能。
* 0：不使能
* 1：使能**位 26 BASICTIM1\_CLK\_EN：**BASICTIM1 时钟使能。
* 0：不使能
* 1：使能

**位 25 IOM0\_CLK\_EN：**IOM0 时钟使能。

* 0：不使能
* 1：使能**位 24 IOM1\_CLK\_EN：**IOM1 时钟使能。
* 0：不使能
* 1：使能**位 23 IOM2\_CLK\_EN：**IOM2 时钟使能。
* 0：不使能
* 1：使能**位 22 IOM3\_CLK\_EN：**IOM3 时钟使能。
* 0：不使能
* 1：使能**位 21 SYSCFG\_CLK\_EN：**SYSCFG 时钟使能。
* 0：不使能
* 1：使能**位 20 UART0\_CLK\_EN：**UART0 时钟使能。
* 0：不使能
* 1：使能**位 19 UART1\_CLK\_EN：**UART1 时钟使能。
* 0：不使能
* 1：使能**位 18 UART2\_CLK\_EN：**UART2 时钟使能。
* 0：不使能
* 1：使能**位 17 UART3\_CLK\_EN：**UART3 时钟使能。
* 0：不使能
* 1：使能**位 16 LPUART\_CLK\_EN：**LPUART 时钟使能。
* 0：不使能
* 1：使能**位 15 SSP0\_CLK\_EN：**SSP0 时钟使能。
* 0：不使能
* 1：使能**位 14 SSP1\_CLK\_EN：**SSP1 时钟使能。
* 0：不使能
* 1：使能**位 13 SSP2\_CLK\_EN：**SSP2 时钟使能。
* 0：不使能
* 1：使能

**12 I2C0\_CLK\_EN：**I2C0 时钟使能。

* 0：不使能
* 1：使能**位 11 I2C1\_CLK\_EN：**I2C1 时钟使能。
* 0：不使能
* 1：使能**位 10 I2C2\_CLK\_EN：**I2C2 时钟使能。
* 0：不使能
* 1：使能**位 9 RESERVED：**保留，不能修改。

**位 8 ADCCTRL\_CLK\_EN：**ADCCTRL 时钟使能。

* 0：不使能
* 1：使能**位 7 AFEC\_CLK\_EN：**AFEC 时钟使能。
* 0：不使能
* 1：使能**位 6 LCDCTRL\_CLK\_EN：**LCDCTRL 时钟使能。
* 0：不使能
* 1：使能**位 5 DACCTRL\_CLK\_EN：**DACCTRL 时钟使能。
* 0：不使能
* 1：使能**位 4 LORAC\_CLK\_EN：**LORAC 时钟使能。
* 0：不使能
* 1：使能**位 3 GPTIM0\_CLK\_EN：**GPTIM0 时钟使能。
* 0：不使能
* 1：使能**位 2 GPTIM1\_CLK\_EN：**GPTIM1 时钟使能。
* 0：不使能
* 1：使能**位 1 GPTIM2\_CLK\_EN：**GPTIM2 时钟使能。
* 0：不使能
* 1：使能**位 0 GPTIM3\_CLK\_EN：**GPTIM3 时钟使能。
* 0：不使能
* 1：使能

##### 8.3.5 RCC\_CGR1

偏移量：0x010 复位值：0x00000000

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **31-13** | **12** | **11** | **10** | **9** | **8** | **7** |
| RESERVED | LPTIM1\_INF  \_CLK\_EN | LPTIM1\_CLK  \_EN | RNGC\_CLK  \_EN | LPTIM0\_INF  \_CLK\_EN | I2S\_CLK\_  EN | SAC\_CLK\_  EN |
| r | r/w | r/w | r/w | r/w | r/w | r/w |
| **6** | **5** | **4** | **3** | **2** | **1** | **0** |
| WWDG\_CN  T\_CLK\_EN | QSPI\_CLK\_  EN | LPTIM0\_CLK  \_EN | IWDG\_CLK  \_EN | WWDG\_CL  K\_EN | RTC\_CLK\_  EN | SEC\_CLK\_  EN |
| r/w | r/w | r/w | r/w | r/w | r/w | r/w |

**位 31-13 RESERVED：**保留，不能修改。

**位 12 LPTIM1\_INF\_CLK\_EN：**LPTIM1 接口 PCLK0 时钟使能。

* 0：不使能
* 1：使能

**位 11 LPTIM1\_CLK\_EN：**LPTIM1 时钟使能。

* 0：不使能
* 1：使能**注意：**打开*LPTIM1* 时钟时，如果使用*PCLK0*，则要先打开*RCC\_CGR1* 中的*LPTIM1\_INF\_CLK\_EN*；关闭*LPTIM1*时钟时，如果使用*PCLK0*，要后关闭*RCC\_CGR1*中的*LPTIM1\_INF\_CLK\_EN*。

**位 10 RNGC\_CLK\_EN：**RNGC 时钟使能。

* 0：不使能
* 1：使能**位 9 LPTIM0\_INF\_CLK\_EN：**LPTIM0 接口 PCLK0 时钟使能。
* 0：不使能
* 1：使能

**位 8 I2S\_CLK\_EN：**I2S 时钟使能。

* 0：不使能
* 1：使能

**位 7 SAC\_CLK\_EN：**SAC 时钟使能。

* 0：不使能
* 1：使能

**位 6 WWDG\_CNT\_CLK\_EN：**WWDG 计数时钟使能。

* 0：不使能
* 1：使能

**位 5 QSPI\_CLK\_EN：**QSPI 时钟使能。

* 0：不使能
* 1：使能

**4 LPTIM0\_CLK\_EN：**LPTIM0 时钟使能。

* 0：不使能
* 1：使能**注意：**打开*LPTIM0* 时钟时，如果使用*PCLK0*，则要先打开*RCC\_CGR1* 中的*LPTIM0\_INF\_CLK\_EN*；关闭*LPTIM0*时钟时，如果使用*PCLK0*，要后关闭*RCC\_CGR1*中的*LPTIM0\_INF\_CLK\_EN*。

**位 3 IWDG\_CLK\_EN：**IWDG 时钟使能。

* 0：不使能
* 1：使能

**位 2 WWDG\_CLK\_EN：**WWDG 时钟使能。

* 0：不使能
* 1：使能

**位 1 RTC\_CLK\_EN：**RTC 时钟使能。

* 0：不使能
* 1：使能

**位 0 SEC\_CLK\_EN：**SEC 时钟使能。

* 0：不使能
* 1：使能

##### 8.3.6 RCC\_CGR2

偏移量：0x014 复位值：0x00000000

对应寄存器在 aon 电源域，对此寄存器进行操作前，需要读 rcc\_sr 寄存器，等待全部的 done 为 1 后，才允许对此寄存器进行写操作，等待对应的 done 为 1 后，才允许对此寄存器进行读操作。

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **31-6** | **5** | **4** | **3** | **2** | **1** | **0** |
| RESERVED | LPTIM1\_AO N\_CLK\_EN | LPTIM\_AON  \_CLK\_EN | LCDCTRL\_A ON\_CLK\_EN | LPUART\_AO  N\_CLK\_EN | RTC\_AON \_CLK\_EN | IWDG\_AON  \_CLK\_EN |
| r | r/w | r/w | r/w | r/w | r/w | r/w |

**位 31-6 RESERVED：**保留，不能修改。

**位 5 LPTIM1\_AON\_CLK\_EN：**LPTIM1 的 AON 域接口时钟使能。

* 0：不使能
* 1：使能

**位 4 LPTIM\_AON\_CLK\_EN：**LPTIM 的 AON 域接口时钟使能。

* 0：不使能
* 1：使能

**位 3 LCDCTRL\_AON\_CLK\_EN：**LCDCTRL 的 AON 域接口时钟使能。

* 0：不使能
* 1：使能**位 2 LPUART\_AON\_CLK\_EN：**LPUART 的 AON 域接口时钟使能。
* 0：不使能
* 1：使能**位 1 RTC\_AON\_CLK\_EN：**RTC 的 AON 域接口时钟使能。
* 0：不使能
* 1：使能**位 0 IWDG\_AON\_CLK\_EN：**IWDG 的 AON 域接口时钟使能。
* 0：不使能
* 1：使能

##### 8.3.7 RCC\_RST0

偏移量：0x018

复位值：0xffffffff

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **31** | **30** | **29** | **28** | **27** | **26** | **25** | **24** |
| UART0\_R  ST\_N | UART1\_R  ST\_N | UART2\_R  ST\_N | UART3\_R  ST\_N | LPUART\_  RST\_N | SSP0\_RS  T\_N | SSP1\_RS  T\_N | SSP2\_RS  T\_N |
| r/w | r/w | r/w | r/w | r/w | r/w | r/w | r/w |
| **23** | **22** | **21** | **20** | **19** | **18** | **17** | **16** |
| QSPI\_RST  \_N | I2C0\_RST  \_N | I2C1\_RST  \_N | I2C2\_RST  \_N | RESERVE  D | ADCCTRL  \_RST\_N | AFEC\_RS  T\_N | LCDCTRL  \_RST\_N |
| r/w | r/w | r/w | r/w | r | r/w | r/w | r/w |
| **15** | **14** | **13** | **12** | **11** | **10** | **9** | **8** |
| DACCTRL  \_RST\_N | LORAC\_R  ST\_N | IOM\_RST  \_N | GPTIM0\_  RST\_N | GPTIM1\_  RST\_N | GPTIM2\_  RST\_N | GPTIM3\_  RST\_N | BASICTIM 0\_RST\_N |
| r/w | r/w | r/w | r/w | r/w | r/w | r/w | r/w |
| **7** | **6** | **5** | **4** | **3** | **2** | **1** | **0** |
| BASICTIM 1\_RST\_N | LPTIM\_R  ST\_N | IWDG\_RS  T\_N | WWDG\_R  ST\_N | RTC\_RST  \_N | CRC\_RST  \_N | SEC\_RST  \_N | SAC\_RST  \_N |
| r/w | r/w | r/w | r/w | r/w | r/w | r/w | r/w |

**位 31 UART0\_RST\_N：**UART0 复位控制。

* 0：复位
* 1：不复位**位 30 UART1\_RST\_N：**UART1 复位控制。
* 0：复位
* 1：不复位**位 29 UART2\_RST\_N：**UART2 复位控制。
* 0：复位
* 1：不复位

**28 UART3\_RST\_N：**UART3 复位控制。

* 0：复位
* 1：不复位**位 27 LPUART\_RST\_N：**LPUART 复位控制。
* 0：复位
* 1：不复位**位 26 SSP0\_RST\_N：**SSP0 复位控制。
* 0：复位
* 1：不复位**位 25 SSP1\_RST\_N：**SSP1 复位控制。
* 0：复位
* 1：不复位**位 24 SSP2\_RST\_N：**SSP2 复位控制。
* 0：复位
* 1：不复位**位 23 QSPI\_RST\_N：**QSPI 复位控制。
* 0：复位
* 1：不复位**位 22 I2C0\_RST\_N：**I2C0 复位控制。
* 0：复位
* 1：不复位**位 21 I2C1\_RST\_N：**I2C1 复位控制。
* 0：复位
* 1：不复位**位 20 I2C2\_RST\_N：**I2C2 复位控制。
* 0：复位
* 1：不复位**位 19 RESERVED：**保留，不能修改。**位 18 ADCCTRL\_RST\_N：**ADCCTRL 复位控制。
* 0：复位
* 1：不复位**位 17 AFEC\_RST\_N：**AFEC 复位控制。
* 0：复位
* 1：不复位**位 16 LCDCTRL\_RST\_N：**LCDCTRL 复位控制。
* 0：复位
* 1：不复位**位 15 DACCTRL\_RST\_N：**DACCTRL 复位控制。
* 0：复位
* 1：不复位**位 14 LORAC\_RST\_N：**LORAC 复位控制。
* 0：复位
* 1：不复位**位 13 IOM\_RST\_N：**IOM 复位控制。
* 0：复位
* 1：不复位**位 12 GPTIM0\_RST\_N：**GPTIM0 复位控制。
* 0：复位
* 1：不复位**位 11 GPTIM1\_RST\_N：**GPTIM1 复位控制。
* 0：复位
* 1：不复位**位 10 GPTIM2\_RST\_N：**GPTIM2 复位控制。
* 0：复位
* 1：不复位**位 9 GPTIM3\_RST\_N：**GPTIM3 复位控制。
* 0：复位
* 1：不复位**位 8 BASICTIM0\_RST\_N：**BASICTIM0 复位控制。
* 0：复位
* 1：不复位**位 7 BASICTIM1\_RST\_N：**BASICTIM1 复位控制。
* 0：复位
* 1：不复位**位 6 LPTIM\_RST\_N：**LPTIM 复位控制。
* 0：复位
* 1：不复位**位 5 IWDG\_RST\_N：**IWDG 复位控制。
* 0：复位
* 1：不复位**位 4 WWDG\_RST\_N：**WWDG 复位控制。
* 0：复位
* 1：不复位**位 3 RTC\_RST\_N：**RTC 复位控制。
* 0：复位
* 1：不复位**位 2 CRC\_RST\_N：**CRC 复位控制。
* 0：复位
* 1：不复位**位 1 SEC\_RST\_N：**SEC 复位控制。
* 0：复位
* 1：不复位**位 0 SAC\_RST\_N：**SAC 复位控制。
* 0：复位  1：不复位

##### 8.3.8 RCC\_RST1

偏移量：0x01C 复位值：0x0000001f

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **31-5** | **4** | **3** | **2** | **1** | **0** |
| RESERVED | LPTIM1\_RST\_N | RNGC\_RST\_N | I2S\_RST\_N | DMAC0\_RST\_N | DMAC1\_RST\_N |
| r | r/w | r/w | r/w | r/w | r/w |

**位 31-5 RESERVED：**保留，不能修改。**位 4 LPTIM1\_RST\_N：**LPTIM1 复位控制。

* 0：复位
* 1：不复位**位 3 RNGC\_RST\_N：**RNGC 复位控制。
* 0：复位
* 1：不复位**位 2 I2S\_RST\_N：**I2S 复位控制。
* 0：复位
* 1：不复位**位 1 DMAC0\_RST\_N：**DMAC0 复位控制。
* 0：复位
* 1：不复位**位 0 DMAC1\_RST\_N：**DMAC1 复位控制。
* 0：复位
* 1：不复位

##### 8.3.9 RCC\_RST\_SR

偏移量：0x020 复位值：0x00000040 **注意：***BOR\_RESET\_SR* 与*STANDBY\_RESET\_SR* 的寄存器在*AON*域。

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **31-7** | **6** | **5** | **4** | **3** | **2** | **1** | **0** |
| RESERVED | BOR\_RE SET\_SR | IWDG\_RE  SET\_SR | WWDG\_RE  SET\_SR | EFC\_RE SET\_SR | CPU\_RE SET\_SR | SEC\_RE SET\_SR | STANDBY\_ RESET\_SR |
| r | r/w | r/w | r/w | r/w | r/w | r/w | r/w |

**位 31-7 RESERVED：**保留，不能修改。

**位 6 BOR\_RESET\_SR：**BOR 系统复位标志。硬件置 1，软件写 1 清 0。

* 0：无 BOR 系统复位发生
* 1：有 BOR 系统复位发生**位 5 IWDG\_RESET\_SR：**IWDG 系统复位标志。硬件置 1，软件写 1 清 0。
* 0：无 IWDG 系统复位发生
* 1：有 IWDG 系统复位发生**位 4 WWDG\_RESET\_SR：**WWDG 系统复位标志。硬件置 1，软件写 1 清 0。
* 0：无 WWDG 系统复位发生
* 1：有 WWDG 系统复位发生**位 3 EFC\_RESET\_SR：**EFC 系统复位标志。硬件置 1，软件写 1 清 0。
* 0：无 EFC 系统复位发生
* 1：有 EFC 系统复位发生**位 2 CPU\_RESET\_SR：**CPU 系统复位标志。硬件置 1，软件写 1 清 0。
* 0：无 CPU 系统复位发生
* 1：有 CPU 系统复位发生**位 1 SEC\_RESET\_SR：**SEC 系统复位标志。硬件置 1，软件写 1 清 0。
* 0：无 SEC 系统复位发生
* 1：有 SEC 系统复位发生**位 0 STANDBY\_RESET\_SR：**Standby 系统复位标志。硬件置 1，软件写 1 清 0。
* 0：无 MPU 系统复位发生
* 1：有 MPU 系统复位发生

##### 8.3.10 RCC\_RST\_CR

偏移量：0x024 复位值：0x00000004

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **31-6** | **5** | **4** | **3** | **2** | **1** | **0** |
| RESERVED | IWDG\_RESE  T\_REQ\_EN | WWDG\_RES ET\_REQ\_EN | EFC\_RESE  T\_REQ\_EN | CPU\_RESE T\_REQ\_EN | SEC\_RESE T\_REQ\_EN | RESERVED |
| r | r/w | r/w | r/w | r/w | r/w | r |

**位 31-6 RESERVED：**保留，不能修改。

**位 5 IWDG\_RESET\_REQ\_EN：**IWDG 系统复位使能。

* 0：不使能
* 1：使能**位 4 WWDG\_RESET\_REQ\_EN：**WWDG 系统复位使能。
* 0：不使能
* 1：使能**位 3 EFC\_RESET\_REQ\_EN：**EFC 系统复位使能。
* 0：不使能
* 1：使能**位 2 CPU\_RESET\_REQ\_EN：**CPU 系统复位使能。
* 0：不使能
* 1：使能**位 1 SEC\_RESET\_REQ\_EN：**SEC 系统复位使能。
* 0：不使能
* 1：使能

**位 0 RESERVED：**保留，不能修改。

##### 8.3.11 RCC\_SR

偏移量：0x028 复位值：0x0000003f

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **31-6** | | **5** | **4** |
| RESERVED | | SET\_LPTIM1\_AON\_CL  K\_EN\_DONE | SET\_LPTIM\_AON\_CLK  \_EN\_DONE |
| r | | r | r |
| **3** | **2** | **1** | **0** |
| SET\_LCDCTRL\_AON\_  CLK\_EN\_DONE | SET\_LPUART\_AON\_C  LK\_EN\_DONE | SET\_RTC\_AON\_CLK\_  EN\_DONE | SET\_IWDG\_AON\_CLK  \_EN\_DONE |
| r | r | r | r |

**位 31-6 RESERVED：**保留，不能修改。

**位 5 SET\_LPTIM1\_AON\_CLK\_EN\_DONE：**LPTIM1\_AON\_CLK\_EN 配置完成状态。硬件控制置 1 与清 0。

* 0：配置正在进行中
* 1：配置已完成**位4 SET\_LPTIM\_AON\_CLK\_EN\_DONE：**LPTIM\_AON\_CLK\_EN 配置完成状态。硬件控制置 1 与清 0。
* 0：配置正在进行中
* 1：配置已完成**位 3 SET\_LCDCTRL\_AON\_CLK\_EN\_DONE：**LCDCTRL\_AON\_CLK\_EN 配置完成状态。硬件控制置 1 与清 0。
* 0：配置正在进行中
* 1：配置已完成**位 2 SET\_LPUART\_AON\_CLK\_EN\_DONE：**LPUART\_AON\_CLK\_EN 配置完成状态。硬件控制置 1 与清 0。
* 0：配置正在进行中
* 1：配置已完成**位 1 SET\_RTC\_AON\_CLK\_EN\_DONE：**RTC\_AON\_CLK\_EN 配置完成状态。硬件控制置 1 与清

0。

* 0：配置正在进行中
* 1：配置已完成**位 0 SET\_IWDG\_AON\_CLK\_EN\_DONE：**IWDG\_AON\_CLK\_EN 配置完成状态。硬件控制置 1 与清 0。
* 0：配置正在进行中
* 1：配置已完成

##### 8.3.12 RCC\_SR1

偏移量：0x02C 复位值：0x00000000

为避免时钟来源切换或分频变化时出现毛刺，在切换配置前先关闭时钟使能，可通过此寄存器确定使能是否关闭。

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **31-21** | **20** | | **19** |  | **18** | **17** | | **16** |
| RESERVED | LPTIM1\_CLK  \_EN\_SYNC | | LPTIM1\_AON\_C  LK\_EN\_SYNC |  | UART0\_CLK\_  EN\_SYNC | UART1\_CLK \_EN\_SYNC | | UART2\_CLK\_E  N\_SYNC |
| r | r | | r |  | r | r | | r |
| **15** | **14** | | **13** |  | **12** | **11** | | **10** |
| UART3\_CLK\_  EN\_SYNC | RESERVED | | ADCCTRL\_CLK  \_EN\_SYNC |  | LPTIM\_CLK\_  EN\_SYNC | QSPI\_CLK\_E  N\_SYNC | | LPUART\_CLK\_  EN\_SYNC |
| r | r | | r |  | r | r | | r |
| **9** | **8** | | **7** |  | **6** | **5** | | **4** |
| LCDCTRL\_CL K\_EN\_SYNC | IWDG\_CLK\_  EN\_SYNC | | RTC\_CLK\_EN\_S  YNC |  | MCO\_CLK\_E  N\_SYNC | I2S\_CLK\_EN  \_SYNC | | LPTIM\_AON\_C LK\_EN\_SYNC |
| r | r | | r |  | r | r | | r |
| **3** | | **2** | | **1** | | | **0** | |
| LCDCTRL\_AON\_CLK\_  EN\_SYNC | | LPUART\_AON\_CLK\_E  N\_SYNC | | RTC\_AON\_CLK\_EN\_S  YNC | | | IWDG\_AON\_CLK\_EN\_  SYNC | |
| r | | r | | r | | | r | |

**位 31-21 RESERVED：**保留，不能修改。

**位 20 LPTIM1\_CLK\_EN\_SYNC：**LPTIM1\_CLK\_EN 状态。

* 0：门控关闭
* 1：门控打开

**位 19 LPTIM1\_AON\_CLK\_EN\_SYNC：**LPTIM1\_AON\_CLK\_EN 状态。

* 0：门控关闭
* 1：门控打开

**位 18 UART0\_CLK\_EN\_SYNC：**UART0\_CLK\_EN 状态。

* 0：门控关闭
* 1：门控打开**位 17 UART1\_CLK\_EN\_SYNC：**UART1\_CLK\_EN 状态。
* 0：门控关闭
* 1：门控打开**位 16 UART2\_CLK\_EN\_SYNC：**UART2\_CLK\_EN 状态。
* 0：门控关闭
* 1：门控打开

**位 15 UART3\_CLK\_EN\_SYNC：**UART3\_CLK\_EN 状态。

* 0：门控关闭
* 1：门控打开**位 14 RESERVED：**保留，不能修改。

**位 13 ADCCTRL\_CLK\_EN\_SYNC：**ADCCTRL\_CLK\_EN 状态。

* 0：门控关闭
* 1：门控打开

**位 12 LPTIM\_CLK\_EN\_SYNC：**LPTIM\_CLK\_EN 状态。

* 0：门控关闭
* 1：门控打开

**位 11 QSPI\_CLK\_EN\_SYNC：**QSPI\_CLK\_EN 状态。

* 0：门控关闭
* 1：门控打开

**位 10 LPUART\_CLK\_EN\_SYNC：**LPUART\_CLK\_EN 状态。

* 0：门控关闭
* 1：门控打开

**位 9 LCDCTRL\_CLK\_EN\_SYNC：**LCDCTRL\_CLK\_EN 状态。

* 0：门控关闭
* 1：门控打开**位 8 IWDG\_CLK\_EN\_SYNC：**IWDG\_CLK\_EN 状态。
* 0：门控关闭
* 1：门控打开**位 7 RTC\_CLK\_EN\_SYNC：**RTC\_CLK\_EN 状态。
* 0：门控关闭
* 1：门控打开**位 6 MCO\_CLK\_EN\_SYNC：**MCO\_CLK\_EN 状态。
* 0：门控关闭
* 1：门控打开

**位 5 I2S\_CLK\_EN\_SYNC：**I2S\_CLK\_EN 状态。

* 0：门控关闭
* 1：门控打开

**位 4 LPTIM\_AON\_CLK\_EN\_SYNC：**LPTIM\_AON\_CLK\_EN 状态。

* 0：门控关闭
* 1：门控打开

**位 3 LCDCTRL\_AON\_CLK\_EN\_SYNC：**LCDCTRL\_AON\_CLK\_EN 状态。

* 0：门控关闭
* 1：门控打开

**位 2 LPUART\_AON\_CLK\_EN\_SYNC：**LPUART\_AON\_CLK\_EN 状态。

* 0：门控关闭
* 1：门控打开

**位 1 RTC\_AON\_CLK\_EN\_SYNC：**RTC\_AON\_CLK\_EN 状态。

* 0：门控关闭
* 1：门控打开

**位 0 IWDG\_AON\_CLK\_EN\_SYNC：**IWDG\_AON\_CLK\_EN 状态。

* 0：门控关闭
* 1：门控打开

##### 8.3.13 RCC\_CR3

偏移量：0x030 复位值：0x00000000

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **31-16** | **15-8** | **7-0** |
| RESERVED | I2S\_MCLK\_DIV | I2S\_SCLK\_DIV |
| r | r/w | r/w |

**位 31-16 RESERVED：**保留，不能修改。

**位 15-8 I2S\_MCLK\_DIV：**I2S 接口时钟 MCLK 分频控制。

* 0：不分频
* 1：不分频
* 2：2 分频
* 3：3 分频
* N：N 分频**注意：**

1. 需要保证在*I2S\_CLK\_EN=0*时修改*I2S*接口时钟分频。如果*I2S\_CLK\_EN*已使能，则需要软件先关闭*I2S\_CLK\_EN*，并且等待至少*2*拍切换前的时钟周期或者查询*RCC\_SR1*，然后再配置*I2S*接口时钟分频。
2. *I2S*作为*slave*使用时，必须配置为*0*或*1*；*I2S*作为*master*使用时，可根据功能需要进行选择。
3. 输出时钟的占空比为*50%*。

**位 7-0 I2S\_SCLK\_DIV：**I2S 接口时钟 SCLK 分频控制。

* 0：不分频
* 1：不分频
* 2：2 分频
* 3：3 分频
* N：N 分频**注意：**

1. 需要保证在*I2S\_CLK\_EN=0*时修改*I2S*接口时钟分频。如果*I2S\_CLK\_EN*已使能，则需要软件先关闭*I2S\_CLK\_EN*，并且等待至少*2*拍切换前的时钟周期或者查询*RCC\_SR1*，然后再配置*I2S*接口时钟分频。
2. *I2S*作为*slave*使用时，必须配置为*0*或*1*；*I2S*作为*master*使用时，可根据功能需要进行选择。
3. 输出时钟的占空比为*50%*。

9 中断 (Interrupt)

## 9. 中断 (Interrupt)

### 9.1 主要功能

* 共支持 37 个 IRQ 中断。
* 每个 IRQ 中断支持 8 个中断优先级配置。

#### 9.2 SysTick 功能

SysTick calibration 值为 0x147，使用 32.768KHz 时钟用于 SysTick 计数时可产生精确的 10ms 间隔。

### 9.3 中断向量表

中断向量表如下所示：

#### 表 9-1 中断向量表

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Position | Priority | Type of priority | Acronym | Description | Address |
|  | - | - | - | Reserved | 0x0000\_0000 |
|  | -3 | fixed | Reset | Reset | 0x0000\_0004 |
|  | -2 | fixed | NMI\_Handler | Secure area check error | 0x0000\_0008 |
|  | -1 | fixed | HardFault\_Handler | fault | 0x0000\_000C |
|  | 0 | settable | MemManage Handler | fault | 0x0000\_0010 |
|  | 1 | settable | BusFault Handler | fault | 0x0000\_0014 |
|  | 2 | settable | UsageFault Handler | fault | 0x0000\_0018 |
|  | - | - | - | Reserved | 0x0000\_001C -  0x0000\_002B |
|  | 3 | settable | SVC\_Handler | System service call via SWI instruction | 0x0000\_002C |
|  | - | - | - | Reserved | 0x0000\_0030 -  0x0000\_0037 |
|  | 5 | settable | PendSV\_Handler | Pendable request for system service | 0x0000\_0038 |
|  | 6 | settable | SysTick\_Handler | System tick timer | 0x0000\_003C |
| 0 | 7 | settable | sec | Include mpu | 0x0000\_0040 |
| 1 | 8 | settable | rtc | Include tamper io, cyc, wakeup io | 0x0000\_0044 |

9 中断 (Interrupt)

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Position | Priority | Type of priority | Acronym | Description | Address |
| 2 | 9 | settable | wwdg |  | 0x0000\_0048 |
| 3 | 10 | settable | efc |  | 0x0000\_004C |
| 4 | 11 | settable | uart3 |  | 0x0000\_0050 |
| 5 | 12 | settable | i2c2 |  | 0x0000\_0054 |
| 6 | 13 | settable | uart0 |  | 0x0000\_0058 |
| 7 | 14 | settable | uart1 |  | 0x0000\_005C |
| 8 | 15 | settable | uart2 |  | 0x0000\_0060 |
| 9 | 16 | settable | lpuart |  | 0x0000\_0064 |
| 10 | 17 | settable | ssp0 |  | 0x0000\_0068 |
| 11 | 18 | settable | ssp1 |  | 0x0000\_006C |
| 12 | 19 | settable | qspi |  | 0x0000\_0070 |
| 13 | 20 | settable | i2c0 |  | 0x0000\_0074 |
| 14 | 21 | settable | i2c1 |  | 0x0000\_0078 |
| 15 | 22 | settable | - |  | 0x0000\_007C |
| 16 | 23 | settable | adcctrl |  | 0x0000\_0080 |
| 17 | 24 | settable | afec |  | 0x0000\_0084 |
| 18 | 25 | settable | ssp2 |  | 0x0000\_0088 |
| 19 | 26 | settable | dmac1 |  | 0x0000\_008C |
| 20 | 27 | settable | dacctrl |  | 0x0000\_0090 |
| 21 | 28 | settable | lorac |  | 0x0000\_0094 |
| 22 | 29 | settable | iom |  | 0x0000\_0098 |
| 23 | 30 | settable | gptim0 |  | 0x0000\_009C |
| 24 | 31 | settable | gptim1 |  | 0x0000\_00A0 |
| 25 | 32 | settable | gptim2 |  | 0x0000\_00A4 |
| 26 | 33 | settable | gptim3 |  | 0x0000\_00A8 |
| 27 | 34 | settable | basictim0 |  | 0x0000\_00AC |
| 28 | 35 | settable | basictim1 |  | 0x0000\_00B0 |
| 29 | 36 | settable | lptim0 |  | 0x0000\_00B4 |
| 30 | 37 | settable | sac |  | 0x0000\_00B8 |
| 31 | 38 | settable | dmac0 |  | 0x0000\_00BC |
| 32 | 39 | settable | i2s |  | 0x0000\_00C0 |
| 33 | 40 | settable | lcdctrl |  | 0x0000\_00C4 |
| 34 | 41 | settable | pwr |  | 0x0000\_00C8 |
| 35 | 42 | settable | lptim1 |  | 0x0000\_00CC |
| 36 | 43 | settable | iwdg |  | 0x0000\_00D0 |

## 10. 嵌入式 Flash

### 10.1 简介

* Flash 组成：整个 Flash 分为 Flash info 区和 Flash main 区
* Flash 容量：
  + Flash info 区：共 16 KB
  + Flash main 区：ASR6601SE 为 256 KB，ASR6601CB 为 128 KB
* Page erase (4KB), Mass erase (all flash main)

### 10.2 主要特性

* Flash 基本操作，包括 read, program, page erase, mass erase
* Flash 读拍数
* Flash 读加速
* Flash 指令预取，1 个深度的预取 buffer
* Flash program 操作支持 single 和连续方式
* Flash info 区的 option bytes 操作
* 支持产生中断信号

### 10.3 功能描述

#### 10.3.1 Flash info 区划分

Flash info 区主要包含 Option Bytes，Factory Bytes，OTP 和 BootLoader 四个部分，具体划分见如下表格。

**表 10-1 Flash info 区划分**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 起始地址 | 功能描述 | 地址范围 |
| 0x10003000 | Option Bytes | 4KB |
| 0x10002000 | Factory Bytes | 4KB |
| 0x10001C00 | OTP | 1KB |
| 0x10000000 | BootLoader | 7KB |

#### 10.3.2 EFC\_CR 保护

默认情况下，EFC\_CR不能被修改，软件在操作EFC\_CR前需要按照以下顺序配置保护序列，才能够正确操作 EFC\_CR 寄存器，中间插入了错误序列，则操作无效，需要重新配置；

1. 先写 0x8C9DAEBF 到 EFC\_PROTECT\_SEQ 寄存器
2. 再写 0x13141516 到 EFC\_PROTECT\_SEQ 寄存器

#### 10.3.3 读拍数

为提高 Flash 读性能，Flash 读拍数需根据 SYS\_CLK 的频率做相应的配置，可以通过配置 EFC\_TIMING\_CFG 的 READ\_NUM 来配置 Flash 读拍数，Flash 读拍数为（READ\_NUM+1）个 SYS\_CLK 时钟周期。不同的 SYS\_CLK 频率下，READ\_NUM 的配置如下：

* SYS\_CLK 频率为 48MHz 时，READ\_NUM 要大于等于 2。
* SYS\_CLK 频率为 32MHz 时，READ\_NUM 要大于等于 1。
* SYS\_CLK 频率为 24MHz 时，READ\_NUM 要大于等于 1。
* SYS\_CLK 频率为 3.6MHz 时，READ\_NUM 要大于等于 0。
* SYS\_CLK 频率为 32KHz 时，READ\_NUM 要大于等于 0。

##### 将 SYS\_CLK 切换到快时钟源时的操作：

1. 修改 EFC\_TIMING\_CFG 寄存器的 READ\_NUM 值，以匹配切换后的 SYS\_CLK；
2. 等待 EFC\_SR 寄存器中的 READ\_NUM\_DONE 状态位置位；
3. 修改 RCC\_CR0 寄存器中的 SYS\_CLK\_SEL 值，切换到新的时钟源。**将 SYS\_CLK 切换到慢时钟源时的操作：**

(1) 修改 RCC\_CR0 寄存器中的 SYS\_CLK\_SEL 值，切换到新的时钟源； (2) 修改 EFC\_TIMING\_CFG 寄存器的 READ\_NUM 值，以匹配切换后的 SYS\_CLK；

(3) 等待 EFC\_SR 寄存器中的 READ\_NUM\_DONE 状态位置位。

**注意：**当修改*SYS\_CLK* 时钟源选择时，若切为快时钟源，则先配置*READ\_NUM* 变大，再配置时钟源选择；反之若切为慢时钟源时，先配置时钟源选择，再配置*READ\_NUM*变小。

#### 10.3.4 读加速

默认不开启，若当前 READ\_NUM < (2^HCLK\_DIV)时可以配置开启读加速功能，以达到最大的总线访问效率；配置读加速使能，需要在 READ\_NUM 和 HCLK\_DIV 配置完成后进行。

**注意：**读加速功能与指令预取功能不能同时开启。

#### 10.3.5 指令预取

默认不开启，若 READ\_NUM ≥ (2^HCLK\_DIV)时，读加速功能不能开启，可以选择开启指令预取功能以提高读取效率。**注意：**读加速功能与指令预取功能不能同时开启。

#### 10.3.6 Flash Program

Flash 的 program 操作主要分为 single program 和连续 program 方式。

 **Single program**

Single program 每次烧写 2 个 word（8byte）。

#####  连续 program

连续 program 每次烧写一整条 word line（512byte），连续 program 时无法从 flash 读取和执行程序，所以连续 program 代码必须执行在 RAM 中。

##### Single program 的操作如下：

1. 将 EFC\_CR 寄存器的 PROG\_EN 位置 1；
2. 将要写入数据的低 4 个字节写入 EFC\_PROG\_DATA0 寄存器；
3. 将要写入数据的高 4 个字节写入 EFC\_PROG\_DATA1 寄存器；
4. 向将要写入的 Flash 地址写入任意值；
5. 等待 EFC\_SR 寄存器的 OPERATION\_DONE 位置 1；
6. 向 EFC\_SR 寄存器的 OPERATION\_DONE 位写 1，清除该标志位。

##### 连续 program 的操作如下：

1. 将 EFC\_CR 寄存器的 PROG\_EN，WRITE\_RELEASE\_EN 和 PROG\_MODE 位置 1；
2. 等待 EFC\_SR 寄存器的 PROG\_DATA\_WAIT 位置 1；
3. 将要写入数据的低 4 个字节写入 EFC\_PROG\_DATA0 寄存器；
4. 将要写入数据的高 4 个字节写入 EFC\_PROG\_DATA1 寄存器；
5. 向将要写入的 Flash 地址写入任意值；
6. 等待 EFC\_SR 寄存器的 PROG\_DATA\_WAIT 位置 1；
7. 继续将数据写入 EFC\_PROG\_DATA0 和 EFC\_PROG\_DATA1 寄存器；
8. 循环执行 6）和 7），直到 512 字节写完
9. 等待 EFC\_SR 寄存器的 OPERATION\_DONE 位置 1；
10. 向 EFC\_SR 寄存器的 OPERATION\_DONE 位写 1，清除该标志位。

#### 10.3.7 Flash Erase

Flash 的 erase 操作主要分为 page erase 和 mass erase 两种。

* **Page erase**

Page erase 的单位为 4KB。

* **Mass erase**

Mass erase 后，整个 Flash main 区域被擦除为 0xFF。

##### Page erase 的操作如下：

1. 将 EFC\_CR 寄存器的 PAGE\_ERASE\_EN 位置 1；
2. 向将要擦除的 Flash 地址写入任意值；
3. 等待 EFC\_SR 寄存器的 OPERATION\_DONE 位置 1；
4. 向 EFC\_SR 寄存器的 OPERATION\_DONE 位写 1，清除该标志位。

##### Mass erase 的操作如下：

1. 将 EFC\_CR 寄存器的 MASS\_ERASE\_EN 位置 1；
2. 向 0x08000000 地址写入任意值；
3. 等待 EFC\_SR 寄存器的 OPERATION\_DONE 位置 1；
4. 向 EFC\_SR 寄存器的 OPERATION\_DONE 位写 1，清除该标志位。

#### 10.4 Flash Option Bytes

Flash option bytes 主要分为 option0 和 option1 两部分。

##### 10.4.1 Flash Option0

Option0 共 64 位，其格式如下：

**表 10-2 Flash Option0**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **63-50** | **49-44** | **43-38** | **37-32** | **31-26** | **25** | **24-19** |
| RESERVED | WR\_PROT ECT\_END | WR\_PROTE  CT\_START | EXE\_ONLY2  \_END | EXE\_ONLY2  \_START | EXE\_ONLY  \_KEEEP | EXE\_ONLY1  \_END |
| **18-13** | **12-5** | **4** | **3** | **2** | **1** | **0** |
| EXE\_ONLY  1\_START | DEBUG\_L  EVEL | RESERVED | SYS\_SRAM  \_RESET | FLASH\_BOO  T1 | USE\_FLAS H\_BOOT0 | FLASH\_BOO  T0 |

**位 63-50 Reserved：**保留，不能修改。**位 49-44 WR\_PROTECT\_END：**写保护区域的结束 Page 地址。当 *WR\_PROTECT\_START > WR\_PROTECT\_END* 时，写保护区域不使能；默认不使能。

**位 43-38 WR\_PROTECT\_START：**写保护区域的开始 Page 地址。当 *WR\_PROTECT\_START > WR\_PROTECT\_END* 时，写保护区域不使能；默认不使能。

**位 37-32 EXE\_ONLY2\_END：**ExeOnly 区域 2 的结束 Page 地址。当 *EXE\_ONLY2\_START > EXE\_ONLY2\_END* 时，ExeOnly 区域 2 不使能；默认不使能，修改时只能使能或扩大区域，不能减少或关闭。

**位 31-26 EXE\_ONLY2\_START：**ExeOnly 区域 2 的开始 Page 地址。

当 *EXE\_ONLY2\_START > EXE\_ONLY2\_END* 时，ExeOnly 区域 2 不使能；默认不使能，修改时只能使能或扩大区域，不能减少或关闭。

**位 25 EXE\_ONLY\_KEEP：**ExeOnly 区域在 DebugLevel 由 1 变为 0 时，是否保留：

* 0：不保留 ExeOnly 区域
* 1：保留 ExeOnly 区域支持修改，但只能写 0；DebugLevel 从 1 变为 0 时，EXE\_ONLY\_KEEP 自动变 1。

**位 24-19 EXE\_ONLY1\_END：**ExeOnly 区域 1 的结束 Page 地址。当 *EXE\_ONLY1\_START > EXE\_ONLY1\_END* 时，ExeOnly 区域 1 不使能；默认不使能，修改时只能使能或扩大区域，不能减少或关闭。

**位 18-13 EXE\_ONLY1\_START：**ExeOnly 区域 1 的开始 Page 地址。当 *EXE\_ONLY1\_START > EXE\_ONLY1\_END* 时，ExeOnly 区域 1 不使能；默认不使能，修改时只能使能或扩大区域，不能减少或关闭。

**位 12-5 DEBUG\_LEVEL：**debug\_level 配置。

* AA：Level0
* CC：Level2
* 其它值：Level1

**位 4 Reserved：**保留，不能修改。

###### 位 3 SYS\_SRAM\_RESET：System 复位后 Startup 过程中是否清除系统 SRAM：

* 1：清除系统 SRAM
* 0：不清除系统 SRAM **位 2 FLASH\_BOOT1：**用于启动模式判断。**位 1 USE\_FLASH\_BOOT0：**用于启动模式判断。**位 0 FLASH\_BOOT0：**用于启动模式判断。

启动模式判断如下：

**表 10-3 SoC 启动方式配置表**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| DEBUG\_  LEVEL | USE\_FLASH\_  BOOT0 | FLASH\_  BOOT0 | BOOT0  PIN | FLASH\_  BOOT1 | MAIN\_FLASH\_  EMPTY | Boot Config |
| 2 | X | X | X | X | X | Boot from Flash Main |
| <2 | 0 | X | 0 | X | 0 | Boot from Flash Main |
| <2 | 0 | X | 0 | X | 1 | Boot from Flash Bootloader |
| <2 | 0 | X | 1 | 1 | X | Boot from Flash Bootloader |
| <2 | 0 | X | 1 | 0 | X | Boot from System SRAM |
| <2 | 1 | 1 | X | X | 0 | Boot from Flash Main |
| <2 | 1 | 1 | X | X | 1 | Boot from Flash Bootloader |
| <2 | 1 | 0 | X | 1 | X | Boot from Flash Bootloader |
| <2 | 1 | 0 | X | 0 | X | Boot from System SRAM |

##### 10.4.2 Flash Option1

Option1 共 64 位，其格式如下：

**表 10-4 Flash Option1**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **63-56** | **55** | **54-49** | **48** | **47-42** | **41-37** |
| RESERVED | SYSRAM\_HID  E\_EN | SYSRAM\_HID  E\_START | FLASH\_HIDE\_  EN | FLASH\_HIDE  \_START | RETRAM\_SEC  URE\_END |
| **36-32** | **31-24** | **23-18** | **17-12** | **11-6** | **5-0** |
| RETRAM\_SEC  URE\_START | RESERVED | SYSRAM\_SEC  URE\_END | SYSRAM\_SEC  URE\_START | FLASH\_SEC  URE\_END | FLASH\_SECU  RE\_START |

**位 63-56 Reserved：**保留，不能修改。

**位 55 SYSRAM\_HIDE\_EN：**SysRamHide 区域使能控制。

* 0：SysRamHide 区域使能
* 1：SysRamHide 区域不使能仅当 FlashSecure 区域使能时才有效。

**位 54-49 SYSRAM\_HIDE\_START：**SysRamHide 区域的开始 Page 地址。

必须在 SysRamSecure 区域内才使能，区域范围由 SysRamHideStart 开始一直到 SysRamSecureEnd；仅当 FlashSecure 区域使能时才有效。

**位 48 FLASH\_HIDE\_EN：**FlashHide 区域使能控制。

* 0：FlashHide 区域使能
* 1：FlashHide 区域不使能仅当 FlashSecure 区域使能时才有效。

**位 47-42 FLASH\_HIDE\_START：**FlashHide 区域的开始 Page 地址。

必须在 FlashSecure 区域内才使能，区域范围由 FlashHideStart 开始一直到 FlashSecureEnd；仅当 FlashSecure 区域使能时才有效。

**位 41-37 RETRAM\_SECURE\_END：**RetRam Secure 区域的结束地址。

当 *RETRAM\_SECURE\_START > RETRAM\_SECURE\_END* 时，则该区域安全不使能； 仅当 FlashSecure 区域使能时才有效。

**位 36-32 RETRAM\_SECURE\_START：**RetRam Secure 区域的开始地址。

当 *RETRAM\_SECURE\_START > RETRAM\_SECURE\_END* 时，则该区域安全不使能； 仅当 FlashSecure 区域使能时才有效。**位 31-24 Reserved：**保留，不能修改。

**位 23-18 SYSRAM\_SECURE\_END：**SysRam Secure 区域的结束地址。

当 *SYSRAM\_SECURE\_START > SYSRAM\_SECURE\_END* 时，则该区域安全不使能； 仅当 FlashSecure 区域使能时才有效。

**位 17-12 SYSRAM\_SECURE\_START：**SysRam Secure 区域的开始地址。

当 *SYSRAM\_SECURE\_START > SYSRAM\_SECURE\_END* 时，则该区域安全不使能； 仅当 FlashSecure 区域使能时才有效。

**位 11-6 FLASH\_SECURE\_END：**Flash Secure 区域的结束地址。

当 *FLASH \_SECURE\_START > FLASH \_SECURE\_END* 时，则该区域安全不使能；

FlashSecure 区域使能也是安全区域总使能开关，当 FlashSecure 去使能时会触发擦除操作。

**位 5-0 FLASH \_SECURE\_START：**Flash Secure 区域的开始地址。

当 *FLASH\_SECURE\_START > FLASH \_SECURE\_END* 时，则该区域安全不使能；

FlashSecure 区域使能也是安全区域总使能开关，当 FlashSecure 去使能时会触发擦除操作。

### 10.5 嵌入式 Flash 相关寄存器描述

寄存器基地址：0x40020000

**表 10-5 嵌入式 Flash 寄存器列表**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 寄存器 | 偏移量 | 描述 |
| EFC\_CR | 0x00 | 控制寄存器 |
| EFC\_INT\_EN | 0x04 | 中断使能寄存器 |
| EFC\_SR | 0x08 | 状态寄存器 |
| EFC\_PROG\_DATA0 | 0x0C | Program 编程数据 0 |
| EFC\_PROG\_DATA1 | 0x10 | Program 编程数据 1 |
| EFC\_TIMING\_CFG | 0x14 | 时钟配置寄存器 |
| EFC\_PROTECT\_SEQ | 0x18 | 保护序列 |
| RESERVED | 0x1C-0x28 | 保留 |
| SERIAL\_NUM\_LOW | 0x2C | 芯片序列号低 32 位 |
| SERIAL\_NUM\_HIGH | 0x30 | 芯片序列号高 32 位 |
| RESERVED | 0x34-0x38 | 保留 |
| OPTION\_CSR\_BYTES | 0x3C | OPTION 控制及状态数据 |
| OPTION\_EXE\_ONLY\_BYTES | 0x40 | OPTION 只执行数据 |
| OPTION\_WR\_PROTECT\_BYTES | 0x44 | OPTION 写保护数据 |
| OPTION\_SECURE\_BYTES0 | 0x48 | OPTION 安全数据 0 |
| OPTION\_SECURE\_BYTES1 | 0x4C | OPTION 安全数据 1 |

#### 10.5.1 EFC\_CR

偏移量：0x00 复位值：0x00000000

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **31** | **30-10** | **9** | **8** | **7** | **6** |
| INFO\_BYTE\_LO  AD | RESERVED | ECC\_DIS | OPTION\_OPR  \_EN | RESERVED | WRITE\_RELEA  SE\_EN |
| w | r | r/w | r/w | r | r/w |
| **5** | **4** | **3** | **2** | **1** | **0** |
| PREFETCH\_EN | READ\_ACC\_EN | PROG\_MODE | PROG\_EN | PAGE\_ERA  SE\_EN | MASS\_ERASE  \_EN |
| r/w | r/w | r/w | r/w | r/w | r/w |

**位 31 INFO\_BYTE\_LOAD：**Info byte load 复位请求。

* 写 0：无效
* 写 1：将引起系统复位，重新加载 Flash info 区中的信息，如 option 信息等，该位由硬件自动清零**位 30-10 Reserved：**保留，不能修改。**位 9 ECC\_DIS：**ECC 编码除能控制。

**位 8 OPTION\_OPR\_EN：**Option 操作使能。

* 0：Option 操作不使能
* 1：Option 操作使能**注意：**

1. *OPTION\_OPR\_EN, PROG\_EN*和*PAGE\_ERASE\_EN*任意两个不能同时配置使能。
2. 每执行完一次*option*操作后，需要执行一次复位操作，配置才能真正生效。

**位 7 Reserved：**保留，不能修改。

**位 6 WRITE\_RELEASE\_EN：**Flash 执行编程、擦除（包括 Mass）、Option 操作时，AHB 总线 hold/release 模式选择。

* 0：hold 模式
* 1：release 模式

**注意：**一旦配置为*release* 模式，则编程*/*擦除过程中不能读*Flash* 区域，也不能在*Flash* 中执行程序，否则操作会被拦截，返回数据未知，并且会起*FLASHBUSY\_ERR* 错误标志；但可以访问*SR* 寄存器，等待操作完成。

**位 5 PREFETCH\_EN：**Flash 指令预取功能使能。

* 0：不使能预取
* 1：使能预取**注意：**预取使能和读加速使能控制不能同时开启。**位 4 READ\_ACC\_EN：**Flash 读操作加速使能控制。
* 0：不使能读加速（hold 模式）
* 1：使能读加速（release 模式）

##### 注意：

1. 当 *READ\_NUM < (2^HCLK\_DIV)*时，可以配置为 *1*，开启读加速功能；配置读加速使能，需要在 *READ\_NUM*和*HCLK\_DIV*配置完成后进行。
2. 预取使能和读加速使能控制不要同时开启。

**位 3 PROG\_MODE：**flash program 模式控制。

* 0：单次编程模式，每次 program 将 EFC\_PROG\_DATA1 与 EFC\_PROG\_DATA0 写入指定地址。
* 1：WL 连续编程模式，该模式下会自动将 1 个 WL（512byte）中的连续地址均编程，软件需要查询

PROG\_DATA\_WAIT 标志来决定是否要将新的数据写入 EFC\_PROG\_DATA1 与 EFC\_PROG\_DATA0，以便于连续编程。

##### 注意：

1. *Flash*中的*ECC*编码格式为*64+8*，因此每次编程为偶数个*Word*。
2. *WL* 连续编程模式下需要将 *WRITE\_RELEASE\_EN* 配置为 *1*，并且编程过程中只能读写 *EFC\_SR, EFC\_PROG\_DATA1*与*EFC\_PROG\_DATA0*，不能读取*Flash*区域，也不能在*Flash*中执行程序。

**位 2 PROG\_EN：**flash program 使能控制。

* 0：对 Flash 存储空间的写操作不产生 flash program
* 1：对 Flash 存储空间的写操作产生 flash program **注意：**

1. 单次编程模式下通过向*Flash*地址写入数据启动编程，*EFC\_PROG\_DATA0*的数据会写入该地址*8*字节对齐的低地址空间，*EFC\_PROG\_DATA1*写入该地址*8*字节对齐的高地址空间。
2. *WL* 连续编程模式下通过向*Flash* 地址写入数据启动编程，编程地址依次累加，直到一条*WL* 编程结束。

**位 1 PAGE\_ERASE\_EN：**flash page erase 使能控制。

* 0：对 Flash 存储空间的写操作不产生 flash page erase
* 1：对 Flash 存储空间的写操作产生 flash page erase，page 地址为写入地址所在的 PAGE **位 0 MASS\_ERASE\_EN：**flash mass erase 使能控制。
* 0：对 Flash 存储空间的写操作不产生 flash mass erase
* 1：对 Flash 存储空间的写操作产生 flash mass erase **注意：**

1. 写操作的地址为*flash main*区地址则仅执行*main*区的*mass erase*；若写操作的地址为*flash info*区，则*main+info*区均执行*mass erase*。
2. 请不要对*info*区进行*mass erase*，否则芯片将被毁掉。

#### 10.5.2 EFC\_INT\_EN

偏移量：0x04 复位值：0x00000000

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **31-9** | **8** | **7** | **6** | **5** |
| RESERVED | TWO\_BIT\_ERROR  \_INT\_EN | ONE\_BIT\_CORRE  CT\_INT\_EN | PROG\_ERR\_INT\_  EN | PAGE\_ERASE\_  ERR\_INT\_EN |
| r | r/w | r/w | r/w | r/w |
| **4** | **3** | **2** | **1** | **0** |
| OPTION\_WR\_ERR  \_INT\_EN | FLASHBUSY\_ERR  \_INT\_EN | PROG\_DATA\_WAI  T\_INT\_EN | RESERVED | OPERATION\_D  ONE\_INT\_EN |
| r/w | r/w | r/w | r | r/w |

**位 31-9 Reserved：**保留，不能修改。

**位 8 TWO\_BIT\_ERROR\_INT\_EN：**ECC TWO\_BIT\_ERROR 中断使能。

* 0：不使能
* 1：使能**位 7 ONE\_BIT\_CORRECT\_INT\_EN：**ECC ONE\_BIT\_CORRECT 中断使能。
* 0：不使能
* 1：使能

**位 6 PROG\_ERR\_INT\_EN：**PROG\_ERR 中断使能。

* 0：不使能
* 1：使能

**位 5 PAGE\_ERASE\_ERR\_INT\_EN：**PAGE\_ERASE\_ERR 中断使能。

* 0：不使能
* 1：使能

**位 4 OPTION\_WR\_ERR\_INT\_EN：**OPTION\_WR\_ERR 中断使能。

* 0：不使能
* 1：使能

**位 3 FLASHBUSY\_ERR\_INT\_EN：**FLASHBUSY\_ERR 中断使能。

* 0：不使能
* 1：使能

**位 2 PROG\_DATA\_WAIT\_INT\_EN：**PROG\_DATA\_WAIT 中断使能。

* 0：不使能
* 1：使能**位 1 Reserved：**保留，不能修改。

**位 0 OPERATION\_DONE\_INT\_EN：**OPERATION\_DONE 中断使能。

* 0：不使能
* 1：使能

#### 10.5.3 EFC\_SR

偏移量：0x08 复位值：0x00000006

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **31-9** | **8** | **7** | **6** | **5** |
| RESERVED | TWO\_BIT\_ERROR | ONE\_BIT\_CORRECT | PROG\_ERR | PAGE\_ERASE\_ERR |
| r | r/w | r/w | r/w | r/w |
| **4** | **3** | **2** | **1** | **0** |
| OPTION\_WR\_  ERR | FLASHBUSY\_ERR | PROG\_DATA\_WAIT | READ\_NUM\_  DONE | OPERATION\_DONE |
| r/w | r/w | r/w | r | r/w |

**位 31-9 Reserved：**保留，不能修改。

**位 8 TWO\_BIT\_ERROR：**Flash 读数据 two bit ECC 错误标志。

* 0：无 two bit 错误发生
* 1：Flash 读数据发生 two bit 错误，ECC 不纠正**位 7 ONE\_BIT\_CORRECT：**Flash 读数据单 bit ECC 错误纠正标志。
* 0：无错误发生
* 1：Flash 读数据发生单 bit 错误，ECC 进行了纠正**位 6 PROG\_ERR：**Flash info 部分区域不支持编程操作（PROG\_EN），对这些区域的编程操作会被拦截，并且起该标志，硬件置 1，软件写 1 清 0。
* 0：无 Program 错误产生
* 1：产生 Program 错误**注意：***option*区域不能通过直接编程的方式实现写，需要选择对应操作；*bootloader*区域不能编程。

**位 5 PAGE\_ERASE\_ERR：**Flash info 区域不支持擦除操作，对 info 的擦除操作会被拦截，并且起该标志，硬件置 1，软件写 1 清 0。

* 0：无 Page erase 错误
* 1：发生了 Page erase 错误**位 4 OPTION\_WR\_ERR：**Option 区域的配置需要满足一定条件，不满足的 option 操作会被拦截，并且起该标志，硬件置 1，软件写 1 清 0。
* 0：无 Option byte 写权限错误
* 1：发生 Option byte 写权限错误

Option 区域配置约束条件为：

1. Flash exe\_only1/2 区域使能时不能关闭或缩小；
2. exe\_only\_keep 不能由 0 写 1
3. secure\_area\_en 使能时非安全操作只能配置 option 将 secure\_area\_en 关闭

**位 3 FLASHBUSY\_ERR：**Flash 在执行编程、擦除（包括 mass）、option 操作时，软件发起了

Flash 空间读操作，则读操作会拦截，总线返回数据不确定，为异常状态，硬件置 1，软件写 1 清 0。

* 0：无错误发生
* 1：Flash 操作期间发生读操作错误

**位 2 PROG\_DATA\_WAIT：**Flash 连续编程模式下等待数据写入状态，硬件置 1，软件写 EFC\_PROG\_DATA0 和 EFC\_PROG\_DATA1 后硬件自动清零，或者软件写 1 清零。

* 0：EFC\_PROG\_DATA0 和 EFC\_PROG\_DATA1 数据写入完毕
* 1：等待 EFC\_PROG\_DATA0 和 EFC\_PROG\_DATA1 数据写入**位 1 READ\_NUM\_DONE：**READ\_NUM\_DONE 状态，指示 READ\_NUM 配置是否已完成。硬件控制置 1 与清 0。
* 0：未完成
* 1：完成**位 0 OPERATION\_DONE：**OPERATION\_DONE 状态，用于指示 mass erase、page erase、 program、option 操作是否完成。硬件置 1，软件写 1 清 0。
* 0：未完成
* 1：完成

#### 10.5.4 EFC\_PROG\_DATA0

偏移量：0x0C

复位值：0x00000000

|  |
| --- |
| **31-0** |
| PROG\_DATA0 |
| r/w |

**位 31-0 PROG\_DATA0：**program 编程数据 0。**注意：***program*时先写入*EFC\_PROG\_DATA0*，再写入*EFC\_PROG\_DATA1*

#### 10.5.5 EFC\_PROG\_DATA1

偏移量：0x10 复位值：0x00000000

|  |
| --- |
| **31-0** |
| PROG\_DATA1 |
| r/w |

**位 31-0 PROG\_DATA1：**program 编程数据 1。

**注意：***program*时先写入*EFC\_PROG\_DATA0*，再写入*EFC\_PROG\_DATA1*

#### 10.5.6 EFC\_TIMING\_CFG

偏移量：0x14 复位值：0x00031D1D

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **31-20** | **19-16** | **15-0** |
| RESERVED | READ\_NUM | RESERVED |
| r | r/w | r |

**位 31-20 Reserved：**保留，不能修改。

**位 19-16 READ\_NUM：**flash 读操作读等待拍数控制，读等待拍数等于（READ\_NUM+1）个 SYS\_CLK 时钟周期。

* SYS\_CLK 频率为 48 MHz 时，READ\_NUM 要大于等于 2  SYS\_CLK 频率为 32 MHz 时，READ\_NUM 要大于等于 1
* SYS\_CLK 频率为 24 MHz 时，READ\_NUM 要大于等于 1
* SYS\_CLK 频率为 4 MHz 时，READ\_NUM 要大于等于 0
* SYS\_CLK 频率为 32 KHz 时，READ\_NUM 要大于等于 0

**注意：**当修改 *RCC\_CR0* 中的 *SYS\_CLK* 时钟源选择时，需要注意操作顺序：若切为快时钟，则先配置 *READ\_NUM* 变大，再配置时钟源选择；反之若切为慢时钟时，先配置时钟源选择，再配置*READ\_NUM* 变小。

**位 15-0 Reserved：**保留，不能修改。

#### 10.5.7 EFC\_PROTECT\_SEQ

偏移量：0x18 复位值：0x00000000

|  |
| --- |
| **31-0** |
| PROTECT\_SEQ |
| w |

**位 31-0 PROTECT\_SEQ：**EFC\_CR 配置的保护序列。

软件在操作 EFC\_CR 前需要按照以下顺序配置保护序列，才能够正确操作 EFC\_CR 寄存器，中间插入了错误序列，则操作无效，需要按以下步骤重新配置：

1. 先写 0x8C9DAEBF
2. 再写 0x13141516
3. 然后才能操作 EFC\_CR

##### 10.5.8 SERIAL\_NUM\_LOW

偏移量：0x2C

|  |
| --- |
| **31-0** |
| SERIAL\_NUM\_LOW |
| r |

**位 31-0 SERIAL\_NUM\_LOW：**芯片序列号的低 32 位。

##### 10.5.9 SERIAL\_NUM\_HIGH

偏移量：0x30

|  |
| --- |
| **31-0** |
| SERIAL\_NUM\_HIGH |
| r |

**位 31-0 SERIAL\_NUM\_HIGH：**芯片序列号的高 32 位。

#### 10.5.10 OPTION\_CSR\_BYTES

偏移量：0x3C 复位值：0x000000BD

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **31-7** | **6-5** | **4** | **3** | **2** | **1** | **0** |
| RESERVED | DEBUG\_LEVEL | SECURE\_AREA  \_EN | SYS\_SRAM  \_RST | FLASH\_ BOOT1 | USE\_FLASH  \_BOOT0 | FLASH\_ BOOT0 |
| r | r | r | r | r | r | r |

**位 31-7 Reserved：**保留，不能修改。**位 6-5 DEBUG\_LEVEL：**Debug level 配置。

* 0：Level0
* 1：Level1
* 2：Level2

**位 4 SECURE\_AREA\_EN：**安全区域状态指示寄存器。

* 0：不使能
* 1：使能**位 3 SYS\_SRAM\_RST：**System 复位后 Startup 过程中是否清除系统 SRAM。
* 1：清除系统 SRAM
* 0：不清除系统 SRAM **位 2 FLASH\_BOOT1：**用于 Boot 方式判断。
* 1：BootLoader 启动  0：系统 SRAM 启动

**位 1 USE\_FLASH\_BOOT0：**控制使用 option bit 或 IO 进行 Boot 方式判断。

* 0：使用 BOOT0 pin
* 1：使用 option bit FLASH\_BOOT0

**位 0 FLASH\_BOOT0：**USE\_FLASH\_BOOT0=1 时生效，用于 Boot 方式判断。

* 0：由 FLASH\_BOOT1 控制启动方式
* 1：Flash Main 启动

#### 10.5.11 OPTION\_EXE\_ONLY\_BYTES

偏移量：0x40 复位值：0x00FC0FC0

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **31-25** | **24** | **23-18** | **17-12** | **11-6** | **5-0** |
| RESERVED | EXE\_ONLY\_K  EEP | EXE\_ONLY2\_  END | EXE\_ONLY2\_  START | EXE\_ONLY1\_  END | EXE\_ONLY1\_  START |
| r | r | r | r | r | r |

**位 31-25 Reserved：**保留，不能修改。

**位 24 EXE\_ONLY\_KEEP：**Exe\_Only 区域在 Debug\_Level 由 1 变为 0 时，是否保留。

* 0：不保留 ExeOnly 区域
* 1：保留 ExeOnly 区域支持修改，但只能写 0。

**位 23-18 EXE\_ONLY2\_END：**Exe\_Only 区域 2 的结束 Page 地址。当 *EXEONLY2\_START > EXEONLY2\_END*，ExeOnly 区域 2 不使能。**位 17-12 EXE\_ONLY2\_START：**Exe\_Only 区域 2 的开始 Page 地址。

当 *EXEONLY2\_START > EXEONLY2\_END*，ExeOnly 区域 2 不使能。

ExeOnly 区域 2 支持修改，但只能使能或扩大区域，不能减少或关闭。**位 11-6 EXE\_ONLY1\_END：**Exe\_Only 区域 1 的结束 Page 地址。当 *EXEONLY1\_START > EXEONLY1\_END*，ExeOnly 区域 1 不使能。**位 5-0 EXE\_ONLY1\_START：**Exe\_Only 区域 1 的开始 Page 地址。当 *EXEONLY1\_START > EXEONLY1\_END*，ExeOnly 区域 1 不使能。

ExeOnly 区域 1 支持修改，但只能使能或扩大区域，不能减少或关闭。

#### 10.5.12 OPTION\_WR\_PROTECT\_BYTES

偏移量：0x44 复位值：0x0003F03F

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **31-12** | **11-6** | **5-0** |
| RESERVED | WRPROTECT\_END | WRPROTECT\_START |
| r | r | r |

**位 31-12 Reserved：**保留，不能修改。

**位 11-6 WRPROTECT\_END：**WrProtect 区域的结束 Page 地址。当 *WRPROTECT\_START > WRPROTECT\_END*，WrProtect 区域不使能。**位 5-0 WRPROTECT\_START：**WrProtect 区域的开始 Page 地址。当 *WRPROTECT\_START > WRPROTECT\_END*，WrProtect 区域不使能。

#### 10.5.13 OPTION\_SECURE\_BYTES0

偏移量：0x48 复位值：0x00FC0FC0

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **31-24** | **23-18** | **17-12** | **11-6** | **5-0** |
| RESERVED | SYSRAM\_SECURE\_  END | SYSRAM\_SECURE\_  START | FLASH\_SECURE\_  END | FLASH\_SECURE\_  START |
| r | r | r | r | r |

**位 31-24 Reserved：**保留，不能修改。

**位 23-18 SYSRAM\_SECURE\_END：**SysRam Secure 区域的结束地址。当 *SYSRAM\_SECURE\_START > SYSRAM\_SECURE\_END* 时，该区域安全不使能；且仅在 SECURE\_ AREA\_EN=1 才有效。

**位 17-12 SYSRAM\_SECURE\_START：**SysRam Secure 区域的起始地址。当 *SYSRAM\_SECURE\_START > SYSRAM\_SECURE\_END* 时，该区域安全不使能；且仅在 SECURE\_ AREA\_EN=1 才有效。

**位 11-6 FLASH\_SECURE\_END：**Flash Secure 区域的结束地址。当 *FLASH\_SECURE\_START > FLASH\_SECURE\_END* 时，该区域安全不使能。**位 5-0 FLASH\_SECURE\_START：**FLASH Secure 区域的起始地址。

当 *FLASH\_SECURE\_START > FLASH\_SECURE\_END* 时，该区域安全不使能。 FLASH 区域安全使能为整个安全区域的总使能：当 FLASH 区域安全使能时，SECURE\_AREA\_EN 为 1，使能整个安全区域；当 FLASH 区域安全去使能时，SECURE\_AREA\_EN 由 1 变为 0，将触发擦除操作。

#### 10.5.14 OPTION\_SECURE\_BYTES1

偏移量：0x4C 复位值：0x008103E0

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **31-24** | **23** | | **22-17** |
| RESERVED | SYSRAM\_HIDE\_ENABLE | | SYSRAM\_HIDE\_START |
| r | r | | r |
| **16** | **15-10** | **9-5** | **4-0** |
| FLASH\_HIDE\_ENABLE | FLASH\_HIDE\_START | RETRAM\_SECURE\_  END | RETRAM\_SECURE\_START |
| r | r | r | r |

**位 31-24 Reserved：**保留，不能修改。

**位 23 SYSRAM\_HIDE\_ENABLE：**SysRamHide 区域使能控制。

* 0：SysRamHide 区域使能
* 1：SysRamHide 区域不使能仅当 SECURE\_AREA\_EN=1 时才有效。

**位 22-17 SYSRAM\_HIDE\_START：**SysRamHide 区域的开始 Page 地址。必须在 SysRamSecure 区域内才使能，区域范围由 SYSRAM\_HIDE\_START 开始一直到 SYSRAM\_

SECURE\_END； 仅当 SECURE\_AREA\_EN=1 时才有效。**位 16 FLASH\_HIDE\_ENABLE：**FlashHide 区域使能控制。

* 0：FlashHide 区域使能
* 1：FlashHide 区域不使能仅当 SECURE\_AREA\_EN=1 时才有效。

**位 15-10 FLASH\_HIDE\_START：**FlashHide 区域的开始 Page 地址。必须在 FlashSecure 区域内才使能，区域范围由 FLASH\_HIDE\_START开始一直到 FLASH\_SECURE\_END；仅当 SECURE\_AREA\_EN=1 时才有效。

**位 9-5 RETRAM\_SECURE\_END：**RetRam Secure 区域的结束地址。当 *RETRAM\_SECURE\_START > RETRAM\_SECURE\_END* 时，该区域安全不使能；仅当 SECURE\_AREA\_EN=1 时才有效。

**位 4-0 RETRAM\_SECURE\_START：**RetRam Secure 区域的开始地址。当 *RETRAM\_SECURE\_START > RETRAM\_SECURE\_END* 时，该区域安全不使能；仅当 SECURE\_AREA\_EN=1 时才有效。

### 11. 通用输入输出 (GPIO)

#### 11.1 简介

共 A、B、C、D 四组 GPIO，每组的 SFR 寄存器分配一致，利用不同基地址进行区分；PortD

Pin8~PortD Pin15 位于 AlwayOn 域，其他 IO 位于 Main 域。

支持输入输出功能，支持上下拉功能，支持推挽输出和开漏输出，可以配置输出驱动电流为 4mA/8mA, 所有 IO 都支持中断功能，上升沿、下降沿或双沿可配，Sleep/Stop0~2 模式所有

IO 都可以唤醒，Stop3 模式部分 IO 可唤醒。所有 GPIO 均支持功能复用配置。

#### 11.2 输出配置

支持输出数据配置，通过配置输出使能寄存器 GPIOx\_OER 和输出数据寄存器 GPIOx\_ODR 实现。

支持输出数据置位和清零两种位操作, 通过向输出数据清零寄存器 GPIOx\_BRR 写 1 来清除 GPIOx\_ODR 的相应位，或者向输出数据置位清零寄存器 GPIOx\_BSRR 低 16 位写 1 置位 GPIOx\_ODR 的相应位，向 GPIOx\_BSRR 高 16 位写 1 清零 GPIOx\_ODR 的相应位，只操作指定位，避免读后写。

支持推挽输出，通过配置输出类型寄存器 GPIOx\_OTYPER 实现。支持开漏输出，其中 PortD Pin8~PortD Pin15 通过配置 GPIOx\_IER/GPIOx\_OER/GPIOx\_ODR/GPIOx\_PSR 实现，其他的 IO 通过配置 GPIOx\_OER/GPIOx\_IER/GPIOx\_ODR/GPIOx\_OTYPER 实现。不支持真的

Open Drain 结构，通过配置 GPIOx\_OER 和 GPIOx\_ODR 实现。

支持配置为模拟输出。

#### 11.3 输入配置

支持输入数据配置，通过配置输入使能寄存器 GPIOx\_IER 使能输入功能，读取输入数据寄存器 GPIOx\_IDR 获取输入状态。

支持 Floating 输入方式，通过配置上下拉使能寄存器 GPIOx\_PER 关闭上下拉功能实现。

支持上拉输入和下拉输入，配置 GPIOx\_PER 使能上下拉功能，配置上下拉选择寄存器

GPIOx\_PSR 选择上拉或者下拉功能。

支持配置为模拟输入。

#### 11.4 输出驱动能力

可配为低驱动能力 4mA 或高驱动能力 8mA，通过配置输出驱动能力寄存器 GPIOx\_DSR 实现。

##### 11.5 中断

所有 IO 都支持上升沿、下降沿和双沿中断，中断使能可配，通过配置中断使能寄存器 GPIOx\_

INT\_CR 实现。

##### 11.6 Sleep/Stop0~2 唤醒请求

支持高电平与低电平，输出唤醒信号为高电平。GPIO00~GPIO63 均可用于唤醒，每 4 个 IO为一组，一组可以产生一个唤醒信号，同组内的每个IO均支持配置高电平或者低电平唤醒。通过配置 Sleep/Stop0~2 唤醒使能寄存器 GPIOx\_WU\_EN 使能唤醒功能，通过配置 Sleep/Stop0~2 唤醒电平控制寄存器选择高电平或者低电平唤醒。

##### 11.7 Stop3 唤醒请求

Main 域的 GPIO00~GPIO55，每 4 个 IO MUX 出一个唤醒信号，共 14 个唤醒信号。支持高电平唤醒或低电平唤醒和唤醒使能控制，通过配置 Stop3 唤醒使能寄存器 GPIOx\_STOP3\_WU\_

CR 实现。

#### 11.8 复用功能控制

可在 GPIO 以及不同外设之间选择，GPIO 下的输入输出使能由 GPIO 寄存器控制，外设下的输入输出控制由外设实现，上下拉由 GPIO 寄存器实现。

每个 IO 均有 4bit 的复用功能控制（PortD Pin8~PortD Pin15 为每个 3bit），除 PortA Pin6 和

PortA Pin7 默认选择 SWD 外，其余 IO 均默认选择 GPIO 功能。

通过低 8 Pin 功能 MUX 选择寄存器 GPIOx\_AFRL 配置 Portx Pin[7:0] 的功能，通过高 8 Pin 功能 MUX 选择寄存器 GPIOx\_AFRH 配置 Portx Pin[15:8] 的功能。

#### 11.9 时钟复位

APB 总线时钟，共 4 组，每组均有独立的总线时钟。APB 总线复位，共 4 组，每组均有独立的总线复位。

##### 11.10 电源域

**Main 域：**除了 PortD Pin8~PortD Pin15 外相应的 PAD 均在 Main 域。

###### AlwayOn 域：

PortD Pin8~PortD Pin15 对应的 PAD 位于 AlwaysOn 域，如果配置为 Function 模式，那么直接由外设去控制，如果没有配置为 Function 模式，需要由 AlwaysOn 的 GPIO 寄存器控制。

#### 11.11 低功耗工作与唤醒

1. Sleep 下所有 GPIO 均可工作，可输出唤醒信号。
2. Stop0~2 下所有 GPIO 均可工作，可输出唤醒信号。
3. Stop3 下 GPIO00~GPIO55 工作状态可保持，并且均可配置为唤醒信号。
4. Stop3 下 AlwaysOn 域的 PortD Pin8~PortD Pin15 可保持，也可以通过 RTC 唤醒。
5. Standby 下 PortD Pin8~PortD Pin15 可工作，其他 IO 不可工作。

##### 11.12 SWD IO

**默认控制：**控制 GPIO MUX 的寄存器默认应选择 SWD，并且上下拉默认值应为 SWC-下拉

（PortA Pin7），SWD-上拉（PortA Pin6）。

**封口控制：**上电时由寄存器默认态控制 IO 状态，直到 DebugLevel 判断完毕，若发现需要封口，则执行永久封口；否则，继续由寄存器控制。

**软件配置：**软件运行过程中，可通过复用寄存器控制关闭 SWD，注意是单向封口的，即只能控制关闭，不能关闭后再使能。

##### 11.13 BOOT0 的控制

**默认控制：**由于除了 SWC 和 SWD 两个 IO 外，其他 IO 默认都是模拟 IO，因此上电时这三个 IO 需要特殊控制。

**BOOT0 (GPIO02)：**BOOT0 在 io\_lock 前为输入下拉，待 EFC 锁定后，切换为 GPIO 控制。

##### 11.14 GPIO 相关寄存器描述

GPIO Port A 基地址：0x4001F000

GPIO Port B 基地址：0x4001F400

GPIO Port C 基地址：0x4001F800 GPIO Port D 基地址：0x4001FC00

**表 11-1 GPIO 寄存器列表**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 寄存器 | 偏移量 | 描述 |
| GPIOx\_OER | 0x00 | 通用输出使能寄存器 |
| GPIOx\_OTYPER | 0x04 | 通用输出类型控制寄存器 |
| GPIOx\_IER | 0x08 | 通用输入使能寄存器 |
| GPIOx\_PER | 0x0C | 上下拉使能寄存器 |
| GPIOx\_PSR | 0x10 | 上下拉选择寄存器 |
| GPIOx\_IDR | 0x14 | 输入数据寄存器 |
| GPIOx\_ODR | 0x18 | 输出数据寄存器 |
| GPIOx\_BRR | 0x1C | 输出数据清零寄存器 |
| GPIOx\_BSRR | 0x20 | 输出数据置位和清零寄存器 |
| GPIOx\_DSR | 0x24 | 输出驱动能力寄存器 |
| GPIOx\_INT\_CR | 0x28 | 中断使能寄存器 |
| GPIOx\_FR | 0x2C | 中断沿标志寄存器 |
| GPIOx\_WU\_EN | 0x30 | Sleep/Stop0~2 唤醒使能寄存器 |
| GPIOx\_WU\_LVL | 0x34 | Sleep/Stop0~2 唤醒电平控制寄存器 |
| GPIOx\_AFRL | 0x38 | 低 8 Pin 功能 MUX 选择寄存器 |
| GPIOx\_AFRH | 0x3C | 高 8 Pin 功能 MUX 选择寄存器 |
| GPIOx\_STOP3\_WU\_CR | 0x40 | Stop3 唤醒使能控制寄存器 |

###### 11.14.1 GPIOx\_OER (x=A, B, C, D)

偏移量：0x00 复位值：0x0000FFFF

|  |  |
| --- | --- |
| **31-16** | **15-0** |
| RESERVED | OEN |
| r-0h | rw-ffffh |

**位 31-16 RESERVED：**保留，不可更改。**位 15-0 OEN：**Portx Pin[15:0] 输出使能。

* 0：输出使能有效
* 1：输出使能无效

###### 11.14.2 GPIOx\_OTYPER (x=A, B, C, D)

偏移量：0x04 复位值：0x00000000

|  |  |
| --- | --- |
| **31-16** | **15-0** |
| RESERVED | OTYPE |
| r-0h | rw-0h |

**位 31-16 RESERVED：**保留，不可更改。**位 15-0 OTYPE：**Portx Pin[15:0] 输出类型控制。

* 0：推挽输出
* 1：开漏输出**说明：***AON*的*PAD*（*PortD\_Pin[15:8]*）不支持该寄存器的配置，而是通过*GPIOx\_OER*直接控制*PAD*的 *OEN*端。其他*PAD*的开漏模式可以通过配置*GPIOx\_ODR/GPIOx\_IER/GPIOx\_OER/GPIOx\_OTYPER*的组合去实现。

###### 11.14.3 GPIOx\_IER (x=A, B, C, D)

偏移量：0x08 复位值：0x00000000

|  |  |
| --- | --- |
| **31-16** | **15-0** |
| RESERVED | IE |
| r-0h | rw-0h |

**位 31-16 RESERVED：**保留，不可更改。**位 15-0 IE：**Portx Pin[15:0] 输入使能。

* 0：输入使能无效
* 1：输入使能有效

###### 11.14.4 GPIOx\_PER (x=A, B, C, D)

偏移量：0x0C

复位值：0x00000000

|  |  |
| --- | --- |
| **31-16** | **15-0** |
| RESERVED | PE |
| r-0h | rw-0h |

**位 31-16 RESERVED：**保留，不可更改。**位 15-0 PE：**Portx Pin[15:0] 上下拉使能。

* 0：上下拉使能无效
* 1：上下拉使能有效上下拉直接由寄存器控制。默认上下拉不使能，IO 处于模拟模式，PortA\_Pin[7:6] 例外，为 SWD 接口。

###### 11.14.5 GPIOx\_PSR (x=A, B, C, D)

偏移量：0x10 复位值：0x00000000

|  |  |
| --- | --- |
| **31-16** | **15-0** |
| RESERVED | PS |
| r-0h | rw-0h |

**位 31-16 RESERVED：**保留，不可更改。**位 15-0 PS：**Portx Pin[15:0] 上下拉选择。

* 0：选择下拉
* 1：选择上拉

###### 11.14.6 GPIOx\_IDR (x=A, B, C, D)

偏移量：0x14 复位值：0x00000000

|  |  |
| --- | --- |
| **31-16** | **15-0** |
| RESERVED | ID |
| r-0h | r-0h |

**位 31-16 RESERVED：**保留，不可更改。**位 15-0 ID：**Portx Pin[15:0]输入数据。

* 0：输入低
* 1：输入高

###### 11.14.7 GPIOx\_ODR (x=A, B, C, D)

偏移量：0x18 复位值：0x00000000

|  |  |
| --- | --- |
| **31-16** | **15-0** |
| RESERVED | OD |
| r-0h | rw-0h |

**位 31-16 RESERVED：**保留，不可更改。**位 15-0 OD：**Portx Pin[15:0]输出数据。

* 0：输出低
* 1：输出高

###### 11.14.8 GPIOx\_BRR (x=A, B, C, D)

偏移量：0x1C

复位值：0x00000000

|  |  |
| --- | --- |
| **31-16** | **15-0** |
| RESERVED | BR |
| r-0h | w-0h |

**位 31-16 RESERVED：**保留，不可更改。**位 15-0 BR：**Portx Pin[15:0] 输出数据清零。

* 写 0：无效
* 写 1：清除 GPIOx\_ODR 相应位

###### 11.14.9 GPIOx\_BSRR (x=A, B, C, D)

偏移量：0x20 复位值：0x00000000

|  |  |
| --- | --- |
| **31-16** | **15-0** |
| BR | BSR |
| w-0h | w-0h |

**位 31-16 BR：**Portx Pin[15:0] 输出数据清零。

* 写 0：无效
* 写 1：清除 GPIOx\_ODR 相应位**说明：**若*BSR*和*BR*同时有效，则*BSR*优先级高。

**位 15-0 BSR：**Portx Pin[15:0] 输出数据置位。

* 写 0：无效
* 写 1：置位 GPIOx\_ODR 相应位**说明：**若*BSR*和*BR*同时有效，则*BSR*优先级高。

11.14.10 GPIOx\_DSR (x=A, B, C, D)

偏移量：0x24 复位值：0x00000000

|  |  |
| --- | --- |
| **31-16** | **15-0** |
| RESERVED | DS |
| r-0h | w-0h |

**位 31-16 RESERVED：**保留，不可更改。**位 15-0 DS：**Portx Pin[15:0] 输出驱动能力配置。

* 写 0：低驱动能力，4mA
* 写 1：高驱动能力，8mA

###### 11.14.11 GPIOx\_INT\_CR (x=A, B, C, D)

偏移量：0x28 复位值：0x00000000

|  |  |
| --- | --- |
| **2\*n + 1** | **2\*n** |
| NEG\_INT\_EN | POS\_INT\_EN |
| rw-0h | rw-0h |

**位 2\*n + 1 NEG\_INT\_EN：**Portx Pin[15:0] 下降沿中断使能。

* 0：不使能下降沿中断
* 1：使能下降沿中断

**位 2\*n POS\_INT\_EN：**Portx Pin[15:0] 上升沿中断使能。

* 0：不使能上升沿中断
* 1：使能上升沿中断

###### 11.14.12 GPIOx\_FR (x=A, B, C, D)

偏移量：0x2C

复位值：0x00000000

|  |  |
| --- | --- |
| **2\*n + 1** | **2\*n** |
| NEG\_F | POS\_F |
| rw1c-0h | rw1c-0h |

**位 2\*n + 1 NEG\_INT\_EN：**Portx Pin[15:0] 下降沿中断标志。

* 0：未发生下降沿中断
* 1：发生下降沿中断

**位 2\*n POS\_INT\_EN：**Portx Pin[15:0] 上升沿中断标志。

* 0：未发生上升沿中断
* 1：发生上升沿中断

###### 11.14.13 GPIOx\_WU\_EN (x=A, B, C, D)

偏移量：0x30 复位值：0x00000000

|  |  |
| --- | --- |
| **31-16** | **15-0** |
| RESERVED | WU\_EN |
| r-0h | rw-0h |

**位 31-16 RESERVED：**保留，不可更改。

**位 15-0 WU\_EN：**Portx Pin[15:0] Sleep/Stop0~2 唤醒使能。

* 0：不使能 Sleep/Stop0~2 唤醒
* 1：使能 Sleep/Stop0~2 唤醒

###### 11.14.14 GPIOx\_WU\_LVL (x=A, B, C, D)

偏移量：0x34 复位值：0x00000000

|  |  |
| --- | --- |
| **31-16** | **15-0** |
| RESERVED | WU\_LVL |
| r-0h | rw-0h |

**位 31-16 RESERVED：**保留，不可更改。**位 15-0 WU\_LVL：**Portx Pin[15:0] Sleep/Stop0~2 电平控制。

* 0：低电平唤醒
* 1：高电平唤醒

###### 11.14.15 GPIOx\_AFRL (x=A, B, C, D)

偏移量：0x38 复位值：0x00000000

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **31-28** | **27-24** | **23-20** | **19-16** | **15-12** | **11-8** | **7-4** | **3-0** |
| AF7 | AF6 | AF5 | AF4 | AF3 | AF2 | AF1 | AF0 |
| rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h |

**位 31-28 AF7：**Portx Pin7 功能 MUX 选择。

* 0000：Function0
* 0001：Function1
* 0010：Function2
* 0011：Function3
* 0100：Function4
* 0101：Function5
* 0110：Function6
* 0111：Function7
* others：Reserved

**位 27-24 AF6：**Portx Pin6 功能 MUX 选择。

* 0000：Function0
* 0001：Function1
* 0010：Function2
* 0011：Function3
* 0100：Function4
* 0101：Function5
* 0110：Function6
* 0111：Function7
* others：Reserved

**位 23-20 AF5：**Portx Pin5 功能 MUX 选择。

* 0000：Function0
* 0001：Function1
* 0010：Function2
* 0011：Function3
* 0100：Function4
* 0101：Function5
* 0110：Function6
* 0111：Function7
* others：Reserved

**位 19-16 AF4：**Portx Pin4 功能 MUX 选择。

* 0000：Function0
* 0001：Function1
* 0010：Function2**（未完，接下页）**
* 0011：Function3
* 0100：Function4
* 0101：Function5
* 0110：Function6
* 0111：Function7
* others：Reserved

**位 15-12 AF3：**Portx Pin3 功能 MUX 选择。

* 0000：Function0
* 0001：Function1
* 0010：Function2
* 0011：Function3
* 0100：Function4
* 0101：Function5
* 0110：Function6
* 0111：Function7
* others：Reserved

**位 11-8 AF2：**Portx Pin2 功能 MUX 选择。

* 0000：Function0
* 0001：Function1
* 0010：Function2
* 0011：Function3
* 0100：Function4
* 0101：Function5
* 0110：Function6
* 0111：Function7
* others：Reserved

**位 7-4 AF1：**Portx Pin1 功能 MUX 选择。

* 0000：Function0
* 0001：Function1
* 0010：Function2
* 0011：Function3
* 0100：Function4
* 0101：Function5
* 0110：Function6
* 0111：Function7
* others：Reserved

**位 3-0 AF0：**Portx Pin0 功能 MUX 选择。

* 0000：Function0
* 0001：Function1
* 0010：Function2
* 0011：Function3
* 0100：Function4
* 0101：Function5**（未完，接下页）**

0110：Function6 0111：Function7 others：Reserved

###### 11.14.16 GPIOx\_AFRH (x=A, B, C)

偏移量：0x3C

复位值：0x00000000

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **31-28** | **27-24** | **23-20** | **19-16** | **15-12** | **11-8** | **7-4** | **3-0** |
| AF15 | AF14 | AF13 | AF12 | AF11 | AF10 | AF9 | AF8 |
| rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h |

**位 31-28 AF15：**Portx Pin15 功能 MUX 选择。

* 0000：Function0
* 0001：Function1
* 0010：Function2
* 0011：Function3
* 0100：Function4
* 0101：Function5
* 0110：Function6
* 0111：Function7
* others：Reserved

**位 27-24 AF14：**Portx Pin14 功能 MUX 选择。

* 0000：Function0
* 0001：Function1
* 0010：Function2
* 0011：Function3
* 0100：Function4
* 0101：Function5
* 0110：Function6
* 0111：Function7
* others：Reserved

**位 23-20 AF13：**Portx Pin13 功能 MUX 选择。

* 0000：Function0
* 0001：Function1
* 0010：Function2
* 0011：Function3
* 0100：Function4
* 0101：Function5
* 0110：Function6
* 0111：Function7
* others：Reserved

**位 19-16 AF12：**Portx Pin12 功能 MUX 选择。

* 0000：Function0
* 0001：Function1
* 0010：Function2
* 0011：Function3
* 0100：Function4
* 0101：Function5
* 0110：Function6
* 0111：Function7
* others：Reserved

**位 15-12 AF11：**Portx Pin11 功能 MUX 选择。

* 0000：Function0
* 0001：Function1
* 0010：Function2
* 0011：Function3
* 0100：Function4
* 0101：Function5
* 0110：Function6
* 0111：Function7
* others：Reserved

**位 11-8 AF10：**Portx Pin10 功能 MUX 选择。

* 0000：Function0
* 0001：Function1
* 0010：Function2
* 0011：Function3
* 0100：Function4
* 0101：Function5
* 0110：Function6
* 0111：Function7
* others：Reserved

**位 7-4 AF9：**Portx Pin9 功能 MUX 选择。

* 0000：Function0
* 0001：Function1
* 0010：Function2
* 0011：Function3
* 0100：Function4
* 0101：Function5
* 0110：Function6
* 0111：Function7
* others：Reserved

**位 3-0 AF8：**Portx Pin8 功能 MUX 选择。

* 0000：Function0
* 0001：Function1**（未完，接下页）** 0010：Function2

0011：Function3

0100：Function4

0101：Function5

* 0110：Function6
* 0111：Function7
* others：Reserved

###### 11.14.17 GPIOD\_AFRH

偏移量：0x3C

复位值：0x00000000

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **31-24** | **23-21** | **20-18** | **17-15** | **14-12** | **11-9** | **8-6** | **5-3** | **2-0** |
| RESERVED | AF15 | AF14 | AF13 | AF12 | AF11 | AF10 | AF9 | AF8 |
| r-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h |

**位 31-24 RESERVED：**保留，不可更改。

* 001：Function1
* 010：Function2
* 011：Function3
* 100：Function4
* 101：Function5
* 110：Function6
* 111：Function7

**位 23-21 AF15：**PortD Pin15 功能 MUX 选择。

* 001：Function1
* 010：Function2
* 011：Function3
* 100：Function4
* 101：Function5
* 110：Function6
* 111：Function7

**位 20-18 AF14：**PortD Pin14 功能 MUX 选择。

* 001：Function1
* 010：Function2
* 011：Function3
* 100：Function4
* 101：Function5
* 110：Function6
* 111：Function7

**位 17-15 AF13：**PortD Pin13 功能 MUX 选择。

* 001：Function1**（未完，接下页）**

010：Function2

011：Function3

100：Function4

101：Function5

* 110：Function6
* 111：Function7

**位 14-12 AF12：**PortD Pin12 功能 MUX 选择。

* 001：Function1
* 010：Function2
* 011：Function3
* 100：Function4
* 101：Function5
* 110：Function6
* 111：Function7

**位 11-9 AF11：**PortD Pin11 功能 MUX 选择。

* 001：Function1
* 010：Function2
* 011：Function3
* 100：Function4
* 101：Function5
* 110：Function6
* 111：Function7

**位 8-6 AF10：**PortD Pin10 功能 MUX 选择。

* 001：Function1
* 010：Function2
* 011：Function3
* 100：Function4
* 101：Function5
* 110：Function6
* 111：Function7

**位 5-3 AF9：**PortD Pin9 功能 MUX 选择。

* 001：Function1
* 010：Function2
* 011：Function3
* 100：Function4
* 101：Function5
* 110：Function6
* 111：Function7

**位 2-0 AF8：**PortD Pin8 功能 MUX 选择。

* 001：Function1
* 010：Function2
* 011：Function3**（未完，接下页）** 100：Function4

101：Function5

110：Function6

111：Function7

###### 11.14.18 GPIOA\_STOP3\_WU\_CR

偏移量：0x40 复位值：0x00000000

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **31-16** | **15** | **14** | **13-12** | **11** |
| RESERVED | STOP3\_WU\_EN  \_G1 | STOP3\_WU\_LVL\_G3 | STOP3\_WU\_SEL\_G  3 | STOP3\_WU\_EN\_G2 |
| r-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h |
| **10** | | **9-8** | **7** | **6** |
| STOP3\_WU\_LVL\_G2 | | STOP3\_WU\_SEL\_G  2 | STOP3\_WU\_EN\_G1 | STOP3\_WU\_LVL\_G  1 |
| rw-0h | | rw-0h | rw-0h | rw-0h |
| **5-4** | | **3** | **2** | **1-0** |
| STOP3\_WU\_SEL\_G1 | | STOP3\_WU\_EN\_G0 | STOP3\_WU\_LVL\_G  0 | STOP3\_WU\_SEL\_G  0 |
| rw-0h | | rw-0h | rw-0h | rw-0h |

**位 31-16 RESERVED：**保留，不可更改。

**位 15 STOP3\_WU\_EN\_G3：**PortA Pin Group3 Stop3 唤醒使能控制。

* 0：PortA Pin[15/14/7/6] 唤醒不使能
* 1：PortA Pin[15/14/7/6] 唤醒使能

**位 14 STOP3\_WU\_LVL\_G3：**PortA Pin Group3 Stop3 唤醒电平选择。

* 0：PortA Pin[15/14/7/6] 低电平唤醒
* 1：PortA Pin[15/14/7/6] 高电平唤醒

**位 13-12 STOP3\_WU\_SEL\_G3：**PortA Pin Group3 Stop3 唤醒源选择。

* 00：选择 PortA Pin6
* 01：选择 PortA Pin7
* 10：选择 PortA Pin14
* 11：选择 PortA Pin15

**位 11 STOP3\_WU\_EN\_G2：**PortA Pin Group2 Stop3 唤醒使能控制。

* 0：PortA Pin[11:8] 唤醒不使能
* 1：PortA Pin[11:8] 唤醒使能**位 10 STOP3\_WU\_LVL\_G2：**PortA Pin Group2 Stop3 唤醒电平选择。
* 0：PortA Pin[11:8] 低电平唤醒
* 1：PortA Pin[11:8] 高电平唤醒

**位 9-8 STOP3\_WU\_SEL\_G2：**PortA Pin Group2 Stop3 唤醒源选择。

* 00：选择 PortA Pin8
* 01：选择 PortA Pin9
* 10：选择 PortA Pin10
* 11：选择 PortA Pin11

**位 7 STOP3\_WU\_EN\_G1：**PortA Pin Group1 Stop3 唤醒使能控制。

* 0：PortA Pin[13/12/5/4] 唤醒不使能
* 1：PortA Pin[13/12/5/4] 唤醒使能

**位 6 STOP3\_WU\_LVL\_G1：**PortA Pin Group1 Stop3 唤醒电平选择。

* 0：PortA Pin[13/12/5/4] 低电平唤醒
* 1：PortA Pin[13/12/5/4] 高电平唤醒

**位 5-4 STOP3\_WU\_SEL\_G1：**PortA Pin Group1 Stop3 唤醒源选择。

* 00：选择 PortA Pin4
* 01：选择 PortA Pin5
* 10：选择 PortA Pin12
* 11：选择 PortA Pin13

**位 3 STOP3\_WU\_EN\_G0：**PortA Pin Group0 Stop3 唤醒使能控制。

* 0：PortA Pin[3:0] 唤醒不使能
* 1：PortA Pin[3:0] 唤醒使能**位 2 STOP3\_WU\_LVL\_G0：**PortA Pin Group0 Stop3 唤醒电平选择。
* 0：PortA Pin[3:0] 低电平唤醒
* 1：PortA Pin[3:0] 高电平唤醒**位 1-0 STOP3\_WU\_SEL\_G0：**PortA Pin Group0 Stop3 唤醒源选择。
* 00：选择 PortA Pin0
* 01：选择 PortA Pin1
* 10：选择 PortA Pin2
* 11：选择 PortA Pin3

###### 11.14.19 GPIOx\_STOP3\_WU\_CR (x=B, C)

偏移量：0x40 复位值：0x00000000

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **31-16** | **15** | **14** | **13-12** | **11** |
| RESERVED | STOP3\_WU\_EN  \_G3 | STOP3\_WU\_LVL\_G3 | STOP3\_WU\_SEL\_G  3 | STOP3\_WU\_EN\_G2 |
| r-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h |
| **10** | | **9-8** | **7** | **6** |
| STOP3\_WU\_LVL\_G2 | | STOP3\_WU\_SEL\_G  2 | STOP3\_WU\_EN\_G1 | STOP3\_WU\_LVL\_G  1 |
| rw-0h | | rw-0h | rw-0h | rw-0h |
| **5-4** | | **3** | **2** | **1-0** |
| STOP3\_WU\_SEL\_G1 | | STOP3\_WU\_EN\_G0 | STOP3\_WU\_LVL\_G  0 | STOP3\_WU\_SEL\_G  0 |
| rw-0h | | rw-0h | rw-0h | rw-0h |

**位 31-16 RESERVED：**保留，不可更改。

**位 15 STOP3\_WU\_EN\_G3：**Portx Pin Group3 Stop3 唤醒使能控制。

* 0：Portx Pin[15:12] 唤醒不使能
* 1：Portx Pin[15:12] 唤醒使能**位 14 STOP3\_WU\_LVL\_G3：**Portx Pin Group3 Stop3 唤醒电平选择。
* 0：Portx Pin[15:12] 低电平唤醒
* 1：Portx Pin[15:12] 高电平唤醒**位 13-12 STOP3\_WU\_SEL\_G3：**Portx Pin Group3 Stop3 唤醒源选择。
* 00：选择 Portx Pin12
* 01：选择 Portx Pin13
* 10：选择 Portx Pin14
* 11：选择 Portx Pin15

**位 11 STOP3\_WU\_EN\_G2：**Portx Pin Group2 Stop3 唤醒使能控制。

* 0：Portx Pin[11:8] 唤醒不使能
* 1：Portx Pin[11:8] 唤醒使能**位 10 STOP3\_WU\_LVL\_G2：**Portx Pin Group2 Stop3 唤醒电平选择。
* 0：Portx Pin[11:8] 低电平唤醒
* 1：Portx Pin[11:8] 高电平唤醒**位 9-8 STOP3\_WU\_SEL\_G2：**Portx Pin Group2 Stop3 唤醒源选择。
* 00：选择 Portx Pin8
* 01：选择 Portx Pin9
* 10：选择 Portx Pin10
* 11：选择 Portx Pin11

**位 7 STOP3\_WU\_EN\_G1：**Portx Pin Group1 Stop3 唤醒使能控制。

* 0：Portx Pin[7:4] 唤醒不使能
* 1：Portx Pin[7:4] 唤醒使能**位 6 STOP3\_WU\_LVL\_G1：**Portx Pin Group1 Stop3 唤醒电平选择。
* 0：Portx Pin[7:4] 低电平唤醒
* 1：Portx Pin[7:4] 高电平唤醒**位 5-4 STOP3\_WU\_SEL\_G1：**Portx Pin Group1 Stop3 唤醒源选择。
* 00：选择 Portx Pin4
* 01：选择 Portx Pin5
* 10：选择 Portx Pin6
* 11：选择 Portx Pin7

**位 3 STOP3\_WU\_EN\_G0：**Portx Pin Group0 Stop3 唤醒使能控制。

* 0：Portx Pin[3:0] 唤醒不使能
* 1：Portx Pin[3:0] 唤醒使能**位 2 STOP3\_WU\_LVL\_G0：**Portx Pin Group0 Stop3 唤醒电平选择。
* 0：Portx Pin[3:0] 低电平唤醒
* 1：Portx Pin[3:0] 高电平唤醒**位 1-0 STOP3\_WU\_SEL\_G0：**Portx Pin Group0 Stop3 唤醒源选择。
* 00：选择 Portx Pin0
* 01：选择 Portx Pin1
* 10：选择 Portx Pin2
* 11：选择 Portx Pin3

###### 11.14.20 GPIOD\_STOP3\_WU\_CR

偏移量：0x40 复位值：0x00000000

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **31-8** | | **7** | **6** |
| RESERVED | | STOP3\_WU\_EN\_G1 | STOP3\_WU\_LVL\_G1 |
| r-0h | | rw-0h | rw-0h |
| **5-4** | **3** | **2** | **1-0** |
| STOP3\_WU\_SEL\_G1 | STOP3\_WU\_EN\_G0 | STOP3\_WU\_LVL\_G0 | STOP3\_WU\_SEL\_G0 |
| rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h |

**位 31-8 RESERVED：**保留，不可更改。

**位 7 STOP3\_WU\_EN\_G1：**PortD Pin Group1 Stop3 唤醒使能控制。

* 0：PortD Pin[7:4] 唤醒不使能
* 1：PortD Pin[7:4] 唤醒使能**位 6 STOP3\_WU\_LVL\_G1：**PortD Pin Group1 Stop3 唤醒电平选择。
* 0：PortD Pin[7:4] 低电平唤醒
* 1：PortD Pin[7:4] 高电平唤醒**位 5-4 STOP3\_WU\_SEL\_G1：**PortD Pin Group1 Stop3 唤醒源选择。
* 00：选择 PortD Pin4
* 01：选择 PortD Pin5
* 10：选择 PortD Pin6
* 11：选择 PortD Pin7

**位 3 STOP3\_WU\_EN\_G0：**PortD Pin Group0 Stop3 唤醒使能控制。

* 0：PortD Pin[3:0] 唤醒不使能
* 1：PortD Pin[3:0] 唤醒使能**位 2 STOP3\_WU\_LVL\_G0：**PortD Pin Group0 Stop3 唤醒电平选择。
* 0：PortD Pin[3:0] 低电平唤醒
* 1：PortD Pin[3:0] 高电平唤醒**位 1-0 STOP3\_WU\_SEL\_G0：**PortD Pin Group0 Stop3 唤醒源选择。
* 00：选择 PortD Pin0
* 01：选择 PortD Pin1
* 10：选择 PortD Pin2
* 11：选择 PortD Pin3

## 12. LoRa 控制器 (LoRaC)

**12.1 简介**

LoRa Controller 主要用来控制内部的 RF TRX 实现 LoRa 的发送和接收。

### 12.2 主要特性

* 支持 SPI 接口连接 RF TRX
* 支持中断信号产生

### 12.3 功能描述

#### 12.3.1 内部 SPI 接口

LoRa Controller 拥有一路内部 SPI 接口，可以通过寄存器直接控制 RF TRX。与 RF TRX 之间的通信如下：

1. 初始化 LoRa Controller 内部 SSP。
2. 检查 LORAC\_SR 寄存器的 BUSY\_DIG\_SR 是否为 0，若为 0 则说明当前 RF TRX 空闲，可以进行通信。
3. 将寄存器 LORAC\_NSS\_CR 写 0。
4. 将数据写入 LoRa Controller 内部 SSP 的寄存器 SSP\_DR。
5. 等待发送完成。
6. 通过寄存器 SSP\_DR 读回数据。
7. 根据需求重复执行步骤(4) - (6)。
8. 将寄存器 LORAC\_NSS\_CR 写 1。

|  |  |
| --- | --- |
| **12.3.2** | **上电初始化** |



##### 图 12-1 上电初始化时序

如上图所示，上电初始化的流程为：

1. 将寄存器 LORAC\_CR1 的 NRESET\_BAT 置 1。
2. 将寄存器 LORAC\_CR1 的 POR\_BAT 置 0。
3. 等待 BUSY\_DIG\_SR 为 0。其中，Tpor\_min 为 100us，Tnrst\_min 为 50us。

#### 12.3.3 中断信号

LoRa Controller 的中断信号主要是透传 RF TRX 的中断请求，需注意的是当 LoRa Controller 的中断请求触发时，需要向 RF TRX 发送 ClearIrqStatus 命令清除中断，不然中断请求会一直触发。

#### 12.4 LoRaC 相关寄存器描述

LORAC 寄存器基地址：0x40009000

**表 12-1 LORAC 寄存器列表**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 寄存器 | 偏移量 | 描述 |
| SSP\_CR0 | 0x00 | LORAC 内部 SSP 控制寄存器 0 |
| SSP\_CR1 | 0x04 | LORAC 内部 SSP 控制寄存器 1 |
| SSP\_DR | 0x08 | LORAC 内部 SSP 数据寄存器 |
| SSP\_SR | 0x0C | LORAC 内部 SSP 状态寄存器 |
| SSP\_CPSR | 0x10 | LORAC 内部 SSP 时钟分频寄存器 |
| SSP\_IMSC | 0x14 | LORAC 内部 SSP 中断设置寄存器 |
| SSP\_RIS | 0x18 | LORAC 内部 SSP 原始中断状态寄存器 |
| SSP\_MIS | 0x1C | LORAC 内部 SSP 屏蔽中断状态寄存器 |
| SSP\_ICR | 0x20 | LORAC 内部 SSP 中断清除寄存器 |
| SSP\_DMACR | 0x24 | LORAC 内部 SSP DMA 控制寄存器 |
| RESERVED | 0x28-0xFC | 保留 |
| LORAC\_CR0 | 0x100 | LORAC 控制寄存器 0 |
| LORAC\_CR1 | 0x104 | LORAC 控制寄存器 1 |
| LORAC\_SR | 0x108 | LORAC 状态寄存器 |
| LORAC\_NSS\_CR | 0x10C | LORAC NSS 控制寄存器 |
| LORAC\_SCK\_CR | 0x110 | LORAC SCK 控制寄存器 |
| LORAC\_MOSI\_CR | 0x114 | LORAC MOSI 控制寄存器 |
| LORAC\_MISO\_SR | 0x118 | LORAC MISO 状态寄存器 |

##### 12.4.1 SSP\_CR0

偏移量：0x00

复位值：0x00000000

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **31-16** | **15-8** | **7** | **6** | **5-4** | **3-0** |
| RESERVED | SCR | SPH | SPO | FRF | DSS |
| r | r/w | r/w | r/w | r/w | r/w |

**位 31-16 RESERVED：**保留，不能修改。**位 15-8 SCR：**串行时钟速率，用于设置 SSP 传输的数据速率。



SSP 的数据速率计算公式如上，其中 CPSDVR 是取值 2 到 254 的偶数。**位 7 SPH：**SSP 相位设置，仅应用于 Motorola SPI 格式。**位 6 SPO：**SSP 极性设置，仅应用于 Motorola SPI 格式。

**位 5-4 FRF：**SSP 帧格式设置。

* 0：Motorola SPI 格式
* 1：Texas Instruments SPI 格式
* 2：National Semiconductor Microwire 格式
* 3：保留**位 3-0 DSS：**数据位宽设置。
* 0：保留
* 1：保留
* 2：保留
* 3：4 bit  4：5 bit  5：6 bit  6：7 bit  7：8 bit  8：9 bit
* 9：10 bit
* 10：11 bit  11：12 bit
* 12：13 bit  13：14 bit  14：15 bit
* 15：16 bit

##### 12.4.2 SSP\_CR1

偏移量：0x04

复位值：0x00000000

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **31-4** | **3** | **2** | **1** | **0** |
| RESERVED | SOD | MS | SSE | LBM |
| r | r/w | r/w | r/w | r/w |

**位 31-4 RESERVED：**保留，不能修改。**位 3 SOD：**从模式输出禁止。

* 0：从模式下，SSP 可以输出
* 1：从模式下，SSP 不可输出**位 2 MS：**主从模式选择。
* 0：主模式
* 1：从模式**位 1 SSE：**SSP 使能。
* 0：不使能
* 1：使能**位 0 LBM：**回环模式。
* 0：正常模式
* 1：回环模式

##### 12.4.3 SSP\_DR

偏移量：0x08 复位值：0x00000000

|  |  |
| --- | --- |
| **31-16** | **15-0** |
| RESERVED | DATA |
| r | r/w |

**位 31-16 RESERVED：**保留，不能修改。**位 15-0 DATA：**SSP TX/RX 数据。

##### 12.4.4 SSP\_SR

偏移量：0x0C

复位值：0x00000003

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **31-5** | **4** | **3** | **2** | **1** | **0** |
| RESERVED | BSY | RFF | RNE | TNF | TFE |
| r | r | r | r | r | r |

**位 31-5 RESERVED：**保留，不能修改。

**位 4 BSY：**SSP 忙标识。

* 0：SSP 空闲
* 1：SSP 正在传输中**位 3 RFF：**RX FIFO 满标识。
* 0：RX FIFO 未满
* 1：RX FIFO 满**位 2 RNE：**RX FIFO 非空标识。
* 0：RX FIFO 为空
* 1：RX FIFO 不为空**位 1 TNF：**TX FIFO 非满标识。
* 0：TX FIFO 满
* 1：TX FIFO 未满**位 0 TFE：**TX FIFO 空标识。
* 0：TX FIFO 不为空
* 1：TX FIFO 为空

##### 12.4.5 SSP\_CPSR

偏移量：0x0C

复位值：0x00000000

|  |  |
| --- | --- |
| **31-8** | **7-0** |
| RESERVED | CPSDVSR |
| r | r/w |

**位 31-8 RESERVED：**保留，不能修改。

**位 7-0 CPSDVSR：**时钟分频因子，必须为 2-254 之间的偶数。

###### 12.4.6 SSP\_IMSC

偏移量：0x00

复位值：0x00000000

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **31-4** | **3** | **2** | **1** | **0** |
| RESERVED | TXIM | RXIM | RTIM | RORIM |
| r | r/w | r/w | r/w | r/w |

**位 31-4 RESERVED：**保留，不能修改。**位 3 TXIM：**TX 中断屏蔽位。

* 0：不允许产生 TX 中断
* 1：允许产生 TX 中断**位 2 RXIM：**RX 中断屏蔽位。
* 0：不允许产生 RX 中断
* 1：允许产生 RX 中断**位 1 RTIM：**RX TIMEOUT 中断屏蔽位。
* 0：不允许产生 RX TIMEOUT 中断
* 1：允许产生 RX TIMEOUT 中断**位 0 RORIM：**RX OVERRUN 中断屏蔽位。
* 0：不允许产生 RX OVERRUN 中断
* 1：允许产生 RX OVERRUN 中断

##### 12.4.7 SSP\_RIS

偏移量：0x00 复位值：0x00000008

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **31-4** | **3** | **2** | **1** | **0** |
| RESERVED | TXRIS | RXRIS | RTRIS | RORRIS |
| r | r | r | r | r |

**位 31-4 RESERVED：**保留，不能修改。**位 3 TXRIS：**TX 原始中断状态。**位 2 RXRIS：**RX 原始中断状态。**位 1 RTRIS：**RX TIMEOUT 原始中断状态。**位 0 RORRIS：**RX OVERRUN 原始中断状态。

##### 12.4.8 SSP\_MIS

偏移量：0x00

复位值：0x00000000

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **31-4** | **3** | **2** | **1** | **0** |
| RESERVED | TXMIS | RXMIS | RTMIS | RORMIS |
| r | r | r | r | r |

**位 31-4 RESERVED：**保留，不能修改。**位 3 TXMIS：**TX 屏蔽中断状态。**位 2 RXMIS：**RX 屏蔽中断状态。**位 1 RTMIS：**RX TIMEOUT 屏蔽中断状态。**位 0 RORMIS：**RX OVERRUN 屏蔽中断状态。

##### 12.4.9 SSP\_ICR

偏移量：0x00 复位值：0x00000000

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **31-2** | **1** | **0** |
| RESERVED | RTIC | RORIC |
| r | w | w |

**位 31-2 RESERVED：**保留，不能修改。

**位 1 RTIC：**RX TIMEOUT 中断清除，写 1 清除，写 0 无效。

**位 0 RORIC：**RX OVERRUN 中断清除，写 1 清除，写 0 无效。

##### 12.4.10 SSP\_DMACR

偏移量：0x00 复位值：0x00000000

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **31-2** | **1** | **0** |
| RESERVED | TXDMAE | RXDMAE |
| r | r/w | r/w |

**位 31-2 RESERVED：**保留，不能修改。**位 1 TXDMAE：**DMA TX 使能。

* 0：关闭 DMA TX
* 1：使能 DMA TX **位 0 RXDMAE：**DMA RX 使能。
* 0：关闭 DMA RX
* 1：使能 DMA RX

##### 12.4.11 LORAC\_CR0

偏移量：0x100 复位值：0x00000000

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **31-11** | **10** | **9** | **8** | **7-5** | **4-0** |
| RESERVED | NSS\_SEL | SCK\_MOSI\_SEL | RESERVED | IRQ\_DIG\_INT\_EN | RESERVED |
| r | r/w | r/w | r | r/w | r |

**位 31-11 RESERVED：**保留，不能修改。**位 10 NSS\_SEL：**RF TRX 的 nss 来源选择。

* 0：来自寄存器 LORAC\_NSS\_CR
* 1：来自 LORAC 的内部 SSP **位 9 SCK\_MOSI\_SEL：**RF TRX 的 sck/mosi/miso 来源选择。
* 0：来自 LORAC\_SCK\_CR，LORAC\_MOSI\_CR，LORA\_MISO\_SR
* 1：来自 LORAC 的内部 SSP **位 8 RESERVED：**保留，不能修改。

**位 7-5 IRQ\_DIG\_INT\_EN：**IRQ\_DIG\_INT 高电平中断使能, [5] 对应 IRQ\_DIG[0]，[6] 对应 IRQ\_DIG[1]，[7] 对应 IRQ\_DIG[2]。

* 0：不使能
* 1：使能**位 4-0 RESERVED：**保留，不能修改。

##### 12.4.12 LORAC\_CR1

偏移量：0x104 复位值：0x00000080

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **31-8** | **7** | **6** | **5** |
| RESERVED | POR\_BAT | RESERVED | NRESET\_BAT |
| r | r/w | r | r/w |
| **4-3** | **2** | **1** | **0** |
| RESERVED | CLK\_32M\_EN\_BAT | TCXO\_EN\_BAT | PWRTCXO\_EN\_BAT |
| r | r/w | r/w | r/w |

**位 31-8 RESERVED：**保留，不能修改。**位 7 POR\_BAT：**RF TRX 的 POR\_BAT 控制。

* 0：不复位
* 1：复位

**位 6 RESERVED：**保留，不能修改。

**位 5 NRESET\_BAT：**RF TRX 的 NRESET\_BAT 控制。

* 0：复位
* 1：不复位**位 4-3 RESERVED：**保留，不能修改。

**位 2 CLK\_32M\_EN\_BAT：**RF TRX 的 CLK\_32M\_EN\_BAT 控制。

* 0：不使能
* 1：使能

**位 1 TCXO\_EN\_BAT：**RF TRX 的 TCXO\_EN\_BAT 控制。

* 0：不使能
* 1：使能

**位 0 PWRTCXO\_EN\_BAT：**RF TRX 的 PWRTCXO\_EN\_BAT 控制。

* 0：不使能
* 1：使能

##### 12.4.13 LORAC\_SR

偏移量：0x108 复位值：0x00000100

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **31-9** | **8** | **7-5** | **4-2** | **1** | **0** |
| RESERVED | BUSY\_DIG\_SR | IRQ\_DIG\_SR | RESERVED | CLK\_32M\_RDY\_BAT  \_SR | RESERVED |
| r | r | r | r | r | r |

**位 31-9 RESERVED：**保留，不能修改。

**位 8 BUSY\_DIG\_SR：**BUSY\_DIG 状态位，用于指示 RF TRX 是否处于命令处理状态。硬件置 1 与清 0。

* 0：未进行命令处理
* 1：正在进行命令处理**位 7-5 IRQ\_DIG\_SR：**IRQ\_DIG 状态位，用于指示 RF TRX 的中断请求。硬件置 1 与清 0。需注意的是，需要向 RF TRX 发送 ClearIrqStatus 命令清除中断，不然中断请求会一直触发。
* 0：无中断
* 1：有中断**位 4-2 RESERVED：**保留，不能修改。

**位 1 CLK\_32M\_RDY\_BAT\_SR：**CLK\_32M\_RDY\_BAT 状态位，用于指示 RF TRX 的 XO32M 时钟是否建立。硬件置 1 与清 0。

* 0：未建立
* 1：已建立**位 0 RESERVED：**保留，不能修改。

##### 12.4.14 LORAC\_NSS\_CR

偏移量：0x10C 复位值：0x00000001

|  |  |
| --- | --- |
| **31-1** | **0** |
| RESERVED | REG\_NSS |
| r | r/w |

**位 31-1 RESERVED：**保留，不能修改。**位 0 REG\_NSS：**nss 的寄存器控制位。

* 0：nss 拉低
* 1：nss 拉高

##### 12.4.15 LORAC\_SCK\_CR

偏移量：0x110 复位值：0x00000000

|  |  |
| --- | --- |
| **31-1** | **0** |
| RESERVED | REG\_SCK |
| r | r/w |

**位 31-1 RESERVED：**保留，不能修改。**位 0 REG\_SCK：**sck 的寄存器控制位。

* 0：sck 拉低
* 1：sck 拉高

##### 12.4.16 LORAC\_MOSI\_CR

偏移量：0x114 复位值：0x00000000

|  |  |
| --- | --- |
| **31-1** | **0** |
| RESERVED | REG\_MOSI |
| r | r/w |

**位 31-1 RESERVED：**保留，不能修改。**位 0 REG\_MOSI：**mosi 的寄存器控制位。

* 0：mosi 拉低
* 1：mosi 拉高

##### 12.4.17 LORAC\_MISO\_SR

偏移量：0x118 复位值：0x00000000

|  |  |
| --- | --- |
| **31-1** | **0** |
| RESERVED | REG\_MISO |
| r | r |

**位 31-1 RESERVED：**保留，不能修改。

**位 0 REG\_MISO：**miso 状态位，指示 RF TRX 输出的 miso 状态。硬件置 1 与清 0。

* 0：低电平
* 1：高电平

### 13. 通用异步收发器 (UART)

#### 13.1 简介

支持 UART 和 IrDA 模式。

发送与接收的 FIFO 独立，深度 16，FIFO 水位可配置为 1/8、1/4、1/2、3/4 和 7/8，禁用 FIFO 相

当于 1 字符深度。16 位波特率除数整数部和 6 位波特率除数小数部。标准异步通信位，支持 5、 6、7和8位数据，支持奇偶校验，支持1个或者2个停止位。支持DMA，支持假开始位检测，支持 Line Break 产生与检测，支持硬件流控。

IrDA模式码率最高460800，Low-Power IrDA模式最高码率115200，半双工。支持 3/16和Low-

Power (1.41~2.23µs) 位长度。Low-Power IrDA 模式，通过 UARTCLK 分频近似产生位长度。

可通过 ID 寄存器唯一地识别每个 UART 端口。

**13.2 时钟复位**

每个 UART 都有独立的 APB 总线时钟和独立的 APB 总线复位。

#### 13.3 参考时钟

UARTCLK 的频率必须要满足波特率产生的要求：

***FUARTCLK(min) >= 16 x baudrate(max) F UARTCLK(max) <= 16 x 65535 x baudrate(min)***

例如，要产生介于 110 到 460800 之间的波特率，UARTCLK 的频率必须要介于 7.3728MHz 与

115.34MHz 之间。

同时，UARTCLK 不能大于 5/3 倍 PCLK：***FUARTCLK <= 5/3 \* FPCLK***

例如，UART 模式下，UARTCLK 为 14.7456MHz，要产生 921600 的波特率，那么 PCLK 必须大于等于 8.85276MHz。这保证了 UART 有足够的时间将接收的数据写入接收 FIFO。

#### 13.4 波特率发生器

波特率发生器包含产生内部 16 倍时钟的自由运行计数器，Baud16 和 IrLPBaud16。Baud16 为 UART 发送和接收控制提供时序信息，是一个宽度为 1 个 UARTCLK 周期的脉冲流，频率为 16 倍波特率。当运行在 Low-Power IrDA 模式时，IrLPBaud16 为 IrDA 编码发送比特流的脉冲宽度的产生提供时序信息。

##### 13.5 FIFO

发送与接收的 FIFO 独立，通过线控寄存器 UARTx\_LCR\_H{FEN} 选择开启或者关闭。发送 16 x 8，接收 16 x 12，接收 FIFO 每个字符有 4 个位的状态码，FIFO 水位可通过 FIFO 中断水位选择寄存器UARTx\_IFLS配置为 1/8、1/4、1/2、3/4和 7/8，当FIFO禁用时相当于深度1。FIFO 状态通过查询标志寄存器 UARTx\_FR 获取。接收FIFO的[10:8]位为错误位，指示相应的错误。第11位为Overrun位，指示Overrun错误。

###### 表 13-1 接收 FIFO 位功能描述

|  |  |
| --- | --- |
| FIFO Bit | 功能 |
| 11 | Overrun 错误 |
| 10 | Break 错误 |
| 9 | 奇偶校验错误 |
| 8 | 帧错误 |
| 7:0 | 被接收数据 |

##### 13.6 UART 方式

###### 13.6.1 波特率除数

波特率除数由 16 位的整数部和 6 位的小数部组成，整数部存入寄存器 UARTx\_IBRD，小数部存入寄存器 UARTx\_FBRD，这允许使用任何 > 3.6864MHz 的时钟作为 UARTCLK 以支持产生所有标准波特率，满足以下公式：

*Baud Rate Divisor = UARTCLK / (16 x BautRate) = BRDI + BRDF*

其中 BRDI 为整数部，BRDF 为小数部，以小数点隔开，如下所示：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 16-bit Integer Part | **.** | 6-bit Fractional Part |

6 位小数部的计算方法是，将波特率除数的小数部分乘以 64（ =2n, n 为 UARTx\_FBRD 寄存器的有效位宽度 6 ），考虑到舍入误差，再加上 0.5，公式如下：

***Fractional Part = BRDF x 2n + 0.5***

###### 13.6.2 数据发送

发送与接收的数据都保存在 16 字节的 FIFO 里面，接收 FIFO 每个字符另有 4 个状态标志位。

发送时，数据通过数据寄存器 UARTx\_DR 写入发送 FIFO。通过 UARTx\_CR{UARTEN} 使能 UART，通过线控寄存器 UARTx\_LCR\_H 的配置数据位、停止位、奇偶校验等参数，数据开始发送，直到 FIFO 为空。一旦数据写入发送 FIFO，BUSY 信号变高，并且当数据在发送的时候一直保持为高。只有当发送 FIFO 为空，并且位移寄存器的最后一个字符的 stop 位发送完，

BUSY 信号才会变低。当 UART 没有使能的时候，BUSY 信号也为高。

###### 13.6.3 数据接收

通过 UARTx\_CR{UARTEN}使能 UART，通过线控寄存器 UARTx\_LCR\_H 的配置数据位、停止位、奇偶校验等参数。

当接收为空闲，UARTRXD 拉低，Baud16 使能接收计数器开始计数，UART 模式在第 8 个计数周期开始采样。IrDA 模式在第 4 个计数周期开始采样，以允许更短的逻辑 0 脉冲。

若 UARTRXD 在第 8 个计数周期仍保持为低，那么有效的 start 位被检测到，否则判定为假 start，并且被忽略。

若start位有效，接着每16个Baud16周期进行一次数据采样，长度由UARTx\_LCR\_H{WLEN} 决定。如果使能了奇偶校验，会进行奇偶校验位的比对。

最后，当 UARTRXD 变高，有效的 stop 位被确认到，否则发生帧错误。完整接收的字符与错误位一起被存入接收 FIFO。

##### 13.7 IrDA SIR 方式

IrDA SIR ENDEC 提供了在 UART 数据流和半双工串行 SIR 接口之间转换的功能，将数据从

UART 编码输出和解码输入到 UART，有两种模式：

* **IrDA模式**，逻辑0电平被转换为高电平脉冲，宽度为nSIROUT波特率比特周期的 3/16，逻辑 1 电平被转换为低电平。
* **Low-Power IrDA模式**，发送的高电平脉冲宽度为内部IrLPBaud16周期的3倍（1.63us，假定名义频率为 1.842MHz）。

IrDA SIR 物理层为半双工的通信链接，发送与接收之间切换至少要保持 10ms 的延时。这个延

时必须由软件完成，因为 UART 不支持自动延时。这是必须的，因为红外接收端可能会有偏差。

###### 13.7.1 低功耗除数

IrLPBAUD16 由 UARTCLK 分频产生，分频系数通过 UARTx\_ILPR{ ILPDVSR } 配置。

***Low-Power Divider = (FUARTCLK / FIrLPBAUD16)***

FIrLPBAUD16 名义上为 1.8432MHz，满足 **1.42MHz < FIrLPBAUD16 < 2.12MHz** 的要求。

###### 13.7.2 IrDA SIR 发送编码器

SIR 发送编码器将 UART 输出的 NRZ（Non Return-to-Zero）发送比特流进行调制。IrDA 物理层使用 RZI（Return-to-Zero Inverted）调制模式，把逻辑 0 转换为一个红外光脉冲。调制的输出脉冲流被传送到外部的输出驱动和红外发光二极管。

在 IrDA 模式，发送的脉冲宽度为 Baud16 周期的 3 倍，即 3/16 比特周期。

在Low-Power IrDA模式，被传输的脉冲宽度为115200波特率比特周期的 3/16。即为1.842MHz 时钟 IrLPBaud16 周期的三倍。

如果使用了小数波特率除数，发送的 SIR 脉冲流会包含更多的抖动，这是因为使用了小数波特率除数后，不能产生一个规律间隔的Baud16脉冲，这些Baud16周期包含了不同的UARTCLK 周期数。最坏的情况下，导致 SIR 脉冲流的抖动可以达到 3 个 UARTCLK 周期。只要 UARTCLK > 3.6864MHz，且 IrDA 的波特率小于 115200，抖动 < 9%，这满足 SIR IrDA 抖动小于 13%的要求。

###### 13.7.3 IrDA SIR 接收解码器

SIR 接收解码器从红外接收器解调 Return-to-Zero 比特流，输出接收到的 NRZ 串行比特流到 UART 接收输入。正常情况下，在空闲状态接收的解码器的输入为高，发送的编码器的输出与解码器输入的极性相反。

当接收的解码器输入为低则 start 位被检测到。

为防止 UART 响应接收数据输入的毛刺，在 IrDA 模式，SIRIN 上小于 Buad16 的 3/16 的脉冲会被忽略；在 Low-Power IrDA 模式，SIRIN 上小于 IrLPBuad16 的 3/16 的脉冲会被忽略。

##### 13.8 UART 字符帧结构

UART

字符帧

结构如下图所示

：

**图**

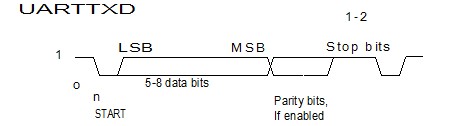
**13**

**-**

**1**

**UART**

**字符帧**



##### 13.9 IrDA 数据调制

下图展示

了

I

rDA

3

/

16

数据

调制的效果

：

**图**

**13**

**-**

**2**

**IrDA**

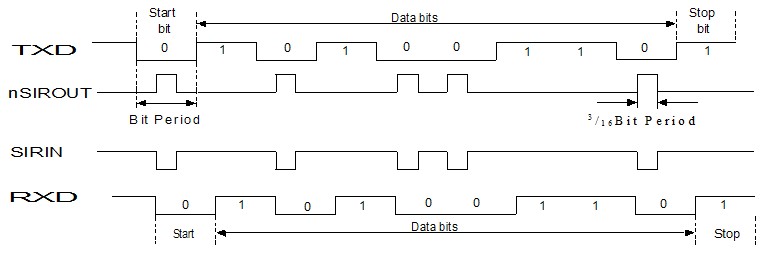
**数据调制（**

**3**

**/**

**16**

**）**



##### 13.10 硬件流控

硬件流控可以通过 UARTx\_CR{CTSEn}和 UARTx\_CR{RTSEn}配置。当 RTS 功能被使能，且接收 FIFO 水位未满，则 nUARTRTS 信号一直有效。

当 CTS 功能被使能，只有 nUARTCTS 信号有效，且发送 FIFO 不为空才会进行传输。

##### 13.11 中断

支持 Tx Done、Rx Done、Rx Timeout、Frame Error、Break Error、Parity Error 和 Overrun

Error 中断，可以通过中断掩码设置清除寄存器 UARTx\_IMSC 配置。所有中断信号可以通过原始中断状态寄存器 UARTx\_RIS 查询到，包括未使能的中断位。通过掩码中断寄存器 UARTx\_MIS 查询当前已使能的中断，通过中断清除寄存器 UARTx\_ICR 写 1 清除相应中断。

**13.12 DMA**

支持 DMA 发送与接收，通过 UARTx\_DMACR 开启或者关闭。

##### 13.13 UART 相关寄存器描述

UART0 基地址：0x40003000

UART1 基地址：0x40004000

UART2 基地址：0x40010000

UART3 基地址：0x40011000

**表 13-2 UART 寄存器列表**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 寄存器 | 偏移量 | 描述 |
| UARTx\_DR | 0x00 | 数据寄存器 |
| UARTx\_RSR\_ECR | 0x04 | 接收状态寄存器/错误清除寄存器 |
| UARTx\_RSV0[4] | 0x08 | 4 x 4 字节保留 |
| UARTx\_FR | 0x18 | 标志寄存器 |
| UARTx\_RSV1 | 0x1C | 4 字节保留 |
| UARTx\_ILPR | 0x20 | 红外低功耗计数寄存器 |
| UARTx\_IBRD | 0x24 | 波特率整数寄存器 |
| UARTx\_FBRD | 0x28 | 波特率小数寄存器 |
| UARTx\_LCR\_H | 0x2C | 线控寄存器 |
| UARTx\_CR | 0x30 | 控制寄存器 |
| UARTx\_IFLS | 0x34 | 中断 FIFO 水位选择寄存器 |
| UARTx\_IMSC | 0x38 | 中断掩码设置/清除寄存器 |
| UARTx\_RIS | 0x3C | 原始中断状态寄存器 |
| UARTx\_MIS | 0x40 | 被掩中断状态寄存器 |
| UARTx\_ICR | 0x44 | 中断清除寄存器 |
| UARTx\_DMACR | 0x48 | DMA 控制寄存器 |
| UARTx\_RSV2[997] | 0x4C | 4 x 997 字节保留 |

###### 13.13.1 UARTx\_DR (x=0, 1, 2, 3)

偏移量：0x00

复位值：0x00000000

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **31-12** | **11** | **10** | **9** | **8** | **7-0** |
| RESERVED | OE | BE | PE | FE | DATA |
| r-0h | r-0h | r-0h | r-0h | r-0h | rw-0h |

**位 31-12 RESERVED：**保留，不可更改。

**位 11 OE：**溢出错误标志。

* 0：无溢出
* 1：发生溢出

**位 10 BE：**Break 错误标志。

* 0：未发生 Break 错误
* 1：发生 Break 错误接收数据的输入被拉低超过1个整字（=开始位+数据+奇偶校验位+停止位）的传输时间长度为Break错误。

FIFO 模式，该错误与 FIFO 顶部的字符相关。当 Break 错误产生时，只有一个 0 字符会被写入 FIFO。

**位 9 PE：**奇偶校验错误标志。

* 0：未发生奇偶校验错误
* 1：发生奇偶校验错误接收字符的奇偶校验位与 UARTx\_LCR\_H {EPS} 不匹配则产生奇偶校验错误。

FIFO 模式，该错误与 FIFO 顶部的字符相关。

**位 8 FE：**帧错误标志。

* 0：未发生帧错误
* 1：发生帧错误错误表示收到的字符停止位无效。

FIFO 模式，该错误与 FIFO 顶部的字符相关。**位 7-0 DATA：**发送数据字符/接收数据字符。

###### 13.13.2 UARTx\_RSR\_ECR (x=0, 1, 2, 3)

偏移量：0x04

复位值：0x00000000

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **31-4** | **3** | **2** | **1** | **0** |
| RESERVED | OE | BE | PE | FE |
| r-0h | r-0h | r-0h | r-0h | r-0h |

**位 31-4 RESERVED：**保留，不可更改。

**位 3 OE：**溢出错误标志。

* 0：无溢出
* 1：发生溢出。

**位 2 BE：**Break 错误标志。

* 0：未发生 Break 错误
* 1：发生 Break 错误

接收数据的输入被拉低超过 1 个整字（=开始位+数据+奇偶校验位+停止位）的传输时间长度为 Break 错误。

FIFO 模式，该错误与 FIFO 顶部的字符相关。当 Break 错误产生时，只有一个 0 字符会被写入 FIFO。

**位 1 PE：**奇偶校验错误标志。

* 0：未发生奇偶校验错误
* 1：发生奇偶校验错误

接收字符的奇偶校验位与 UARTx\_LCR\_H {EPS} 不匹配则产生奇偶校验错误。

FIFO 模式，该错误与 FIFO 顶部的字符相关。

**位 0 FE：**帧错误标志。

* 0：未发生帧错误帧
* 1：发生帧错误错误表示收到的字符停止位无效。

FIFO 模式，该错误与 FIFO 顶部的字符相关。

13.13.3 UARTx\_FR (x=0, 1, 2, 3)

偏移量：0x18 复位值：0x00000000

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **31-8** | **7** | **6** | **5** | **4** | **3** | **2-0** |
| RESERVED | TXFE | RXFF | TXFF | RXFE | BUSY | RESERVED |
| r-0h | r-0h | r-0h | r-0h | r-0h | r-0h | r-0h |

**位 31-8 RESERVED：**保留，不可更改。**位 7 TXFE：**发送 FIFO 空。

* 0：发送 FIFO/数据寄存器不为空
* 1：发送 FIFO/数据寄存器为空与 UARTx\_LCR\_H{FEN} 位相关，该位不能用于指示发送位移寄存器中是否有数据。

**位 6 RXFF：**接收 FIFO 满。

* 0：接收 FIFO/数据寄存器未满
* 1：接收 FIFO/数据寄存器满

与 UARTx\_LCR\_H{FEN} 位相关。**位 5 TXFF：**发送 FIFO 满。

* 0：发送 FIFO/数据寄存器未满
* 1：发送 FIFO/数据寄存器满

与 UARTx\_LCR\_H{FEN} 位相关。

**位 4 RXFE：**接收 FIFO 空标志。

* 0：接收 FIFO/数据寄存器不为空
* 1：接收 FIFO/数据寄存器为空与 UARTx\_LCR\_H{FEN} 位相关。

**位 3 BUSY：**忙标志。

* 0：无数据发送
* 1：正在发送数据该位在发送 FIFO 变为非空状态马上置 1，不论 UART 是否使能。

**位 2-0 RESERVED：**保留，不可更改。

13.13.4 UARTx\_ILPR (x=0, 1, 2, 3)

偏移量：0x20 复位值：0x00000000

|  |  |
| --- | --- |
| **31-8** | **7-0** |
| RESERVED | ILPDVSR |
| r-0h | rw-0h |

**位 31-8 RESERVED：**保留，不可更改。

**位 7-0 ILPDVSR：**低功耗除数值，0 为非法值，写入 0 将导致无 IrLPBaud16 产生。

13.13.5 UARTx\_IBRD (x=0, 1, 2, 3)

偏移量：0x24 复位值：0x00000000

|  |  |
| --- | --- |
| **31-16** | **15-0** |
| RESERVED | BAUD\_DIVINT |
| r-0h | rw-0h |

**位 31-16 RESERVED：**保留，不可更改。

**位 15-0 BAUD\_DIVINT：**波特率除数整数部。

13.13.6 UARTx\_FBRD (x=0, 1, 2, 3)

偏移量：0x28 复位值：0x00000000

|  |  |
| --- | --- |
| **31-6** | **5-0** |
| RESERVED | BAUD\_DIVFRAC |
| r-0h | rw-0h |

**位 31-6 RESERVED：**保留，不可更改。**位 5-0 BAUD\_DIVFRAC：**波特率除数小数部。

13.13.7 UARTx\_LCR\_H (x=0, 1, 2, 3)

偏移量：0x2C

复位值：0x00000000

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **31-7** | **6-5** | **4** | **3** | **2** | **1** | **0** |
| RESERVED | WLEN | FEN | STP2 | EPS | PEN | BRK |
| r-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h |

**位 31-7 RESERVED：**保留，不可更改。

**位 6-5 WLEN：**数据位长度。

* 00：5 位
* 01：6 位
* 10：7 位
* 11：8 位**位 4 FEN：**FIFO 使能。
* 0：禁用 FIFO 模式
* 1：使能 FIFO 模式**位 3 STP2：**停止位选择。
* 0：1 个停止位
* 1：2 个停止位**位 2 EPS：**偶校验位选择。
* 0：奇校验
* 1：偶校验当 PEN 为 0 时该位无效。**位 1 PEN：**奇偶校验使能。
* 0：禁用奇偶校验功能
* 1：使能奇偶校验功能，发送产生奇偶校验位，接收检查奇偶校验位**位 0 BRK：**发送 Break。
* 写 0：结束 Break 命令
* 写 1：当前字符发送完成后，UART\_TXD 引脚一直拉低为确保 Break 命令的执行，软件必须至少保持该位被设置超过 2 个完整的帧长度。

13.13.8 UARTx\_CR (x=0, 1, 2, 3)

偏移量：0x30 复位值：0x00000000

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **31-24** | | **23-16** | **15** | **14** | **13-10** |
| RESERVED | | RESERVED | CTSEn | RTSEn | RESERVED |
| r-0h | | r-0h | rw-0h | rw-0h | r-0h |
| **9** | **8** | **7-3** | **2** | **1** | **0** |
| RXE | TXE | RESERVED | SIRLP | SIREN | UARTEN |
| rw-0h | rw-0h | r-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h |

**位 31-16 RESERVED：**保留，不可更改。**位 15 CTSEn：**硬件 CTS 流控使能。

* 0：关闭硬件 CTS 流控
* 1：开启硬件 CTS 流控**位 14 RTSEn：**硬件 RTS 流控使能。
* 0：关闭硬件 RTS 流控
* 1：开启硬件 RTS 流控**位 13-10 RESERVED：**保留，不可更改。

**位 9 RXE：**接收使能。

* 写 0：禁止接收，若当前正在接收数据，将在这一帧数据接收完成后停止
* 写 1：使能接收**位 8 TXE：**发送使能。
* 写 0：禁止发送，若当前有数据在发送，将在这一帧数据发送完成后停止
* 写 1：使能发送**位 7-3 RESERVED：**保留，不可更改。**位 2 SIRLP：**Low-Power IrDA 使能。
* 0：低电平位以 3/16比特周期的脉冲宽度传输。
* 1：低电平位以 3 倍 IrLPBAUD16 周期的脉冲宽度来传输，有利于降低功耗，但是也会缩短传输距离。**位 1 SIRE：**IrDA 使能。
* 0：关闭 IrDA SIR ENDEC，SIR\_OUT 保持低，SIR\_IN 被忽略。数据在 UART\_TXD 和 UART\_RXD 上传输。
* 1：开启 IrDA SIR ENDEC，UART\_TXD 保持高，UART\_RXD 被忽略。数据在 SIR\_OUT 和 SIR\_IN 上传输。

若 UARTEN 位为 0，该位无效。**位 0 UARTEN：**串口使能。

* 写 0：关闭 UART 功能，若当前有数据在发送或者接收，将在这一帧数据传输完成后再关闭 UART。  写 1：使能 UART 功能

13.13.9 UARTx\_IFLS (x=0, 1, 2, 3)

偏移量：0x34 复位值：0x00000000

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **31-6** | **5-3** | **2-0** |
| RESERVED | RXIFLSEL | TXIFLSEL |
| r-0h | rw-0h | rw-0h |

**位 31-6 RESERVED：**保留，不可更改。**位 5-3 RXIFLSEL：**接收 FIFO 中断水位选择。

* 000：接收 FIFO 水位≥1/8
* 001：接收 FIFO 水位≥1/4
* 010：接收 FIFO 水位≥1/2
* 011：接收 FIFO 水位≥3/4
* 100：接收 FIFO 水位≥7/8
* 101~111：保留**位 2-0 TXIFLSEL：**发送 FIFO 中断水位选择。
* 000：发送 FIFO 水位≥1/8
* 001：发送 FIFO 水位≥1/4
* 010：发送 FIFO 水位≥1/2
* 011：发送 FIFO 水位≥3/4
* 100：发送 FIFO 水位≥7/8
* 101~111：保留

13.13.10 UARTx\_IMSC (x=0, 1, 2, 3)

偏移量：0x38 复位值：0x00000000

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **31-16** | **15-11** | **10** | **9** | **8** | **7** | **6** | **5** | **4** | **3-0** |
| RESERVED | RESERVED | OEIM | BEIM | PEIM | FEIM | RTIM | TXIM | RXIM | RESERVED |
| r-0h | r-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h | r-0h |

**位 31-11 RESERVED：**保留，不可更改。**位 10 OEIM：**Overrun 错误中断掩码。

* 0：禁用 Overrun 错误中断
* 1：使能 Overrun 错误中断**位 9 BEIM：**Break 错误中断掩码。
* 0：禁用 Break 错误中断
* 1：使能 Break 错误中断**位 8 PEIM：**校验错误中断掩码。
* 0：禁用校验错误中断
* 1：使能校验错误中断**位 7 FEIM：**帧错误中断掩码。
* 0：禁用帧错误中断
* 1：使能帧错误中断**位 6 RTIM：**接收超时中断掩码。
* 0：禁用接收超时中断
* 1：使能接收超时中断**位 5 TXIM：**发送完成中断掩码。
* 0：禁用发送完成中断
* 1：使能发送完成中断**位 4 RXIM：**接收完成中断掩码。
* 0：禁用接收完成中断
* 1：使能接收完成中断

**位 3-0 RESERVED：**保留，不可更改。

13.13.11 UARTx\_RIS (x=0, 1, 2, 3)

偏移量：0x3C

复位值：0x00000000

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **31-16** | **15-11** | **10** | **9** | **8** | **7** | **6** | **5** | **4** | **3-0** |
| RESERVED | RESERVED | OERIS | BERIS | PERIS | FERIS | RTRIS | TXRIS | RXRIS | RESERVED |
| r-0h | r-0h | r-0h | r-0h | r-0h | r-0h | r-0h | r-0h | r-0h | r-0h |

**位 31-11 RESERVED：**保留，不可更改。

**位 10 OERIS：**Overrun 错误原始中断状态。

**位 9 BERIS：**Break 错误原始中断状态。

**位 8 PERIS：**校验错误原始中断状态。

**位 7 FERIS：**帧错误原始中断状态。

**位 6 RTRIS：**接收超时原始中断状态。**位 5 TXRIS：**发送完成原始中断状态。**位 4 RXRIS：**接收完成原始中断状态。**位 3-0 RESERVED：**保留，不可更改。

13.13.12 UARTx\_MIS (x=0, 1, 2, 3)

偏移量：0x40 复位值：0x00000000

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **31-16** | **15-11** | **10** | **9** | **8** | **7** | **6** | **5** | **4** | **3-0** |
| RESERVED | RESERVED | OEMIS | BEMIS | PEMIS | FEMIS | RTMIS | TXMIS | RXMIS | RESERVED |
| r-0h | r-0h | r-0h | r-0h | r-0h | r-0h | r-0h | r-0h | r-0h | r-0h |

**位 31-11 RESERVED：**保留，不可更改。**位 10 OEMIS：**Overrun 错误中断状态。 **位 9 BEMIS：**Break 错误中断状态。**位 8 PEMIS：**校验错误中断状态。**位 7 FEMIS：**帧错误中断状态。**位 6 RTMIS：**接收超时中断状态。**位 5 TXMIS：**发送完成中断状态。**位 4 RXMIS：**接收完成中断状态。

**位 3-0 RESERVED：**保留，不可更改。

13.13.13 UARTx\_ICR (x=0, 1, 2, 3)

偏移量：0x44 复位值：0x00000000

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **31-16** | **15-11** | **10** | **9** | **8** | **7** | **6** | **5** | **4** | **3-0** |
| RESERVED | RESERVED | OEIC | BEIC | PEIC | FEIC | RTIC | TXIC | RXIC | RESERVED |
| r-0h | r-0h | w-0h | w-0h | w-0h | w-0h | w-0h | w-0h | w-0h | r-0h |

**位 31-11 RESERVED：**保留，不可更改。**位 10 OEIC：**Overrun 错误中断清除。

* 写 0：无效
* 写 1：清除 overrun 中断**位 9 BEIC：**Break 错误中断清除。
* 写 0：无效
* 写 1：清除 Break 错误中断**位 8 PEIC：**校验错误中断清除。
* 写 0：无效
* 写 1：清除校验错误中断**位 7 FEIC：**帧错误中断清除。
* 写 0：无效
* 写 1：清除帧错误中断

**位 6 RTIC：**接收超时中断清除。

* 写 0：无效
* 写 1：清除接收超时中断**位 5 TXIC：**发送完成中断清除。
* 写 0：无效
* 写 1：清除发送完成中断**位 4 RXIC：**接收完成中断清除。
* 写 0：无效
* 写 1：清除接收完成中断**位 3-0 RESERVED：**保留，不可更改。

###### 13.13.14 UARTx\_DMACR (x=0, 1, 2, 3)

偏移量：0x48 复位值：0x00000000

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **31-3** | **2** | **1** | **0** |
| RESERVED | DMAONERR | TXDMAE | RXDMAE |
| r-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h |

**位 31-3 RESERVED：**保留，不可更改。**位 2 DMAONERR：**DMA 错误。**位 1 TXDMAE：**发送 DMA 使能。

* 0：关闭发送 DMA 功能
* 1：开启发送 DMA 功能**位 0 RXDMAE：**接收 DMA 使能。
* 0：关闭接收 DMA 功能
* 1：开启接收 DMA 功能

13.13.15 UARTx\_ID[8] (x=0, 1, 2, 3)

13.13.15.1 PeriphID0

偏移量：0x0FE0 复位值：0x00000000

|  |  |
| --- | --- |
| **31-8** | **7-0** |
| RESERVED | PARTNUMBER0 |
| r-0h | r-11h |

**位 31-8 RESERVED：**保留，不可更改。**位 7-0 PARTNUMBER0：**=0x11

13.13.15.2 PeriphID1

偏移量：0x0FE4 复位值：0x00000000

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **31-8** | **7-4** | **3-0** |
| RESERVED | DESIGNER0 | PARTNUMBER1 |
| r-0h | r-1h | r-0h |

**位 31-8 RESERVED：**保留，不可更改。

**位 7-4 DESIGNER0：**=0x1 **位 3-0 PARTNUMBER1：**=0x0

13.13.15.3 PeriphID2

偏移量：0x0FE8 复位值：0x00000000

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **31-8** | **7-4** | **3-0** |
| RESERVED | REVISION0 | DESIGNER1 |
| r-0h | r-xh | r-0h |

**位 31-8 RESERVED：**保留，不可更改**位 7-4 REVISION0：**

* 0x0：r1p0
* 0x1：r1p1
* 0x2：r1p3/r1p4
* 0x3：r1p5 **位 3-0 DESIGNER1：**=0x0

13.13.15.4 PeriphID3

偏移量：0x0FEC 复位值：0x00000000

|  |  |
| --- | --- |
| **31-8** | **7-0** |
| RESERVED | CONFIGURATION |
| r-0h | r-0h |

**位 31-8** **RESERVED：**保留，不可更改。

**位 7-0** **CONFIGURATION：**=0x00

13.13.15.5 PCellID0

偏移量：0x0FD0 复位值：0x00000000

|  |  |
| --- | --- |
| **31-8** | **7-0** |
| RESERVED | CellID0 |
| r-0h | r-dh |

**位 31-8** **RESERVED：**保留，不可更改。

**位 7-0 CellID0：**=0x0d

13.13.15.6 PCellID1

偏移量：0x0FD4 复位值：0x00000000

|  |  |
| --- | --- |
| **31-8** | **7-0** |
| RESERVED | CellID1 |
| r-0h | r-f0h |

**位 31-8** **RESERVED：**保留，不可更改。

**位 7-0** **CellID1：**=0xf0

13.13.15.7 PCellID2

偏移量：0x0FD8 复位值：0x00000000

|  |  |
| --- | --- |
| **31-8** | **7-0** |
| RESERVED | CellID2 |
| r-0h | r-5h |

**位 31-8 RESERVED：**保留，不可更改。

**位 7-0** **CellID2：**=0x05

13.13.15.8 PCellID3

偏移量：0x0FDC 复位值：0x00000000

|  |  |
| --- | --- |
| **31-8** | **7-0** |
| RESERVED | CellID3 |
| r-0h | r-b1h |

**位 31-8** **RESERVED：**保留，不可更改。

**位 7-0** **CellID3：**=0xb1

### 14. 同步串行端口 (SSP)

#### 14.1 简介

SSP（Synchronous serial port）是一种同步串行接口，支持 MASTER 和 SLAVE 模式。

SSP 支持多种帧格式，并且可以根据需要配置数据宽度和输出速率。

#### 14.2 主要特性

* 支持 MASTER 和 SLAVE 模式的配置
* 最大支持 16MHz 输出
* 支持 16-bit 宽，深度为 8 的 TX/RX FIFO
* 支持多种帧格式
* 支持 4-16 bit 数据宽度
* 支持 DMA 请求
* 支持中断请求

#### 14.3 功能描述

##### 14.3.1 基础说明

SSP 主要有 4 个 pin：SSP\_NSS，SSP\_CLK，SSP\_TX 和 SSP\_RX。

1. **SSP\_NSS**

SSP 片选信号，低有效。

1. **SSP\_CLK**

SSP 时钟信号，对 MASTER 模式来说是时钟输出，对 SLAVE 模式来说是时钟输入。

1. **SSP\_TX**

SSP 发送信号，无论 MASTER 模式还是 SLAVE 模式，均为发送 pin。

###### 4. SSP\_RX

SSP 接收信号，无论 MASTER 模式还是 SLAVE 模式，均为接收 pin。

SSP 与 SPI 设备的连接如下图，需注意 SSP\_TX/SSP\_RX 与 SPI\_MOSI/SPI\_MISO 的不同。

SSP Master

SPI Slave

SSP

\_

TX

SPI

\_

MISO

SPI

\_

MOSI

SSP

\_

RX

SSP

\_

CLK

SPI

\_

CLK

SSP

\_

NSS

SPI

\_

NSS

**图**

**14**

**-**

**1**

**SSP master**

**与**

**SPI slave**

**之间的连接**

SPI Master

SSP Slave

SPI

\_

MOSI

SSP

\_

TX

SSP

\_

RX

SPI

\_

MISO

SSP

\_

CLK

SPI

\_

CLK

SSP

\_

NSS

SPI

\_

NSS

**图**

**14**

**-**

**2**

**SPI Master**

**与**

**SSP Slave**

**之间的连接**

##### 14.3.2 时钟分频

SSP 时钟约束条件：

1. 最大支持的输出时钟为 16MHz
2. MASTER 模式下时钟最大为 PCLK 的 1/2
3. SLAVE 模式下时钟最大为 PCLK 的 1/12

MASTER 模式下时钟输出的公式如下：



###### 图 14-3 MASTER 模式下时钟输出的公式

SSPCLK 为 SSP 的接口时钟，SSPCLKOUT 为 SSP 的输出时钟。以默认 24MHz 为例，如果要输出 1MHz 的时钟，设置 CPSDVR 为 2，设置 SCR 为 11。

##### 14.3.3 数据格式

SSP 支持 3 种帧格式：

* Motorola SPI
* Texas Instruments SPI
* National Semiconductor Microwire

##### 14.3.4 DMA 传输

###### SSP DMA 发送过程：

1. 将寄存器 SSP\_DMACR 中的 TXDMAE 位配置为使能；
2. 将寄存器 SSP\_DR 地址配置为 DMA 的目的地址；
3. 将发送数据的内存地址配置为 DMA 的源地址；
4. 配置 DMA 的 SRC\_TR\_WIDTH 和 DES\_TR\_WIDTH 为 0（数据位宽为 8bit）；
5. 配置 DMA 的 SRC\_MSIZE 和 DEST\_MSIZE 为 1（burst length 为 4）；
6. 配置 DMA 的数据传输总长度；
7. 配置DMA的handshake类型为对应SSP的TX类型（如SSP0为DMA\_HANDSHAKE\_ SSP\_0\_TX）；
8. 激活 DMA 通道。当 DMA 传输完成后，会将 DMA\_CHENREG 寄存器的 CH\_EN\_x 位清 0。

###### SSP DMA 接收过程：

1. 将寄存器 SSP\_DMACR 中的 RXDMAE 位配置为使能；
2. 将寄存器 SSP\_DR 地址配置为 DMA 的源地址；
3. 将数据接收的内存地址配置为 DMA 的目的地址；
4. 配置 DMA 的 SRC\_TR\_WIDTH 和 DES\_TR\_WIDTH 为 0（数据位宽为 8bit）；
5. 配置 DMA 的 SRC\_MSIZE 和 DEST\_MSIZE 为 1（burst length 为 4）；
6. 配置 DMA 的数据传输总长度；
7. 配置DMA的handshake类型为对应SSP的RX类型（如SSP0为DMA\_HANDSHAKE\_ SSP\_0\_RX）；
8. 激活 DMA 通道。

当 DMA 传输完成后，会将 DMA\_CHENREG 寄存器的 CH\_EN\_x 位清 0。

##### 14.3.5 中断信号

SSP 主要有四个中断：SSP RX 中断，SSP TX 中断，SSP RX OVERRUN 中断和 SSP RX TIMEOUT。

1. **SSP RX 中断**当 SSP RX FIFO 中有大于等于 4 个数据时触发。
2. **SSP TX 中断**当 SSP TX FIFO 中有小于等于 4 个数据时触发。
3. **SSP RX Overrun 中断**

当 SSP RX FIFO 已满，继续收到数据时触发。

1. **SSP RX Timeout 中断**

当 SSP RX FIFO 不为空，但是 SSP 在 32bit 传输周期中未继续收到数据时触发。

#### 14.4 SSP 相关寄存器描述

SSP0 寄存器基地址：0x40006000

SSP1 寄存器基地址：0x40012000

SSP2 寄存器基地址：0x40013000

**表 14-1 SSP 寄存器列表**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 寄存器 | 偏移量 | 描述 |
| SSP\_CR0 | 0x00 | 控制寄存器 0 |
| SSP\_CR1 | 0x04 | 控制寄存器 1 |
| SSP\_DR | 0x08 | 数据寄存器 |
| SSP\_SR | 0x0C | 状态寄存器 |
| SSP\_CPSR | 0x10 | 时钟分频寄存器 |
| SSP\_IMSC | 0x14 | 中断设置寄存器 |
| SSP\_RIS | 0x18 | 原始中断状态寄存器 |
| SSP\_MIS | 0x1C | 屏蔽中断状态寄存器 |
| SSP\_ICR | 0x20 | 中断清除寄存器 |
| SSP\_DMACR | 0x24 | DMA 控制寄存器 |

##### 14.4.1 SSP\_CR0

偏移量：0x00

复位值：0x00000000

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **31-16** | **15-8** | **7** | **6** | **5-4** | **3-0** |
| RESERVED | SCR | SPH | SPO | FRF | DSS |
| r | r/w | r/w | r/w | r/w | r/w |

**位 31-16 RESERVED：**保留，不能修改。**位 15-8 SCR：**串行时钟速率，用于设置 SSP 传输的数据速率。



SSP 的数据速率计算公式如上，其中 CPSDVR 是取值 2 到 254 的偶数。**位 7 SPH：**SSP 相位设置，仅应用于 Motorola SPI 格式。**位 6 SPO：**SSP 极性设置，仅应用于 Motorola SPI 格式。

**位 5-4 FRF：**SSP 帧格式设置。

* 0：Motorola SPI 格式
* 1：Texas Instruments SPI 格式
* 2：National Semiconductor Microwire 格式
* 3：保留**位 3-0 DSS：**数据位宽设置。
* 0：保留
* 1：保留
* 2：保留
* 3：4 bit  4：5 bit  5：6 bit  6：7 bit  7：8 bit  8：9 bit
* 9：10 bit
* 10：11 bit  11：12 bit
* 12：13 bit  13：14 bit  14：15 bit
* 15：16 bit

##### 14.4.2 SSP\_CR1

偏移量：0x04

复位值：0x00000000

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **31-4** | **3** | **2** | **1** | **0** |
| RESERVED | SOD | MS | SSE | LBM |
| r | r/w | r/w | r/w | r/w |

**位 31-4 RESERVED：**保留，不能修改。**位 3 SOD：**从模式输出禁止。

* 0：从模式下，SSP 可以输出
* 1：从模式下，SSP 不可输出**位 2 MS：**主从模式选择。
* 0：主模式
* 1：从模式**位 1 SSE：**SSP 使能。
* 0：不使能
* 1：使能**位 0 LBM：**回环模式。
* 0：正常模式
* 1：回环模式

##### 14.4.3 SSP\_DR

偏移量：0x08 复位值：0x00000000

|  |  |
| --- | --- |
| **31-16** | **15-0** |
| RESERVED | DATA |
| r | r/w |

**位 31-16 RESERVED：**保留，不能修改。**位 15-0 DATA：**SSP TX/RX 数据。

##### 14.4.4 SSP\_SR

偏移量：0x0C

复位值：0x00000003

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **31-5** | **4** | **3** | **2** | **1** | **0** |
| RESERVED | BSY | RFF | RNE | TNF | TFE |
| r | r | r | r | r | r |

**位 31-5 RESERVED：**保留，不能修改。

**位 4 BSY：**SSP 忙标识。

* 0：SSP 空闲
* 1：SSP 正在传输中**位 3 RFF：**RX FIFO 满标识。
* 0：RX FIFO 未满
* 1：RX FIFO 满**位 2 RNE：**RX FIFO 非空标识。
* 0：RX FIFO 为空
* 1：RX FIFO 不为空**位 1 TNF：**TX FIFO 非满标识。
* 0：TX FIFO 满
* 1：TX FIFO 未满**位 0 TFE：**TX FIFO 空标识。
* 0：TX FIFO 不为空
* 1：TX FIFO 为空

##### 14.4.5 SSP\_CPSR

偏移量：0x0C

复位值：0x00000000

|  |  |
| --- | --- |
| **31-8** | **7-0** |
| RESERVED | CPSDVSR |
| r | r/w |

**位 31-8 RESERVED：**保留，不能修改。

**位 7-0 CPSDVSR：**时钟分频因子，必须为 2-254 之间的偶数。

###### 14.4.6 SSP\_IMSC

偏移量：0x00

复位值：0x00000000

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **31-4** | **3** | **2** | **1** | **0** |
| RESERVED | TXIM | RXIM | RTIM | RORIM |
| r | r/w | r/w | r/w | r/w |

**位 31-4 RESERVED：**保留，不能修改。**位 3 TXIM：**TX 中断屏蔽位。

* 0：不允许产生 TX 中断
* 1：允许产生 TX 中断**位 2 RXIM：**RX 中断屏蔽位。
* 0：不允许产生 RX 中断
* 1：允许产生 RX 中断**位 1 RTIM：**RX TIMEOUT 中断屏蔽位。
* 0：不允许产生 RX TIMEOUT 中断
* 1：允许产生 RX TIMEOUT 中断**位 0 RORIM：**RX OVERRUN 中断屏蔽位。
* 0：不允许产生 RX OVERRUN 中断
* 1：允许产生 RX OVERRUN 中断

##### 14.4.7 SSP\_RIS

偏移量：0x00 复位值：0x00000008

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **31-4** | **3** | **2** | **1** | **0** |
| RESERVED | TXRIS | RXRIS | RTRIS | RORRIS |
| r | r | r | r | r |

**位 31-4 RESERVED：**保留，不能修改。**位 3 TXRIS：**TX 原始中断状态。**位 2 RXRIS：**RX 原始中断状态。**位 1 RTRIS：**RX TIMEOUT 原始中断状态。**位 0 RORRIS：**RX OVERRUN 原始中断状态。

##### 14.4.8 SSP\_MIS

偏移量：0x00

复位值：0x00000000

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **31-4** | **3** | **2** | **1** | **0** |
| RESERVED | TXMIS | RXMIS | RTMIS | RORMIS |
| r | r | r | r | r |

**位 31-4 RESERVED：**保留，不能修改。**位 3 TXMIS：**TX 屏蔽中断状态。**位 2 RXMIS：**RX 屏蔽中断状态。**位 1 RTMIS：**RX TIMEOUT 屏蔽中断状态。**位 0 RORMIS：**RX OVERRUN 屏蔽中断状态。

##### 14.4.9 SSP\_ICR

偏移量：0x00 复位值：0x00000000

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **31-2** | **1** | **0** |
| RESERVED | RTIC | RORIC |
| r | w | w |

**位 31-2 RESERVED：**保留，不能修改。

**位 1 RTIC：**RX TIMEOUT 中断清除，写 1 清除，写 0 无效。

**位 0 RORIC：**RX OVERRUN 中断清除，写 1 清除，写 0 无效。

##### 14.4.10 SSP\_DMACR

偏移量：0x00 复位值：0x00000000

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **31-2** | **1** | **0** |
| RESERVED | TXDMAE | RXDMAE |
| r | r/w | r/w |

**位 31-2 RESERVED：**保留，不能修改。**位 1 TXDMAE：**DMA TX 使能。

* 0：关闭 DMA TX
* 1：使能 DMA TX **位 0 RXDMAE：**DMA RX 使能。
* 0：关闭 DMA RX
* 1：使能 DMA RX

### 15. 内部集成电路 (I2C) 接口

#### 15.1 简介

I2C 总线接口单元支持主机模式和从机模式。SDA 为数据传输线，SCL 为参考时钟线。支持多主机和总线仲裁功能。支持 100Kbps 标准速率模式，和 400Kbps 快速模式。支持 FIFO 模式，发送 FIFO 深度 8，接收 FIFO 深度 16，FIFO 的读写指针可配。

 **图 15-1 I2C 框图**

#### 15.2 Start 与 Stop 条件

Start 条件：当 SCL 为高时，SDA 从高跳变为低则产生 Start 条件。

Stop 条件：当 SCL 为高时，SDA 从低跳变为高则产生 Stop 条件。



**图 15-2 Start 与 Stop 条件的 SDA 与 SCL 信号**

通过配置 I2Cx\_CR{START} 和 I2Cx\_CR{STOP} 来开始一个字节的传输，或者产生 Start、 Repeated Start 和 Stop 条件。

**表 15-1 Start 和 Stop 条件定义**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Start位 | Stop位 | 条件 | 描述 |
| 0 | 0 | 无 Start 和 Stop | 当有多个数据字节将要被传输的时候，I2C 不会发送  Start 或者 Stop 条件 |
| 0 | 1 | Start 或  Repeated Start | I2C 发送一个 Start 条件然后再发送 I2Cx\_DBR 内的 8 位数据。Start 发送前，I2Cx\_DBR 必须要包含 7 位的从地址和 1 位的 R/nW。  Repeated Start 条件，I2Cx\_DBR 包含目标从设备地址和 R/nW 位，这允许主机在不释放总线的情况下进行多次传输。  接口停留在主机发送模式用于写，切换到主机接收模式用于读。 |
| 1 | x | Stop 条件 | 在主机发送模式，I2Cx\_DBR 内的 8 位数据发送完成之后在总线上发送一个 Stop 条件。  在主机接收模式，I2Cx\_CR{ACKNAK}必需置 1 用来发送一个 NAK 脉冲，接收的数据被存入 I2Cx\_DBR 寄存器，然后在总线上发送一个 Stop 条件。 |

##### 1. Start 条件

Start 条件和 I2Cx\_DBR 内的数据在 I2Cx\_CR{TB}被置 1 后开始发送。写请求，I2C 总线停留在主机发送模式，读请求将停留在主机接收模式。Repeated Start 条件，改变读写或者目标从设备地址，I2Cx\_DBR 将包含更新的从设备地址和 R/nW 位。

I2C 不会清除 Start 条件。如果在开始发送 Start 条件的时候丢失总线仲裁，I2C 会在总线空闲的时候重新尝试发送一个 Start 条件。

##### 2. 无 Start 或者 Stop 条件

当 I2C 在发送多个数据字节的时候，I2Cx\_CR{START}=0，I2Cx\_CR{STOP}=0，此时无 Start 或者 Stop 条件。软件写数据字节，I2C 将 I2Cx\_SR{ITE}置 1 并且清除 I2Cx\_CR{TB}。软件继续写一个新的字节到 I2Cx\_DBR 寄存器，并且把 I2Cx\_CR{TB}置 1，开始一个新的字节发送。这个过程一直继续，直到软件把I2Cx\_CR{START}或者I2Cx\_CR{STOP}置1， I2C 在 发送 完一 个 Start、 Stop 或 Repeated Start 条 件 后， I2Cx\_CR{START} 和 I2Cx\_CR{STOP}不会被自动清 0。

在每个字节与 ACK/NAK 被发送完成后，I2C 一直将 SCL 拉低等待，直到 I2Cx\_CR{TB}被置 1。

##### 3. 停止条件

停止条件结束一次数据传输。在主机发送模式，I2Cx\_CR{STOP}和 I2Cx\_CR{TB}必须置 1 来开始最后一个字节的传输。在主机接收模式，I2Cx\_CR{ACKNAK}、I2Cx\_CR{STOP}和

I2Cx\_CR{TB}必须置 1 来开始最后一个字节的接收。Stop 条件发送完成之后，软件必须把

I2Cx\_CR{STOP}清 0。

#### 15.3 数据传输顺序

I2C 以 1 字节递增的方式传输数据，遵循以下顺序：

1. Start
2. 7 位从机地址
3. R/nW 位
4. Acknowledge
5. 8 位数据
6. Acknowledge
7. 重复步骤 5 和步骤 6
8. Repeated Start（重复步骤 1）或 Stop

#### 15.4 数据与寻址

I2C 数据 Buffer 寄存器 I2Cx\_DBR 和 I2C 从地址寄存器 I2Cx\_SAR 管理数据和从机寻址。 I2Cx\_DBR 包含 1 字节数据或者 7 位目标从机地址和 1 位 R/nW。I2Cx\_SAR 包含 I2C 单元自身的从机地址。I2C 接收完一个完整字节数据和 ACK 后将数据存入 I2Cx\_DBR。发送时，CPU 将数据写入 I2Cx\_DBR，当 I2Cx\_CR{TB}置 1 后把数据发送到总线上。

##### 1. 主机或者从机发送模式：

1. 将数据写入 I2Cx\_DBR 寄存器开始一次主机事务，或者在 I2Cx\_SR{ITE} 置 1 后发送下一个字节。
2. 当 I2Cx\_CR{TB} 置 1 后发送 I2Cx\_DBR 中的数据。
3. 如果使能了 I2Cx\_CR{ITEIE}，在发送完一个字节和 ACK 后会触发 I2Cx\_DBR 空中断。
4. 在CPU写 I2Cx\_DBR 寄存器前，当I2C已准备好发送下一个字节，且无Stop条件，

I2C 处于等待状态，直到 CPU 写 I2Cx\_DBR 寄存器并且把 I2Cx\_CR{TB} 置 1。

**注意：**在*FIFO*模式，以*TX FIFO*替代*I2Cx\_DBR*。

##### 2. 主机或者从机接收模式：

1. 当一个完整字节数据被接收后（使能 I2Cx\_CR{DRFIE}，触发 I2Cx\_DBR 接收满中断，

I2Cx\_SR{IRF} 被置 1），CPU 读 I2Cx\_DBR 寄存器取回数据。

1. 当 ACK 完成后，I2C 将数据从位移寄存器传输到 I2Cx\_DBR 寄存器。
2. I2C 处于等待模式，直到 I2Cx\_DBR 寄存器被 CPU 读取。
3. CPU 读取 I2Cx\_DBR 寄存器之后，I2C 更新 I2Cx\_CR{ACKNAK}位和 I2Cx\_CR{TB} 位，允许下一字节的传输。

**注意：**在*FIFO*模式，以*RX FIFO*替代*I2Cx\_DBR*。

##### 3. 从机寻址：

作为主机设备，I2C 必须要构建和发送一次事务的第一个字节。这个字节由 7 位的从机地址和 1 位的 R/nW 组成。第一个字节的发送必须要得到从设备的 ACK 响应。如果是写事务，I2C 保持在主机发送模式，同时从机保持在接收模式。如果是读事务，I2C 在收到 ACK 后马上切换到主机接收模式，同时从机切换到发送模式。如果收到 NAK，I2C 自动发送 Stop 条件并且把 I2Cx\_SR{BED}置 1 来中止当前事务。

(I2C)

##### 15.5 应答（ACK）

每一个字节的传输必须伴随 ACK，由接收的主机或者从机产生。发送方必须释放 SDA 线给接收方传输 ACK 脉冲。

在主机发送模式，如果目标接收从机未产生 ACK，SDA 线保持高电平指示一个 NAK。缺少

ACK 导致 I2C 将 I2Cx\_SR{BED}置 1 并产生中断，I2C 自动产生 Stop 条件并且中止传输。

在主机接收模式，I2C 发送 NAK 给发送从机通知从机停止发送数据，I2Cx\_CR{ACKNAK}控制总线上 ACK/NAK 的产生。按照 I2C 协议的规定，主机接收模式 NAK 不会将 I2Cx\_SR{BED}置

1。I2C 从总线上每接收一个字节会自动发送 ACK，在接收到最后一个字节之前软件必须将 I2Cx\_CR{ACKNAK}置 1 来发送 NAK。NAK 在最后一个字节被传输后发送，告知最后一个字节被发送完成。

在从机接收模式，I2C 自动对自身从机地址进行 ACK 响应，不论 I2Cx\_CR{ACKNAK}是否被置 1。在从机模式，I2C 自动在接收到的每一个字节数据后进行 ACK 响应，不论 I2Cx\_CR 寄存器的 ACKNAK 位是否被置 1。

在从机发送模式，接收NAK意味着当前这次传输的最后一个字节被发送完成。主机接着发送一个 Stop 条件或者 Repeated Start 条件。I2Cx\_SR{UB}保持为 1 直到一个 Stop 条件或者

Repeated Start 条件被接收到。

##### 15.6 仲裁

为兼容多主机，需要总线仲裁功能。总线仲裁用于在最小 I2C Start 条件时间内有 2 个或者更多主机同时产生 Start 条件的情形。

仲裁可以持续一段长的时间。如果从机地址和 R/nW 位一致的话，仲裁移到数据阶段。由于 I2C 总线的 “线与” 属性，如果 2个或者所有主机输出同样的总线状态，不会丢失数据。如果地址，或者 R/nW 位，或者数据不同，转变到高状态的主机（主机数据与 SDA 线不同）丢失仲裁，并且结束数据传输，将 I2Cx\_SR{ALD}置 1，返回空闲状态。

在 FIFO 模式，丢失仲裁的时候软件必须清空 FIFO。这可以通过清空发送和接收 FIFO 的读写指针寄存器来实现。

#### 15.7 主机模式

当软件开始执行读或者写操作，I2C 从默认的从机接收模式切换到主机发送模式。Start 条件之后跟随着 7 位的从机地址和 1 位的 R/nW。

当接收到 ACK 后，I2C 进入以下两种模式之一：

* 主机发送模式-写数据
* 主机接收模式-读数据

CPU 写 I2Cx\_CR 寄存器来开始一次主机事务。

##### 表 15-2 主机事务

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 主机动作 | 主机操作 | 定义 |
| 产生时钟输出 | 主机发送主机接收 | * 主机驱动 SCL 线 * I2Cx\_CR{SCLE} 和 I2Cx\_CR{UE} 必须置 1 |
| 写目标从机地址到  I2Cx\_DBR | 主机发送主机接收 | * CPU 在使能 Start 条件前写 I2Cx\_DBR[7:1] * 前 7 个位在 Start 条件之后发送 |
| 写 R/nW 位到 I2Cx\_DBR | 主机发送主机接收 | * CPU 把 R/nW 控制位写入 I2Cx\_DBR 的最低位 * 若 R/nW 为低则主机保持发送模式，若 R/nW 为高则主机切换到接收模式 |
| 发送 Start 条件 | 主机发送主机接收 | 在 7 位目标从机地址和 1 位 R/nW 写入 I2Cx\_DBR 寄存器之后，   * 软件把 I2Cx\_CR{START} 置 1 * 软件把 I2Cx\_CR{TB}置 1 开始发送 Start 条件 |
| 开始第一个字节传输 | 主机发送主机接收 | * CPU 写一个字节到 I2Cx\_DBR 寄存器 * 软件把 I2Cx\_CR{TB} 置 1，开始这个字节的发送 * 发送完成之后，I2Cx\_CR{TB} 被清 0，I2Cx\_SR{ITE} 被置 1 |
| 总线仲裁 | 主机发送主机接收 | 如果在同一个时钟周期内有多个主机在总线上发送了 Start 条件，那么总线仲裁必须产生，   * 只要有需要，I2C 仲裁就会产生。总线仲裁发生在目标从机地址和 R/nW 位，以及数据传输阶段，直到除 1 个主机之外的主机都丢失总线。数据不会丢失。 * 如果丢失仲裁，I2Cx\_SR{ALD} 会被置 1，I2C 切换到从机接收模式。 * 如果在发送目标从机地址的时候丢失仲裁，I2C 会在总线空闲的时候再次尝试重发。 |
| 写一个字节到 I2Cx\_DBR | 仅主机发送 | * 如果 I2Cx\_SR{ITE} 被置 1 并且 I2Cx\_CR{TB} 被清 0，当 I2Cx\_DBR 空中断被使能，那么中断产生。 * CPU 写一个字节到 I2Cx\_DBR 寄存器，并且根据需要设   置合适的 Start/Stop 条件组合，然后把 I2Cx\_CR{TB} 置 |
|  |  | 1 发送数据。数据的 8 个位被从位移寄存器搬到串行总线  上。若发送前 I2Cx\_CR{STOP} 置 1，那么在数据的 8 个位传输完成之后会跟随一个 Stop 条件。 |
| 等待接收从机 ACK | 仅主机发送 | 作为发送方，主机产生 ACK 的时钟，并且将 SDA 线释放给接收的从机发送 ACK。 |
| 从 I2Cx\_DBR 读取一个字节 | 仅主机接收 | 在 I2Cx\_CR{ACKNAK} 被读取之后，位移寄存器内的 8 位数据被搬到 I2Cx\_DBR 寄存器，   * 当 I2Cx\_SR{IRF} 被置 1 且 I2Cx\_CR{TB} 被清 0 时，   CPU 读取 I2Cx\_DBR 寄存器。可以使能 I2Cx\_DBR 寄存器接收满中断通知 CPU。   * 当 I2Cx\_DBR 被读取完，如果 I2Cx\_SR{ACKNAK} 被清 0（代表 ACK），软件必须把 I2Cx\_CR{ACKNAK} 清 0 并且把 I2Cx\_CR{TB} 置 1 来开始下一个字节的读取。  如果 I2Cx\_SR{ACKNAK} 被置 1（代表 NAK），   I2Cx\_CR{TB} 被清除，I2Cx\_CR{STOP} 被置 1，且  I2Cx\_SR{UB} 被置 1，最后一个字节已经被读取到 I2Cx\_DBR 寄存器，I2C 正在发送 Stop 条件。   * 如果 I2Cx\_SR{ACKNAK} 被置 1（代表 NAK），并且   I2Cx\_CR{TB} 被清 0，但是 I2Cx\_CR{STOP} 被清 0，软  件有两个选择：   * 1. 把 I2Cx\_CR{START} 置 1，将新的目标从机地址写入 I2Cx\_DBR，把 I2Cx\_CR{TB} 置 1，发送一个   Repeated Start 条件。   * 1. 把 I2Cx\_CR{MA} 置 1，并且保持 I2Cx\_CR{TB}为 0，仅发送一个 Stop 条件。 |
| 发送 ACK 到发送从机 | 仅主机接收 | * 作为接收主机一方，在 ACK 期间，产生 ACK 时钟，并且驱动 SDA 线 * 如果下一个字节为最后一个事务，软件需要把   I2Cx\_CR{ACKNAK} 置 1 来产生 NAK。 |
| 产生 Repeated Start 条件 | 主机发送主机接收 | 使用 Repeated Start 代替 Stop 条件可以在不释放总线的情  况下继续新的传输   Repeated Start 条件在最后一个字节数据被传输后产生  软件必须把 7 位的目标从机地址和 1 位的 R/nW 位写入  I2Cx\_DBR 寄存器，然后把 I2Cx\_CR{START} 置 1，再把 I2Cx\_CR{TB} 置 1 |
| 产生 Stop 条件 | 主机发送主机接收 | * Stop 条件在最后一个字节数据被传输后产生 * I2Cx\_CR{STOP} 要在最后一个字节被传输前置 1 |

##### 15.8 FIFO 模式

FIFO 模式只能在主机模式被使用。



**图 15-3 FIFO 模式示意图**

FIFO 模式可以用于发送和接收，以帮助减少 I2Cx\_DBR 寄存器空中断和满中断，FIFO 允许读取和写入多个字节而不需要在每个字节操作之后中断 CPU。

DMA 被用于改善传输长度超过 8 个字节数据的 I2C 事务，整个事务可用 DMA 的方式完成，而不用产生多次 FIFO 中断。

FIFO 模式向下兼容普通模式，通过把 I2Cx\_CR{FIFO\_EN}清 0 来禁用 FIFO 模式。

发送 FIFO的宽度为12 位，4 个控制位，8 个数据位，深度为 8。4个控制位为 I2Cx\_CR[3:0]，这是发送每个字节所必须的控制位。当一个字节被传输之后，新的字节从 TX FIFO 拷贝到位移

寄存器，控制位被拷贝到 I2Cx\_CR[3:0]。这个字节现在被传输，持续循环直到 Stop 条件产生。

接收 FIFO 为宽度为 8 位，用于保存接收到的数据，深度为 16。每个字节的控制位与一个空数据被保存到 TX FIFO 的相应位置。当接收 FIFO 半满，会产生 FIFO 半满中断或者 DMA 请求，将 FIFO 中的数据读出。

为支持 FIFO 功能，同时完整利用 FIFO 的容量，需要配置以下状态和控制位：

1. I2Cx\_CR{FIFO\_EN} 置 1 使能 FIFO 模式
2. I2Cx\_CR{TXBEGIN} 置 1 开始事务
3. 使能 I2Cx\_CR[31:27] 的 FIFO 相关中断位，可通过 I2Cx\_SR[31:27] 查询相应中断状态
4. 每次事务完成之后（Stop 条件发送完）触发 TXDONE 中断
5. I2Cx\_CR{DMA\_EN} 用来使能/禁用 DMA 模式

在DMA模式，I2Cx\_CR[31:28] 相关的FIFO中断必须禁用，同时 I2Cx\_CR{DMA\_EN} 置1。这样，所有 DMA 请求被发送到 DMA，而不是 CPU。I2Cx\_CR{TXDONE\_IE} 在 FIFO 模式和

DMA 模式都需要置 1，用来通知 CPU 事务的结束。

#### 15.9 从机模式

##### 表 15-3 从机事务

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 从机动作 | 从机操作 | 定义 |
| 从机接收（默认模式） | 仅从机接收 | * I2C 监视所有从机地址事务 * I2Cx\_CR{UE} 必须置 1 * I2C 监视总线上的Start条件。若检测到 Start 条件，接口读取前 8 位数据，并把前 7 位与自身从机地址做比较，若匹配则响应 ACK * 若首字节的第 8 位（R/nW）为低，那么 I2C 保持在从机接收模式，并把 I2Cx\_SR{SAD} 清 0。若 R/nW 为高，I2C 切换到从机发送模式，并把   I2Cx\_SR{SAD} 置 1 |
| 设置从机地址检测位 | 从机接收从机发送 | * 用来指示接口检测到匹配的 I2C 寻址 * 若使能 I2Cx\_CR{SADIE}，在匹配的从机地址被接收和 ACK 响应之后，中断产生，I2Cx\_SR{SAD} 置   1 |
| 从 I2Cx\_DBR 读取 1 个字  节 | 仅从机接收 | * 8位数据从总线上读取到位移寄存器，在整个字节被接收完成和ACK/NAK完成之后，位移寄存器内的数据被搬到 I2Cx\_DBR 寄存器 * 当 I2Cx\_SR{IRF} 置1，且 I2Cx\_CR{TB} 清0，若使能 I2Cx\_CR{DRFIE}，I2Cx\_DBR 接收满中断产生 * 软件从 I2Cx\_DBR 读取数据，并根据需要配置   I2Cx\_CR{ACKNAK}，把 I2Cx\_CR{TB} 置 1，这个  操作使从机退出等待模式，接续接收主机的数据 |
| 响应 ACK 到发送主机 | 仅从机接收 | * 作为接收从机，I2C 在 SCL 为高的时候将 SDA 线拉低产生 ACK * ACK/NAK 由 I2Cx\_CR{ACKNAK} 控制 |
| 写 1 个字节到 I2Cx\_DBR | 仅从机发送 | * I2Cx\_SR{ITE} 置 1，I2Cx\_CR{TB} 清 0，若使能 I2Cx\_CR{ITEIE} 中断，I2Cx\_DBR 发送空中断产生 * 软 件 把 数 据 写 入 I2Cx\_DBR 寄 存 器 ， 然 后 把   I2Cx\_CR{TB} 置 1 开始数据的发送 |
| 等待接收主机的 ACK | 仅从机发送 | 作为发送从机，I2C 释放 SDA 线等待接收主机拉低响应  ACK |

##### 15.10 时钟复位

每个 I2C 接口都有独立的 APB 总线时钟和独立的 APB 总线复位。

复位前软件必须保证I2Cx\_CR{UE}为0，并且复位后保证总线在空闲状态（I2Cx\_SR{IBB}为0）。 Reset 时，除 I2Cx\_SAR 寄存器之外的所有寄存器均恢复到默认的复位状态，I2Cx\_SAR 不受复位影响。

复位操作顺序：

1. 将 I2Cx\_CR{UR} 置 1，并把 I2Cx\_CR 寄存器的其余位清 0
2. 将 I2Cx\_SR 寄存器清 0
3. 将 I2Cx\_CR{UR} 清 0

* 1. **中断请求**

通过 I2Cx\_CR 配置中断使能，查询 I2Cx\_SR 相应位可以获取中断状态。

* 1. **DMA 请求**

通过 I2Cx\_CR{DMA\_EN} 使能 DMA，支持发送和接收。

##### 15.13 I2C 相关寄存器描述

I2C0 基地址：0x40007000 I2C1 基地址：0x40014000

I2C2 基地址：0x40015000

**表 15-4 I2C 寄存器列表**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 寄存器 | 偏移量 | 描述 |
| I2Cx\_CR | 0x00 | 控制寄存器 |
| I2Cx\_SR | 0x04 | 状态寄存器 |
| I2Cx\_SAR | 0x08 | 从地址寄存器 |
| I2Cx\_DBR | 0x0C | 数据 Buffer 寄存器 |
| I2Cx\_LCR | 0x10 | 加载计数寄存器 |
| I2Cx\_WCR | 0x14 | 等待计数寄存器 |
| I2Cx\_RST\_CYCL | 0x18 | 复位周期寄存器 |
| I2Cx\_BMR | 0x1C | 总线监视寄存器 |
| I2Cx\_WFIF0 | 0x20 | 发送 FIFO 寄存器 |
| I2Cx\_WFIFO\_WPTR | 0x24 | 发送 FIFO 写指针寄存器 |
| I2Cx\_WFIFO\_RPTR | 0x28 | 发送 FIFO 读指针寄存器 |
| I2Cx\_RFIFO | 0x2C | 接收 FIFO 寄存器 |
| I2Cx\_RFIFO\_WPTR | 0x30 | 接收 FIFO 写指针寄存器 |
| I2Cx\_RFIFO\_RPTR | 0x34 | 接收 FIFO 读指针寄存器 |
| I2Cx\_RESV[2] | 0x38 | 4 x 2 字节保留 |
| I2Cx\_WFIFO\_STATUS | 0x40 | 写 FIFO 状态寄存器 |
| I2Cx\_RFIFO\_STATUS | 0x44 | 读 FIFO 状态寄存器 |

###### 15.13.1 I2Cx\_CR (x=0, 1, 2)

偏移量：0x00 复位值：0x00000200

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **31** | **30** | **29** | **28** | **27** | **26** | **25** | **24** |
| RXOV\_IE | RXF\_IE | RXHF\_IE | TXE\_IE | TXDONE\_IE | MSDE | MSDIE | SSDIE |
| rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h |
| **23** | **22** | **21** | **20** | **19** | **18** | **17-16** | |
| SADIE | BEIE | RESERVED | DRFIE | ITEIE | ALDIE | RESERVED | |
| rw-0h | rw-0h | r-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h | r-0h | |
| **15** | **14** | **13** | **12** | **11** | **10** | **9-8** | |
| RESERVED | UE | SCLE | MA | IBRR | UR | MODE | |
| r-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-2h | |
| **7** | **6** | **5** | **4** | **3** | **2** | **1** | **0** |
| DMA\_EN | RESERVED | FIFOEN | TXBEGIN | TB | ACKNAK | STOP | START |
| rw-0h | r-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h |

**位 31 RXOV\_IE：**接收 FIFO overrun 中断使能。

* 0：禁用接收 FIFO overrun 中断
* 1：使能接收 FIFO overrun 中断**位 30** **RXF\_IE：**接收 FIFO 满中断使能。
* 0：禁用接收 FIFO 满中断
* 1：使能接收 FIFO 满中断**位 29** **RXHF\_IE：**接收 FIFO 半满中断使能。
* 0：禁用接收 FIFO 半满中断
* 1：使能接收 FIFO 半满中断**位 28** **TXE\_IE：**发送 FIFO 空中断使能。
* 0：禁用发送 FIFO 空中断
* 1：使能发送 FIFO 空中断**位 27** **TXDONE\_IE：**事务完成中断使能。
* 0：禁用事务完成中断
* 1：使能事务完成中断**位 26** **MSDE：**主机停止检测使能。
* 0：禁用主机停止检测功能
* 1：使能主机停止检测功能**位 25** **MSDIE：**主机停止检测中断使能。
* 0：禁用主机停止检测中断
* 1：使能主机停止检测中断

**位 24** **SSDIE：**从机停止检测中断使能。

* 0：禁用从机停止检测中断
* 1：使能从机停止检测中断**位 23** **SADIE：**从机地址检测中断使能。
* 0：禁用从机地址检测中断
* 1：使能从机地址检测中断

**位 22** **BEIE：**总线错误中断使能。

* 0：禁用总线错误中断
* 1：使能总线错误中断

**位 21** **RESERVED：**保留，不可更改。

**位 20** **DRFIE：**I2Cx\_DBR 接收满中断使能。

* 0：禁用 I2Cx\_DBR 接收满中断
* 1：使能 I2Cx\_DBR 接收满中断**位 19 ITEIE：**I2Cx\_DBR 发送空中断使能。
* 0：禁用 I2Cx\_DBR 发送空中断
* 1：使能 I2Cx\_DBR 发送空中断**位 18** **ALDIE：**仲裁丢失检测中断使能。
* 0：禁用仲裁丢失检测中断
* 1：使能仲裁丢失检测中断

**位 17-15** **RESERVED：**保留，不可更改。

**位 14 UE：**I2C 接口单元使能。

* 0：禁用 I2C 接口单元
* 1：使能 I2C 接口单元，默认为从机接收模式

软件必须保证在使能 I2C 接口单元前总线为空闲状态，并且在置 1 或者清 0 该位前使能 I2C 内部时钟。

**位 13** **SCLE：**SCL 使能。

* 0：禁用 SCL 线
* 1：使能主模式 I2C 时钟输出**位 12 MA：**主机中止。

用于 Master 模式产生 Stop 条件。

* 0：STOP 为 1 产生 Stop 条件
* 1：产生 Stop 条件无需发送数据

在主机发送模式，当一个数据字节发送完成，TB 被清除，I2Cx\_SR{ITE} 被置 1，若没有更多的数据需要被发送，可将 MA 置 1 产生 Stop 条件释放总线。在主机接收模式，当 STOP 为 0，发送 NAK 后，且没有发送

Repeated Start 条件，可将 MA 置 1 产生 Stop 条件释放总线。TB 必须保持为 0。

**位 11 IBRR：**总线复位请求。

* 0：无效
* 1：总线复位，该位自动清 0

**位 10 UR：**单元复位。

* 0：无效
* 1：I2C 单元复位

**位 9-8** **MODE：**主机总线时钟模式。

* 00：标准模式，100Kbps
* 01：快速模式，400Kbps **位 7** **DMA\_EN：**DMA 使能。
* 0：禁用 DMA 请求
* 1：使能 DMA 请求

**位 6** **RESERVED：**保留，不可更改。

**位 5** **FIFOEN：**FIFO 模式使能。

* 0：禁用 FIFO 模式
* 1：使能 FIFO 模式

**位 4** **TXBEGIN：**事务开始。

* 0：无事务开始
* 1：新的事务开始

该位在产生 Stop 条件后被硬件清 0，软件需要在开始新的事务时置 1。

**位 3** **TB：**传输字节，用来在总线上发送或者接收一个字节。

* 0：一个字节收发完成后被清 0
* 1：发送或者接收一个字节

I2C单元会监视这个位来确定该字节是否收发完成。在主机或从机模式，在一个字节包括ACK收发完成后，

I2C 会一直将 SCL 拉低直到 TB 被置 1。

**位 2** **ACKNAK：**主机接收模式 ACK/NAK 控制位。

* 0：接收完成一个字节后发送 ACK
* 1：接收完成一个字节后发送 NAK

从机模式，从地址匹配或者接收完成时，I2C 单元自动发送一个 ACK，不论 ACKNAK 是否置 1。

**位 1** **STOP：**产生 Stop 条件。

* 0：不产生 Stop 条件
* 1：产生 Stop 条件

用来在主机模式传输完下一个字节后在总线上产生 Stop 条件。在主机接收模式，ACKNAK 必须与 STOP 位同时置 1。

**位 0** **START：**产生 Start 条件。

* 0：不产生 Start 条件
* 1：产生 Start 条件

用来在主机模式在总线上产生 Start 条件。

###### 15.13.2 I2Cx\_SR (x=0, 1, 2)

偏移量：0x04 复位值：0x00000000

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **31** | **30** | **29** | **28** | **27** | **26** | **25** |
| RXOV | RXF | RXHF | TXE | TXDONE | MSD | RESERVED |
| rw1c-0h | rw1c-0h | rw1c-0h | rw1c-0h | rw1c-h | r1ch | r-0h |
| **24** | **23** | **22** | **21** | **20** | **19** | **18** |
| SSD | SAD | BED | RESERVED | IRF | ITE | ALD |
| rw1c-0h | rw1c-0h | rw1c-0h | r-0h | rw1c-0h | rw1c-0h | rw1c-0h |
| **17** | **16** | **15** | **14** | **13-8** | **7-0** | |
| RESERVED | IBB | UB | ACKNAK | RESERVED | RESERVED | |
| r-0h | r-0h | r-0h | r-0h | r-0h | r-0h | |

**位 31 RXOV：**接收 FIFO overrun 标志。

* 0：接收 FIFO 未发生 overrun 中断
* 1：接收 FIFO 发生 overrun，写 1 清 0 **位 30** **RXF：**接收 FIFO 满标志。
* 0：接收 FIFO 未满
* 1：接收 FIFO 满，写 1 清 0 **位 29** **RXHF：**接收 FIFO 半满标志。
* 0：接收 FIFO 未半满
* 1：接收 FIFO 半满，写 1 清 0 **位 28** **TXE：**发送 FIFO 空标志。
* 0：发送 FIFO 不为空
* 1：发送 FIFO 空，写 1 清 0 **位 27** **TXDONE：**事务完成标志，FIFO 模式使用。
* 0：事务未完成
* 1：事务完成，写 1 清 0 **位 26** **MSD：**主机停止检测标志（主模式有效）。
* 0：未检测到主机停止
* 1：检测到主机停止，写 1 清 0 **位 25** **RESERVED：**保留，不可更改。**位 24** **SSDIE：**从机停止检测标志。
* 0：未检测到从机停止
* 1：检测到从机停止，写 1 清 0 **位 23** **SAD：**从机地址检测标志。
* 0：无匹配的从机地址被检测到
* 1：检测到匹配的从机地址，写 1 清 0

**位 22** **BED：**总线错误标志。

* 0：未检测到总线错误
* 1：检测到总线错误，写 1 清 0

两种情况下回产生该标志，主机发送一个字节后未收到 ACK，或者从机接收产生一个 NAK 脉冲。

**位 21** **RESERVED：**保留，不可更改。

**位 20 IRF：**I2Cx\_DBR 接收满标志。

* 0：I2Cx\_DBR 没有收到新的数据字节或者 I2C 总线处于空闲状态
* 1：I2Cx\_DBR 收到一个新的数据字节，写 1 清 0 **位 19 ITE：**I2Cx\_DBR 发送空。
* 0：数据仍在发送中
* 1：总线发送完成一个数据字节，写 1 清 0

**位 18 ALD：**仲裁丢失标志，多主机场景使用。

* 0：获得仲裁，或者未发生仲裁
* 1：丢失仲裁，写 1 清 0

**位 17** **RESERVED：**保留，不可更改。

**位 16 IBB：**总线忙标志。

* 0：总线空闲或者总线正在被 I2C 接口使用
* 1：总线忙但是未被 I2C 接口使用**位 15 UB：**I2C 接口单元忙标志。
* 0：I2C 接口单元空闲
* 1：I2C 接口单元忙

**位 14 ACKNAK：**ACK/NAK 状态标志。

* 0：收到或发送完一个 ACK
* 1：收到或发送完一个 NAK

在从机发送模式，该位用于确定被发送的字节是否是最后一个。该位在每个字节的 ACK/NAK 信息被收到后都会更新。

**位 13-0** **RESERVED：**保留，不可更改。

###### 15.13.3 I2Cx\_SAR (x=0, 1, 2)

偏移量：0x08

复位值：0x00000000

|  |  |
| --- | --- |
| **31-7** | **6-0** |
| RESERVED | SLAVE\_ADDRESS |
| r-0h | rw-0h |

**位 31-7** **RESERVED：**保留，不可更改。

**位 6-0 SLAVE\_ADDRESS：**从地址，从机模式使用。

###### 15.13.4 I2Cx\_DBR (x=0, 1, 2)

偏移量：0x0C

复位值：0x00000000

|  |  |
| --- | --- |
| **31-8** | **7-0** |
| RESERVED | DATA\_BUFFER |
| r-0h | rw-0h |

**位 31-8 RESERVED：**保留，不可更改。

**位 7-0** **DATA\_BUFFER：**收发数据 Buffer。

###### 15.13.5 I2Cx\_LCR (x=0, 1, 2)

偏移量：0x10 复位值：0x18183a7e

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **31-18** | **17-9** | **8-0** |
| RESERVED | FLV | SLV |
| r-1818h | rw-1dh | rw-7eh |

**位 31-18** **RESERVED：**保留，不可更改。

**位 17-9 FLV：**主机快速时钟模式相位减幅器装载值。

**位 8-0** **SLV：**主机标准时钟模式相位减幅器装载值。

###### 15.13.6 I2Cx\_WCR (x=0, 1, 2)

偏移量：0x14 复位值：0x0000143a

|  |  |
| --- | --- |
| **31-5** | **4-0** |
| RESERVED | COUNT |
| r-a1h | rw-1ah |

**位 31-5 RESERVED：**保留，不可更改。**位 4-0 COUNT：**快速与标准时钟模式 setup 与 hold 次数计数值。

###### 15.13.7 I2Cx\_RST\_CYCL (x=0, 1, 2)

偏移量：0x18 复位值：0x00000000

|  |  |
| --- | --- |
| **31-4** | **3-0** |
| RESERVED | RST\_CYC |
| r-0h | rw-0h |

**位 31-4** **RESERVED：**保留，不可更改。

**位 3-0 RST\_CYC：**总线复位 SCL 周期计数。

15.13.8 I2Cx\_BMR (x=0, 1, 2)

偏移量：0x1C

复位值：0x00000003

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **31-2** | **1** | **0** |
| RESERVED | SCL | SDA |
| r-0h | r-1h | r-1h |

**位 31-2** **RESERVED：**保留，不可更改。**位 1 SCL：**SCL 引脚状态。

**位 0 SDA：**SDA 引脚状态。

15.13.9 I2Cx\_WFIF0 (x=0, 1, 2)

偏移量：0x20 复位值：0x00000000

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **31-12** | **11-8** | **7-0** |
| RESERVED | CONTROL | DATA |
| r-0h | w-0h | w-0h |

**位 31-12** **RESERVED：**保留，不可更改。**位 11-8 CONTROL：**收发数据控制位。**位 7-0 DATA：**写事务发送数据和读事务空数据。

###### 15.13.10 I2Cx\_WFIFO\_WPTR (x=0, 1, 2)

偏移量：0x24 复位值：0x00000000

|  |  |
| --- | --- |
| **31-4** | **3-0** |
| RESERVED | DATA |
| r-0h | rw-0h |

**位 31-4** **RESERVED：**保留，不可更改。

**位 3-0 DATA：**发送 FIFO 软件写入位置指针。

###### 15.13.11 I2Cx\_WFIFO\_RPTR (x=0, 1, 2)

偏移量：0x28 复位值：0x00000000

|  |  |
| --- | --- |
| **31-4** | **3-0** |
| RESERVED | DATA |
| r-0h | rw-0h |

**位 31-4** **RESERVED：**保留，不可更改。

**位 3-0 DATA：**发送 FIFO 硬件读取位置指针。

15.13.12 I2Cx\_RFIFO (x=0, 1, 2)

偏移量：0x2C

复位值：0x00000000

|  |  |
| --- | --- |
| **31-8** | **7-0** |
| RESERVED | DATA |
| r-0h | r-0h |

**位 31-8 RESERVED：**保留，不可更改。**位 7-0 DATA：**读事务接收数据。

###### 15.13.13 I2Cx\_RFIFO\_WPTR (x=0, 1, 2)

偏移量：0x30 复位值：0x00000000

|  |  |
| --- | --- |
| **31-4** | **3-0** |
| RESERVED | DATA |
| r-0h | r-0h |

**位 31-4 RESERVED：**保留，不可更改。

**位 3-0 DATA：**接收 FIFO 硬件写入位置指针。

###### 15.13.14 I2Cx\_RFIFO\_RPTR (x=0, 1, 2)

偏移量：0x34 复位值：0x00000000

|  |  |
| --- | --- |
| **31-4** | **3-0** |
| RESERVED | DATA |
| r-0h | r-0h |

**位 31-4** **RESERVED：**保留，不可更改。

**位 3-0 DATA：**接收 FIFO 软件读取位置指针。

###### 15.13.15 I2Cx\_WFIFO\_STATUS (x=0, 1, 2)

偏移量：0x40 复位值：0x00000000

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **31-16** | **15-9** | **8-1** | **0** |
| RESERVED | WFIFO\_SIZE | WFIFO\_EMPTY | WFIFO\_FULL |
| r-0h | r-0h | r-0h | r-0h |

**位 31-6** **RESERVED：**保留，不可更改。**位 5-2 WFIFO\_SIZE：**发送 FIFO 空间。**位 1** **WFIFO\_EMPTY：**发送 FIFO 空。**位 0 WFIFO\_FULL：**发送 FIFO 满。

###### 15.13.16 I2Cx\_RFIFO\_STATUS (x=0, 1, 2)

偏移量：0x44 复位值：0x00000000

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **31-24** | **23-16** | **15-8** | **7-4** |
| RESERVED | RESERVED | RESERVED | RFIFO\_SIZE |
| r-0h | r-0h | r-0h | r-0h |
| **3** | **2** | **1** | **0** |
| RFIFO\_EMPTY | RFIFO\_FULL | RFIFO\_HALFFULL | RFIFO\_OVERRUN |
| r-0h | r-0h | r-0h | r-0h |

**位 31-8** **RESERVED：**保留，不可更改。**位 7-4 RFIFO\_SIZE：**接收 FIFO 空间。**位 3** **RFIFO\_EMPTY：**接收 FIFO 空。**位 2 RFIFO\_FULL：**接收 FIFO 满。**位 1 RFIFO\_HALFFULL：**接收 FIFO 半满。**位 0 RFIFO\_OVERRUN：**接收 FIFO overrun。

### 16. 模数转换器 (ADC)

#### 16.1 简介

12 位模数转换器（Analog to Digital Converter），支持 8 个外部通道，7 个内部通道，内部通道可采集 VBAT/3，最高支持 1M 采样率。支持单端和差分两种模式，单端量程 0.1V~1.1V，差分量程 -1.0~1.0V。可配置 16 个采样序列，支持连续、单次、非连续采样方式。支持软件触发和硬件触发，触发源可配。支持 DMA 请求和中断请求。



**图 16-1 ADC 框图**

#### 16.2 输入模式

支持配置为单端与差分模式。外部通道支持单端与差分模式，内部通道只支持单端模式。差分为固定组合，不支持随意配对，其中 0/1 通道为一组，2/3 通道为一组，4/5 通道为一组，6/7 通道为一组。单端和差分仅在采样阶段控制不同，保持阶段没有区别，最后的数据中差分输入最高位为符号位（11bit 数据位，1 个符号位），单端输入为 12bit 数据位，没有符号位。通过采样通道差分/单端选择寄存器 ADC\_DIFFSEL 配置输入模式。

#### 16.3 采样通道

* **外部通道：**8 个，单端模式各通道独立，差分模式则每两个通道为一组，不可拆分。
* **内部通道：**7 个，包括 DAC 输出、内部 VRef、VDD/3（电池电量）、Vts（内部温度传感器）、内部测试专用。内部通道不支持差分模式。

**表 16-1 ADC 采样通道**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 采样通道号 | 采样内容 | 备注 |
| 1 | ADC\_PAD\_IN<0> | gpio11 |
| 2 | ADC\_PAD\_IN<1> | gpio08 |
| 3 | ADC\_PAD\_IN<2> | gpio05 |
| 4 | ADC\_PAD\_IN<3> | gpio04 |
| 5 | ADC\_PAD\_IN<4> | gpio50 |
| 6 | ADC\_PAD\_IN<5> | gpio49 |
| 7 | ADC\_PAD\_IN<6> | gpio48 |
| 8 | ADC\_PAD\_IN<7> | gpio47 |
| 9 | OPA0\_ADC\_OUT |  |
| 10 | OPA1\_ADC\_OUT |  |
| 11 | OPA2\_ADC\_OUT |  |
| 12 | DCTEST\_OUT |  |
| 13 | TD\_OUT\_TEST |  |
| 14 | DAC\_CORE\_AOUT |  |
| 15 | VBAT31 |  |

VBAT31 需要通过模拟部分 RESV1 寄存器的 D\_VBAT\_DIV3\_EN 置位使能 VBAT/3 分压。这个通道名义为 VBAT 的 1/3 分压，精确值为 1/3.06。

#### 16.4 触发方式

* **软件方式：**ADC\_START 上升沿决定转换立即开始。
* **硬件方式：**支持 Timer 与 IO 触发，10 个触发源供选择，可配置触发电平。

通过配置寄存器 ADC\_CFGR 的 TRIG\_SEL 位选择触发方式，通过配置 EXT\_TRIG\_SEL 位选择触发源。

#### 16.5 低功耗运行

ADC\_DR 数据被读走或者 EOC 标志被清除后才能接收新的触发请求，可以防止 overrun，但可能 bypass 触发请求。

**16.6 溢出控制**

控制 overrun 发生时，数据寄存器采样新数据或者保持。

#### 16.7 采样模式

通过 ADC\_CFGR{CONV\_MODE} 配置采样模式：

支持采样序列配置，采样序列最多 16 个通道，单端和差分通道都可以配置。差分模式，采样序列仅配置 P 端即可。采样通道可以重复配置相同通道以决定每次序列多次采样该通道。通过通道采样序列控制寄存器 ADC\_SEQR0 和 ADC\_SEQR1 配置采样序列，每 4 位配置 1 个采样通道，两个 32 位寄存器共 64 位，最多可以配置 16 个采样通道。

* **连续采样：**一旦触发有效，则开始连续地转化选定的输入序列，每轮循环完成后自动开始新一轮循环，直到软件配置 stop。
* **单次采样：**每次触发执行一次采样序列循环，采样完成自动结束。
* **非连续采样：**序列中的每一次 ADC 转化都需要硬件或软件触发，如果一个序列完后，再次触发又从该序列的开头开始；而连续和单次模式，每次触发都会完成一个完整序列。

#### 16.8 参考电压

模拟部分 RST 寄存器的 D\_ADC\_SEL\_VREF 位配置参考电压，清 0 配置为外部参考电压，置

1 配置为内部参考电压，默认为 1。

* **内部参考电压：**VRef，1.2V
* **外部参考电压：**VREFP/3，VREFP 不可超过 3.6V，48PIN 内部 VREFP 与 VDDA 有连接

##### 16.9 数据 Buffer

1 个 12bit 的数据 buffer，差分模式下最高位为符号位。

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| ADC编码 | 差分模式意义 | 单端模式意义 |
| 1111\_1111\_1111 | +Vref**(1)** | +Vref**(1)** |
| … | … | … |
| … | … | … |
| … | … | … |
| … | … | … |
| … | … | … |
| 1000\_0000\_0001 | +Vref/2048**(1)** | +Vref/2+Vref/4096**(1)** |
| 1000\_0000\_0000 | 0 | +Vref/2**(1)** |
| 0111\_1111\_1111 | -Vref/2048**(1)** | +Vref/2-Vref/4096**(1)** |
| … | … | … |
| … | … | … |
| … | … | … |
| … | … | … |
| … | … | … |
| 0000\_0000\_0000 | -Vref**(1)** | 0 |

***(1)*** 为校准前从数据*buffer*读到的值。

差分模式的量程为 -1.0~1.0V，单端模式的量程为 0.1~1.1V。为了纠正 ADC 模拟电路上的误差，在出厂前会对 ASR6601 进行校准，校准数据 Offset 和 Gain 存储在 Flash 中，用户需要将从 ADC\_DR 读到的数据做一个转换才能得到最终的 AD 值，公式如下：

***V = (Vout – Offset) / Gain***

其中 Vout 为从数据 buffer 中读到的值。

##### 16.10 DMA 请求

采用 Request 与 Clear 方式，数据 buf 为 1 个 12bit，因此 Buffer 数据满则产生请求。通过 ADC\_CFGR{DMA\_EN} 配置。

##### 16.11 中断请求

ADC 中断包括单次转换完成 EOC，序列转换完成 EOS，溢出 OVERRUN。通过中断使能寄存器 ADC\_IER 使能中断，通过中断状态寄存器 ADC\_ISR 查询中断。

**16.12 低功耗工作与唤醒**

支持 Sleep 模式中断唤醒与事件唤醒。

#### 16.13 时钟和复位

总线复位和工作时钟复位独立，支持 APB 总线时钟，可配置内部分频，接口时钟来源，包括 sys\_clk、apb\_x\_pclk、pll\_clk 和 rco48m\_clk。

##### 16.14 ADC 相关寄存器描述

基地址：0x40017000

**表 16-2 ADC 寄存器列表**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 寄存器 | 偏移量 | 描述 |
| ADC\_CR | 0x00 | 控制寄存器 |
| ADC\_CFGR | 0x04 | 配置寄存器 |
| ADC\_SEQR0 | 0x08 | 通道采样序列控制寄存器 0 |
| ADC\_SEQR1 | 0x0C | 通道采样序列控制寄存器 1 |
| ADC\_DIFFSEL | 0x10 | 采样通道差分/单端选择寄存器 |
| ADC\_ISR | 0x14 | 中断和状态寄存器 |
| ADC\_IER | 0x18 | 中断使能寄存器 |
| ADC\_DR | 0x1C | 数据寄存器 |

###### 16.14.1 ADC\_CR

偏移量：0x00

复位值：0x00000000

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **31-4** | **3** | **2** | **1** | **0** |
| RESERVED | STOP | START | DIS | EN |
| r-0h | rw-0h | rw-0h | w-0h | rw-0h |

**位 31-4** RESERVED**：**保留，不可更改。

**位 3 STOP：**ADC 转换停止控制。

* 写 0：无效
* 写 1：控制 ADC 转换强制停止，读该位为 1 表示 STOP 的关闭动作正在执行**注意：**

1. 软件对该位写*1*来强制停止当前转换，当前转换的数据会被丢弃，扫描序列也会回到初始状态；该位硬件自动清零。
2. 软件查询到 *START* 关闭后等待 *3* 拍 *ADCCLK* 后才能再次配置 *START*；或等待 *1* 拍

*ADC\_CFGR{CLK\_DIV}* 后才能配置*DIS*关闭*ADC*功能。

1. 仅在 *START=1*且*STOP=0* 时对该位的写*1*动作才有效。
2. 配置*STOP*关闭*ADC*转换前，建议先将触发源关闭，或触发电平处于无效状态。

**位 2 START：**ADC 转换开启控制。

* 写 0：无效
* 写 1：开启 ADC 转换，读该位为 1 表示 ADC 正在转换

该位软件置 1 开启 ADC 转换功能，并根据 ADC\_CFGR{TRIG\_SEL} 的配置决定 ADC 转换马上开始（软件触发模式），或者等待硬件触发事件才开始；仅在 EN=1 且 DIS=0 时才能够配置 ADC 转换开启。

该位由硬件自动清零，分为以下几种情况：

1. 单次转换模式下，且选择软件触发模式时（ADC\_CFGR{TRIG\_SEL}=00），当 ADC\_ISR{EOS} 标志置高时清除 START 位。
2. 非连续模式下，且选择软件触发模式时，当 ADC\_ISR{EOC} 标志置高时清除 START。
3. 在任何情况下，执行 STOP 命令清除 START（START 和 STOP 同时清除）。

**位 1 DIS：**ADC 功能除能控制。

* 写 0：无效
* 写 1：控制 ADC 除能

该位仅在 EN=1 且 START=0（没有转换正在执行）时配置写 1 才有效。

**位 0 EN：**ADC 功能使能控制。

* 写 0：无效
* 写 1：控制 ADC 使能，读该位为 1 表示 ADC 使能

软件配置该使能后，表示 ADC 可以开始触发转换；该位仅在 ADC\_CR 寄存器全为 0 时才能写 1；读该位可以反映 ADC 功能使能状态。软件应当在初始化 ADC 模拟电路后延时至少 100us 以等待电路稳定，然后再使能 ADC 功能。

###### 16.14.2 ADC\_CFGR

偏移量：0x04

复位值：0x00000002

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **31-24** | **23** | | **22** | **21-20** | **19** |  | **18-17** |
| RESERVED | RESERVED | | WAIT\_MODE | CONV\_MODE | OVERRUN\_MO | DE | TRIG\_SEL |
| r-0h | r-0h | | r-0h | r-0h | r-0h |  | rw-0h |
| **16** | | **15-13** | | **12** | **11-8** | **7-0** | |
| EXT\_TRIG\_SEL[3] | | EXT\_TRIG\_SEL[2:0] | | DMA\_EN | CLK\_DIV[11:8] | CLK\_DIV[7:0] | |
| rw-0h | | rw-0h | | rw-0h | rw-0h | rw-2h | |

**位 31-23 RESERVED：**保留，不可更改。**位 22 WAIT\_MODE：**等待转换模式控制。

* 0：等待转换不使能
* 1：等待转换使能

等待转换模式，即 ADC\_DR 数据被读走或者 ADC\_ISR{EOC} 标志被清除后才能接收新的触发请求，可以防止 overrun，但可能 bypass 触发请求。

仅在 ADC\_CR{START} 为 0 时该位才能够配置。**位 21-20 CONV\_MODE：**ADC 转换模式选择。

* 00：单次转换模式
* 01：连续转换模式
* 1x：非连续转换模式

仅在 ADC\_CR{START} 为 0 时该位才能够配置。

**说明：**

1. 单次转换模式，每次触发完成 *ADC\_SEQR0/1* 整个采样序列后即停止，等待下一次触发。
2. 连续转换模式，触发开始转换后，一直按照 *ADC\_SEQR0/1* 的采样序列循环采样，直到配置

*ADC\_CR{STOP}*。

1. 非连续转换模式，每次触发完成一次*ADC*采样（按照*ADC\_SEQR0/1* 的采样序列）即停止，等待下一次触发。

**位 19 OVERRUN\_MODE：**控制 overrun 时的数据操作。

* 0：当 overrun 发生时，原 ADC\_DR 中的数据被保留
* 1：当 overrun 发生时，ADC\_DR 被新的转换数据覆盖仅在 ADC\_CR{START} 为 0 时该位才能够配置。

**位 18-17 TRIG\_SEL：**触发源模式和触发极性选择。

* 00：软件触发，ADC\_CR{START}上升沿决定转换立即开始
* 01：硬件触发，上升沿触发
* 10：硬件触发，下降沿触发
* 11：硬件触发，上升沿和下降沿均可触发仅在 ADC\_CR{START}为 0 时该位才能够配置。

使用硬件触发时，配置 ADC\_CR{START} 后，需要等待 3 拍 ADCCLK 后才可以接收触发信号。

**位 16-13 EXT\_TRIG\_SEL：**ADC 转换开始外部触发源选择。

* 0000~0100：Reserved
* 0101：GPIO47
* 0110：GPIO31
* 0111：GPIO19
* 1000：GPIO10
* 1001：GPTIM1\_TRGO
* 1010：GPTIM0\_CH2\_OUT
* 1011：GPTIM3\_TRGO
* 1100：GPTIM0\_CH3\_OUT
* 1101：GPTIM0\_TRGO
* 1110：GPTIM2\_CH1\_OUT
* 1111：Reserved

注意：

1. 仅在 *ADC\_CR{START}* 为*0*时该位才能够配置。
2. 若使用*GPTIMx* 的*TRGO* 信号作为触发，则 *GPTIMx\_CR2{MMS}* 仅可以配置为*0x100(OC0REF), 0x101(OC1REF), 0x110(OC2REF), 0x111(OC3REF)*。对于 *GPTIM2* 和 *GPTIM3*，仅可以配置为 *0x100(OC0REF), 0x101(OC1REF)*。
3. 若要实现定时触发或周期触发，需配置所选通道为输出模式，选择相应的输出模式，并根据所需时间配置相应的 *GPTIMx\_ARR* 和 *GPTIMx\_CCRx*。

**位 12 DMA\_EN：**DMA 功能使能。

* 0：DMA 不使能
* 1：DMA 使能**位 11-0 CLK\_DIV：**ADCCLK 的时钟预分频选择。
* 000：不分频
* 001：不分频
* n：ADC\_IP\_CLK=ADCCLK/n，占空比 50%。

注意：

1. 仅在*ADC\_CR*均为*0*时，该位配置才有效；*ADCCLK*的时钟源选择在*RCC\_CR2*中配置。
2. 时钟分频和时钟源选择需要考虑数据的读出速度，*ADC* 每*16* 拍完成一次采样，若该*ADC* 时钟配置过快，软件或*DMA*不能及时读走，则可能造成溢出。

###### 16.14.3 ADC\_SEQR0

偏移量：0x08

复位值：0x00000000

**注意：**仅在 *ADC\_CR{START}* 和 *ADC\_CR{EN}* 为*0*时，才能够配置该寄存器。

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **31-28** | **27-24** | **23-20** | **19-16** | **15-12** | **11-8** | **7-4** | **3-0** |
| SEL7 | SEL6 | SEL5 | SEL4 | SEL3 | SEL2 | SEL1 | SEL0 |
| rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h |

**位 31-28 SEL7：**ADC 采样序列第 7 个通道配置。

配置值为采样通道号 1~15，若发现配置为 0，则当前序列结束；若出现 SELx 的通道号相同，则执行多次重复采样。

差分输入只配置正端的通道号即可，负端通道号硬件根据 ADC\_DIFFSEL 自动选择。

**位 27-24 SEL6：**ADC 采样序列第 6 个通道配置。

配置值为采样通道号 1~15，若发现配置为 0，则当前序列结束；若出现 SELx 的通道号相同，则执行多次重复采样。

差分输入只配置正端的通道号即可，负端通道号硬件根据 ADC\_DIFFSEL 自动选择。

**位 23-20 SEL5：**ADC 采样序列第 5 个通道配置。

配置值为采样通道号 1~15，若发现配置为 0，则当前序列结束；若出现 SELx 的通道号相同，则执行多次重复采样。

差分输入只配置正端的通道号即可，负端通道号硬件根据 ADC\_DIFFSEL 自动选择。

**位 19-16 SEL4：**ADC 采样序列第 4 个通道配置。

配置值为采样通道号 1~15，若发现配置为 0，则当前序列结束；若出现 SELx 的通道号相同，则执行多次重复采样。

差分输入只配置正端的通道号即可，负端通道号硬件根据 ADC\_DIFFSEL 自动选择。

**位 15-12 SEL3：**ADC 采样序列第 3 个通道配置。

配置值为采样通道号 1~15，若发现配置为 0，则当前序列结束；若出现 SELx 的通道号相同，则执行多次重复采样。

差分输入只配置正端的通道号即可，负端通道号硬件根据 ADC\_DIFFSEL 自动选择。

**位 11-8 SEL2：**ADC 采样序列第 2 个通道配置。

配置值为采样通道号 1~15，若发现配置为 0，则当前序列结束；若出现 SELx 的通道号相同，则执行多次重复采样。

差分输入只配置正端的通道号即可，负端通道号硬件根据 ADC\_DIFFSEL 自动选择。

**位 7-4 SEL1：**ADC 采样序列第 1 个通道配置。

配置值为采样通道号 1~15，若发现配置为 0，则当前序列结束；若出现 SELx 的通道号相同，则执行多次重复采样。

差分输入只配置正端的通道号即可，负端通道号硬件根据 ADC\_DIFFSEL 自动选择。

**位 3-0 SEL0：**ADC 采样序列第 0 个通道配置。

配置值为采样通道号 1~15，若发现配置为 0，则当前序列结束；若出现 SELx 的通道号相同，则执行多次重复采样。

差分输入只配置正端的通道号即可，负端通道号硬件根据 ADC\_DIFFSEL 自动选择。

###### 16.14.4 ADC\_SEQR1

偏移量：0x0C

复位值：0x00000000

**注意：**仅在 *ADC\_CR{START}* 和 *ADC\_CR{EN}* 为*0*时，才能够配置该寄存器。

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **31-28** | **27-24** | **23-20** | **19-16** | **15-12** | **11-8** | **7-4** | **3-0** |
| SEL15 | SEL14 | SEL13 | SEL12 | SEL11 | SEL10 | SEL9 | SEL8 |
| rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h |

**位 31-28 SEL15：**ADC 采样序列第 15 个通道配置。

配置值为采样通道号 1~15，若发现配置为 0，则当前序列结束；若出现 SELx 的通道号相同，则执行多次重复采样。

差分输入只配置正端的通道号即可，负端通道号硬件根据 ADC\_DIFFSEL 自动选择。

**位 27-24 SEL14：**ADC 采样序列第 14 个通道配置。

配置值为采样通道号 1~15，若发现配置为 0，则当前序列结束；若出现 SELx 的通道号相同，则执行多次重复采样。

差分输入只配置正端的通道号即可，负端通道号硬件根据 ADC\_DIFFSEL 自动选择。

**位 23-20 SEL13：**ADC 采样序列第 13 个通道配置。

配置值为采样通道号 1~15，若发现配置为 0，则当前序列结束；若出现 SELx 的通道号相同，则执行多次重复采样。

差分输入只配置正端的通道号即可，负端通道号硬件根据 ADC\_DIFFSEL 自动选择。

**位 19-16 SEL12：**ADC 采样序列第 12 个通道配置。

配置值为采样通道号 1~15，若发现配置为 0，则当前序列结束；若出现 SELx 的通道号相同，则执行多次重复采样。

差分输入只配置正端的通道号即可，负端通道号硬件根据 ADC\_DIFFSEL 自动选择。

**位 15-12 SEL11：**ADC 采样序列第 11 个通道配置。

配置值为采样通道号 1~15，若发现配置为 0，则当前序列结束；若出现 SELx 的通道号相同，则执行多次重复采样。

差分输入只配置正端的通道号即可，负端通道号硬件根据 ADC\_DIFFSEL 自动选择。

**位 11-8 SEL10：**ADC 采样序列第 10 个通道配置。

配置值为采样通道号 1~15，若发现配置为 0，则当前序列结束；若出现 SELx 的通道号相同，则执行多次重复采样。

差分输入只配置正端的通道号即可，负端通道号硬件根据 ADC\_DIFFSEL 自动选择。

**位 7-4 SEL9：**ADC 采样序列第 9 个通道配置。

配置值为采样通道号 1~15，若发现配置为 0，则当前序列结束；若出现 SELx 的通道号相同，则执行多次重复采样。

差分输入只配置正端的通道号即可，负端通道号硬件根据 ADC\_DIFFSEL 自动选择。

**位 3-0 SEL8：**ADC 采样序列第 8 个通道配置。

配置值为采样通道号 1~15，若发现配置为 0，则当前序列结束；若出现 SELx 的通道号相同，则执行多次重复采样。

差分输入只配置正端的通道号即可，负端通道号硬件根据 ADC\_DIFFSEL 自动选择。

###### 16.14.5 ADC\_DIFFSEL

偏移量：0x10

复位值：0x00000000 **注意：**仅在*ADC\_CR{START}*和*ADC\_CR{EN}*为*0*时，该寄存器才能够配置。

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **31-16** | **15-9** | **8-1** | **0** |
| RESERVED | SEL1 | SEL0 | RESERVED |
| r-0h | r-0h | rw-0h | r-0h |

**位 31-16 RESERVED：**保留，不可更改。

**位 15-9 SEL1：**ADC 通道 9~15 为内部通道。

只支持单端模式，不支持差分模式，这些位只读。

**位 8-1 SEL0：**ADC 通道 1~8 差分/单端模式选择。

每一位控制一个通道：

* 0：通道 x 为单端模式
* 1：通道 x 为差分模式

差分通道仅支持两个外部相邻通道之间，如通道 2 和通道 3，则该寄存器相应的两个控制位要配置为 1。

**位 0 RESERVED：**保留，不可更改。

###### 16.14.6 ADC\_ISR

偏移量：0x14

复位值：0x00000000

**注意：**软件使能 *ADC\_CR{START}* 前建议先清除该寄存器。

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **31-3** | **2** | **1** | **0** |
| RESERVED | OVERRUN | EOS | EOC |
| r-0h | rw1c-0h | rw1c-0h | rw1c-0h |

**位 31-3 RESERVED：**保留，不可更改。

**位 2 OVERRUN：**ADC 转换 overrun 标志。

* 0：没有 overrun 发生
* 1：发生 overrun

当 EOC 标志为高时（ADC\_DR 数据未取走或未配置软件写 1 清零），新的转换完成，该位由硬件置 1。

软件写 1 清零。

**位 1 EOS：**ADC 通道序列采样完成标志。

* 0：通道序列转换未完成
* 1：通道序列转换完成当 ADC\_SEQR0/1 中的整个通道序列完成一轮转换后，该位由硬件置 1。

软件写 1 清零。

**位 0 EOC：**ADC 转换完成标志。

* 0：通道转换未完成
* 1：通道转换完成某个通道 ADC 转换结束，新的转换数据写入到 ADC\_DR 中后该标志由硬件置高。

软件写 1 清零或者读 ADC\_DR 后清零。

###### 16.14.7 ADC\_IER

偏移量：0x18 复位值：0x00000000

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **31-3** | **2** | **1** | **0** |
| RESERVED | OVERRUN\_INT\_EN | EOS\_INT\_EN | EOC\_INT\_EN |
| r-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h |

**位 31-3 RESERVED：**保留，不可更改。

**位 2 OVERRUN\_INT\_EN：**ADC 转换 overrun 中断使能。

* 0：不使能 overrun 中断
* 1：使能 overrun 中断**位 1 EOS\_INT\_EN：**ADC 通道序列采样完成中断使能。
* 0：不使能通道序列采样完成中断
* 1：使能通道序列采样完成中断**位 0 EOC\_INT\_EN：**ADC 转换完成中断使能。
* 0：不使能转换完成中断
* 1：使能转换完成中断

###### 16.14.8 ADC\_DR

偏移量：0x1C

复位值：0x00000000

|  |  |
| --- | --- |
| **31-12** | **11-0** |
| RESERVED | DATA |
| r-0h | r-0h |

**位 31-12 RESERVED：**保留，不可更改。

**位 11-0 DATA：**ADC 转换数据。差分模式下，第 11 位为符号位。

## 17. 基本定时器 (BSTIM)

### 17.1 简介

BSTIMER（Basic Timer）包含 16bits 计数器，支持自动重装载功能，且支持最多 16bits 可编程的分频计数器。有两个 BSTIMER，分别为 BSTIMER0 和 BSTIMER1。

### 17.2 主要特性

BSTIMER 包括如下功能：

* 16bits 计数器，加法计数，支持自动重加载
* 分频计数器
* DMA 控制
* 支持单脉冲
* 支持主模式功能
* 更新事件管理
* Debug 模式控制
* 中断信号产生 BSTIMER 的框图如下：



**u**

**\_**

**reg**

**\_**

**model**



**Master**

**C**

**ontrol**



**u**

**\_**

**psc**

**\_**

**counter**



**I**

**nterrupt**

**Control**



**DMA**

**C**

**ontrol**

**dma**

**\_**

**ack**

**dma**

**\_**

**req**

**apb**

**\_**

**write**

**apb**

**\_**

**read**

**interrupt**

**trigger**

**\_**

**output**

**rcc**

**\_**

**tim**

**\_**

**clk**



**u**

**\_**

**counter**

**reset**

**,**

**enable**

**,**

**update**



**ARR**

**\_**

**shadow**

**图 17-1 BSTIMER 框图**

####  rcc\_tim\_clk：BSTIMER 的接口时钟  apb\_read：APB 总线的读

* **dma\_ack：**DMA 回复的 ACK  **trigger\_output：**BSTIMER 的 TRGO 输出
* **dma\_req：**BSTIMER 对 DMA 的请求  **interrupt：**BSTIMER 的中断
* **apb\_write：**APB 总线的写

### 17.3 接口时钟

BSTIMER 接口时钟源为 PCLK，不能设置为其它时钟源。时钟使能和复位配置可以参考 RCC 章节。

### 17.4 计数器

计数器仅支持向上计数，计数到 ARR，这样计数器的值会从 ARR 变为 0，然后继续计数，同时状态标记位 UIF 置位，如果更新事件中断请求使能即 UIE 置位，则也会产生中断，此时表示一个计数周期完成。下个计数周期计数器继续从 0 开始计数，如此循环往复。

#### 17.5 自动重加载

可软件配置寄存器 BSTIM\_CR1 的 ARPE 位来设置是否启用 ARR 影子寄存器，如果 ARPE=0，则禁用影子寄存器，软件写入的值直接同步更新到 ARR 供计数器使用，如果 ARPE=1，则软件写入的值不会立即生效，直到更新事件到来，才会将该值更新到 ARR 供计数器使用。

#### 17.6 分频计数器

BSTIMER 支持 16-bit（1~65535）可编程分频，此功能通过分频计数器 BSTIM\_PSC 实现。接口时钟作为分频计数器的时钟，寄存器 BSTIM\_CR1 的 CEN 作为分频计数器的计数使能，当分频计数器计数到预先加载的分频值后，输出一个脉冲，作为下一级计数器的计数使能，然后分频计数器归零重新计数，依次类推。

分频计数器的分频值默认启用影子寄存器，即软件的写操作不会立即生效，而是直到更新事件（UG 事件置位、计数溢出）到来，才会将新的分频值写入影子寄存器，此时该分频值才正式生效。软件读操作读取的是写入的寄存器值，而不是影子寄存器，如果在更新事件到来前有多次写操作，则会覆盖之前写入的值。计数和分频波形如下：



**图 17-2 计数和分频波形**

### 17.7 DMA 控制

BSTIMER 支持 DMA 功能，使能 DMA 功能后，其所有寄存器除 BSTIM\_SR、BSTIM\_EGR 外与 memory 之间可以相互传递数据，BSTIM\_SR 只能被读取数据，BSTIM\_EGR 只能被写入数据。通过寄存器 BSTIM\_DIER 的 UDE 位使能 DMA，当有更新事件时则会产生 DMA 请求，

DMA 返回的 ACK 信号会清除模块的 DMA 请求信号。

#### 17.8 支持单脉冲

BSTIMER 支持单脉冲计数模式，通过置位寄存器 BSTIM\_CR1 的 OPM 位使能该模式，在该模式下，当计数器计数到 ARR 值后会归零并停止计数（CEN 硬件自动清零），除非再次初始化才会重新计数，如下图所示：

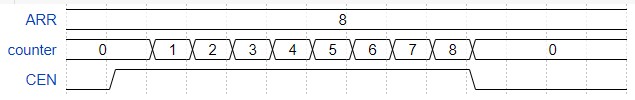
**图**

**17**

**-**

**3**

**单脉冲波形**



#### 17.9 支持主模式选择

BSTIMER 可以与其他内部模块级联，并作为主机使用，通过产生触发输出信号（TRGO）来控制 DAC。可通过软件配置 BSTIM\_CR2 寄存器的 MMS 位来选择 TRGO 信号的来源，具体如下：

* MMS=3’b000：复位模式，此时 UG 标志位将作为 TRGO 信号输出给外部从机。
* MMS=3’b001：使能模式，此时计数器的计数使能 CEN 将作为 TRGO 信号输出给外部从机。
* MMS=3’b010：更新模式，此时将更新事件作为 TRGO 信号输出给外部从机。
* MMS 的其它值为保留值。

#### 17.10 更新事件管理

更新事件主要有以下事件源：

1. 计数器的溢出事件（overflow），即计数器的值从 ARR 变为 0。
2. UG 置位（软件置位），即配置寄存器 BSTIM\_EGR 的 UG 位。

与更新事件管理相关的控制信号主要是寄存器 BSTIM\_CR1 的 URS 和 UDIS，具体控制如下：

* 若 UDIS=0，URS=0，则 overflow、UG 置位会初始化计数器和分频计数器，如果启用影子寄存器，更新事件则会把写入的值更新到影子寄存器中（ARR 取决于 ARPE），

UIF 会置位，如果使能了中断或 DMA，则会产生中断或 DMA 请求。

* 若 UDIS=0，URS=1，则 overflow、UG 置位会初始化计数器和分频计数器，如果启用影子寄存器，更新事件将会把写入的值更新到影子寄存器中（ARR 取决于 ARPE），

UIF 只会在 overflow 情况下置位，如果使能了中断或 DMA，则会产生中断或 DMA 请求。

* 若 UDIS=1（忽略 URS），则只有 UG 置位仍会初始化计数器和分频计数器，但是影子寄存器不会被更新，且 UIF 不会置位，因此也不会产生相应中断或 DMA 请求。

### 17.11 Debug 模式控制

BSTIMER 可由软件配置 debug 下是否停止计数，通过 SYSCFG 的 CR2 寄存器来实现 BSTIMER0 和 BSTIMER1 的 DEBUG 模式计数控制，如果使能该功能，则进入系统 debug 模式时，BSTIMER 停止计数（计数器不会被初始化）。

### 17.12 中断信号

BSTIMER 的中断信号如下：

**表 17-1 BSTIMER 中断信号**

|  |  |
| --- | --- |
| 中断名称 | 描述 |
| 更新事件中断 | 计数器溢出、UG 置位均可以产生更新事件中断 |

上述中断的使能通过配置寄存器 BSTIM\_DIER 的 UIE 位实现，中断状态可以通过寄存器

BSTIM\_SR 获得。

### 17.13 BSTIMER 相关寄存器描述

BSTIMER0 基地址：0x4000C000

BSTIMER1 基地址：0x4001C000

**表 17-2 BSTIMER 寄存器列表**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 寄存器 | 偏移量 | 描述 |
| BSTIM\_CR1 | 0x00 | 控制寄存器 1 |
| BSTIM\_CR2 | 0x04 | 控制寄存器 2 |
| BSTIM\_DIER | 0x0c | DMA/中断使能寄存器 |
| BSTIM\_SR | 0x10 | 状态寄存器 |
| BSTIM\_EGR | 0x14 | 事件寄存器 |
| BSTIM\_CNT | 0x24 | 计数器寄存器 |
| BSTIM\_PSC | 0x28 | 计数器分频值 |
| BSTIM\_ARR | 0x2c | 计数器重装载值 |

#### 17.13.1 BSTIM\_CR1

偏移量：0x00

复位值：0x00000000

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **31-8** | **7** | **6-4** | **3** | **2** | **1** | **0** |
| RESERVED | ARPE | RESERVED | OPM | URS | UDIS | CEN |
| rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h |

**位 31-8 RESERVED：**保留。

**位 7 ARPE：**重装载影子寄存器使能。

* 0：BSTIM\_ARR 影子寄存器除能
* 1：BSTIM\_ARR 影子寄存器使能**位 6-4 RESERVED：**保留。

**位 3 OPM：**单脉冲模式使能。

* 0：单脉冲模式除能
* 1：单脉冲模式使能，计数器在下一次更新事件停止计数

**位 2 URS：**更新事件源选择，该位仅影响中断（UIF）和 DMA 标志位，不影响内部逻辑。

* 0：计数器溢出、UG 位置位，均可以置位 UIF
* 1：只有计数器溢出事件可以置位 UIF **位 1 UDIS：**更新事件除能。
* 0：更新事件使能，可以产生更新事件。
* 1：更新事件除能，影子寄存器和 UIF 均不会被更新，但是此时计数器和分频计数器仍可以被 UG 置位事件初始化。

**位 0 CEN：**计数器使能，单脉冲模式下 CEN 由硬件清零。

* 0：计数器除能
* 1：计数器使能

#### 17.13.2 BSTIM\_CR2

偏移量：0x00 复位值：0x00000000

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **31-7** | **6-4** | **3-0** |
| RESERVED | MMS | RESERVED |
| rw-0h | rw-0h | rw-0h |

**位 31-7 RESERVED：**保留。

**位 6-4 MMS：**主模式选择，可以配置 TRGO 输出。

* 000：复位模式，UG 将作为 TRGO 信号输出
* 001：使能模式，CEN 将作为 TRGO 信号输出
* 010：更新模式，更新事件（内部信号）将作为 TRGO 信号输出
* 其它值：保留**位 3-0 RESERVED：**保留。

#### 17.13.3 BSTIM\_DIER

偏移量：0x0c 复位值：0x00000000

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **31-9** | **8** | **7-1** | **0** |
| RESERVED | UDE | RESERVED | UIE |
| rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h |

**位 31-9 RESERVED：**保留。**位 8 UDE：**更新事件 DMA 请求使能。

* 0：禁用更新事件 DMA 请求
* 1：使能更新事件 DMA 请求**位 7-1 RESERVED：**保留。**位 0 UIE：**更新事件中断请求使能。
* 0：禁用更新事件中断请求
* 1：使能更新事件中断请求

#### 17.13.4 BSTIM\_SR

偏移量：0x10 复位值：0x00000000

|  |  |
| --- | --- |
| **31-1** | **0** |
| RESERVED | UIF |
| r-0h | r-0h |

**位 31-1 RESERVED：**保留。**位 0 UIF：**更新事件标志。

* 0：无事件
* 1：更新事件发生

#### 17.13.5 BSTIM\_EGR

偏移量：0x14 复位值：0x00000000

|  |  |
| --- | --- |
| **31-1** | **0** |
| RESERVED | UG |
| w-0h | w-0h |

**位 31-1 RESERVED：**保留。**位 0 UG：**更新事件产生。

* 0：无动作
* 1：产生一次更新事件

#### 17.13.6 BSTIM\_CNT

偏移量：0x24 复位值：0x00000000

|  |  |
| --- | --- |
| **31-16** | **15-0** |
| RESERVED | CNT |
| rw-0h | rw-0h |

**位 31-16 RESERVED：**保留。**位 15-0 CNT：**计数器计数值。

#### 17.13.7 BSTIM\_PSC

偏移量：0x28 复位值：0x00000000

|  |  |
| --- | --- |
| **31-16** | **15-0** |
| RESERVED | PSC |
| rw-0h | rw-0h |

**位 31-16 RESERVED：**保留。

**位 15-0 PSC：**时钟分频值为 PSC+1。

#### 17.13.8 BSTIM\_ARR

偏移量：0x2c

复位值：0x0000ffff

|  |  |
| --- | --- |
| **31-16** | **15-0** |
| RESERVED | ARR |
| rw-0h | rw-ffffh |

**位 31-16 RESERVED：**保留。

**位 15-0 ARR：**计数器重装载值。

## 18. 实时时钟 (RTC)

### 18.1 简介

RTC（Real Time Clock）是一个独立的BCD计时器/计数器，有两个32位寄存器包含秒、分、小时（12 或 24 小时格式）、星期、日期（月的日期）、月和年，用二进制编码的十进制格式

表示（BCD），还有一个 32 位寄存器表示亚秒值。RTC 支持在低功耗模式运行。

### 18.2 主要特性

RTC 包括如下功能：

* 日历计数功能，采用 BCD 格式，支持秒、分、小时、日、星期、月、年、
* 支持 ppm 调整，调整步长 0.5ppm，支持+/-1024 ppm 调整
* 支持低功耗唤醒
* tamper/wakeup IO 检测功能，支持有效电平选择，滤波拍数可配置
* 周期计数功能，32 位计数器
* 闹钟功能，支持两个闹钟，支持 Mask 选择与日历匹配
* tamper/wakeup 报警清除 retention sram 功能
* 内部信号 IO 输出，包括 alarm0 匹配脉冲，alarm1 匹配脉冲，周期计数匹配脉冲，秒信号输出
* 支持日历计数值读取
* 支持 sub-second 计数值读取
* 支持周期计数的计数值读取
* 支持中断信号产生

### 18.3 接口时钟

RTC 接口时钟源有 XO32K 和 RCO32K，XO32K 的时钟精度一般比 RCO32K 要高。

时钟配置和选择可以参考 *RCC* 章节。

### 18.4 日历

RTC 日历时间和日期可以通过两种类型的寄存器访问获取，一种是异步的，一种是同步的，两种寄存器分别如下：

* **异步寄存器** RTC\_SYNDATA 和 RTC\_SYNDATA\_H，RTC\_SYNDATA 表示时分秒， RTC\_SYNDATA\_H 表示年月日星期。
* **同步寄存器** RTC\_CALENDAR\_R 和 RTC\_CALENDAR\_R\_H，RTC\_CALENDAR\_R 表示时分秒，RTC\_CALENDAR\_R\_H 表示年月日星期。

#### 18.4.1 读取日历

只介绍通过同步寄存器读取日历，由于采用打拍同步，需要多次读到同一值，才可以使用，不能仅读取一次。读取顺序如下：

1. 先读取 RTC\_SUB\_SECOND 寄存器的值，获取 SUBSECOND\_COUNT 拍数。
2. 连续两次读取 RTC\_CALENDAR\_R 的值，如果两次的值不等，则继续读取，直到连续两次的值相等。
3. 连续两次读取 RTC\_CALENDAR\_R\_H 的值，如果两次的值不等，则继续读取，直到连续两次的值相等。
4. 最后再读一次 RTC\_SUB\_SECOND 寄存器的值，如果与步骤(1) 的值不一致，则重新从步骤(1) 开始读取寄存器的值。
5. 由于 SUBSECOND\_COUNT 从最大值变为 0 时，寄存器 RTC\_CALENDAR\_R 或 RTC\_CALENDAR\_R\_H 的值可能没有产生变化，因此如果 SUBSECOND\_COUNT 为 0 时，则继续重新从步骤(1) 开始读取寄存器的值，如果 SUBSECOND\_COUNT 不为 0，则完整的日历时间读取完成。

SUBSECOND\_COUNT 拍数转换为微秒 sub-second，先要通过 RCC 获知 RTC 的接口时钟 fRTCCLK，则计算 sub-second 的公式如下：

***sub-second=(1000000\*SUBSECOND\_COUNT)/fRTCCLK***

#### 18.4.2 设置日历

设置日历需要配置两个 RTC 寄存器：RTC\_CALENDAR\_H 和 RTC\_CALENDAR。RTC\_ CALENDAR\_H 为年月日星期信息，RTC\_CALENDAR 为时分秒信息，RTC\_SUB\_SECOND 寄存器不能配置，所以 sub-second 不能配置。日历配置顺序如下：

1. 读 RTC\_SR1 寄存器，等待寄存器中全部的 WRITE\_XXX\_DONE 位为 1 后，即 RTC\_SR1 寄存器的 bit1 至 bit11 全为 1，才允许对寄存器进行写操作。
2. 配置 RTC\_CALENDAR\_H 寄存器，即配置年月日星期。
3. 读 RTC\_SR1 寄存器，等待寄存器中全部的 WRITE\_XXX\_DONE 位为 1 后，即 RTC\_SR1 寄存器的 bit1 至 bit11 全为 1，才允许对寄存器进行写操作。
4. 配置 RTC\_CALENDAR 寄存器，即配置时分秒。

### 18.5 RTC PPM 调整

RTC 频率的校准分辨率约为 0.5ppm 范围从 -1024ppm 到 +1024ppm，为 0 时表示不调整，通过配置寄存器RTC\_PPMADJUST 的值来设置 PPM 的调整值，0 ppm 对应RTC\_PPMADJUST 寄存器的值应该为 0x7FFF。设置 PPM 调整的流程如下：

1. 读 RTC\_SR1 寄存器，等待寄存器中全部的 WRITE\_XXX\_DONE 位为 1 后，即 RTC\_SR1 寄存器的 bit1 至 bit11 全为 1，才允许对寄存器进行写操作。
2. 配置 RTC\_PPMADJUST 寄存器的值。

#### 18.6 低功耗唤醒

RTC 可以通过中断或唤醒信号将 MCU 从 Sleep、Stop、Standby 中唤醒。

**表 18-1 RTC 唤醒源**

|  |  |
| --- | --- |
| 休眠模式 | 唤醒描述 |
| Sleep | RTC 所有中断可以使设备从 sleep 模式中唤醒 |
| Stop0、Stop1、Stop2、  Stop3 | Wakeup/tamper IO、alarm、cyc 的唤醒信号可以使设备从 stop 模式中唤醒 |
| Standby | Wakeup/tamper IO、alarm、cyc 的唤醒信号可以使设备从 standby 模式中唤醒 |

设置 wakeup/tamper IO、alarm、cyc 的唤醒信号是通过寄存器 RTC\_CR，对应寄存器中的 bit 名称分别如下表：

##### 表 18-2 配置唤醒信号使能的 bit 信息

|  |  |
| --- | --- |
| 功能 | RTC\_CR寄存器bit信息 |
| WAKEUP\_IO0 | WAKEUP0\_WKEN1 |
| WAKEUP\_IO1 | WAKEUP1\_WKEN1 |
| WAKEUP\_IO2 | WAKEUP2\_WKEN1 |
| TAMPER | TAMPER\_WKEN1 |
| ALARM0 | RTC\_ALARM0\_WKEN |
| ALARM1 | RTC\_ALARM1\_WKEN |
| CYC | CYC\_WKEN |

### 18.7 tamper/wakeup IO 检测

tamper/wakeup IO 的输入事件可以配置为边沿检测，也可以配置为电平检测，电平检测时可以配置滤波。边沿检测表示检测 GPIO 的上升沿或下降沿，电平检测表示检测 GPIO 的高电平或低电平，如果高电平有效，GPIO 输入高电平则会检测到输入事件，如果低电平有效，GPIO输入低电平则会检测到输入事件。当检测到输入事件可以配置产生如下操作：

* 清除保留 SRAM 的内容
* 产生一个中断，并且能够从 sleep 模式中唤醒
* 产生唤醒信号，能够从 stop、standby 模式中唤醒

#### 18.7.1 初始化和配置流程

在 tamper/wakeup 初始化之前需要配置对应的 GPIO 为 tamper/wakeup 功能。如果是电平检测，需要配置 GPIO 的上下拉，高电平有效则配置下拉，低电平有效则配置上拉。以 tamper为例，其初始化和配置流程如下：

1. 如果是电平检测，则通过RTC\_CR寄存器的TAMPER\_FILTER\_CFG位配置滤波拍数，并且配置有效电平即低电平有效还是高电平有效，此 bit 位为 RTC\_CR 寄存器的 TAMPER\_LEVEL\_SEL，最后使能电平唤醒，即配置 RTC\_CR 寄存器的 TAMPER\_

WKEN0。**如果是边沿检测，则忽略此步骤。**

1. 如果需要从 stop、standby 模式中唤醒，则配置唤醒使能，即配置 RTC\_CR 寄存器的

TAMPER\_WKEN1，**否则忽略此步骤**。

1. 置位 RTC\_CR 寄存器的 TAMPER\_EN 来使能 tamper 功能。

##### 18.7.2 清除保留 SRAM

当检测到 tamper/wakeup IO 的输入事件时可以配置清除保留 SRAM 的内容，置位 RTC\_CR2

寄存器的RTC\_RET\_SRAM\_ERASE\_EN的对应的bit位可以配置该功能。bit0对应wakeupio0， bit1 对应 wakeupio1，bit2 对应 wakeupio2，bit3 对应 tamper。

#### 18.8 周期计数功能

周期计数功能可以定时产生中断或唤醒事件。定时时间通过配置寄存器 RTC\_CYC\_MAX\_ VALUE 的值进行设置，计算定时时间 time 先要通过 RCC 获知 RTC 的接口时钟 fRTCCLK，寄存器 RTC\_CYC\_MAX\_VALUE 的值为 CYC\_MAX\_VALUE，则计算 time 的公式如下，单位为微秒：

##### *Regular interval= (1000000 \* CYC\_MAX\_VALUE) / fRTCCLK*

周期计数过程中可以读取已经经过的拍数，就可以得到本轮计数开始到当前时刻的时间间隔 interval，已经经过的拍数通过读取 RTC\_CYC\_CNT\_VALUE 的值 CYC\_CNT\_VALUE 获得，计算 interval 的公式如下，单位为微秒：

##### *Interval= (1000000 \* CYC\_CNT\_VALUE) / fRTCCLK*

周期计数功能的配置流程如下：

1. 已知 time，根据上述公式计算得到 CYC\_MAX\_VALUE 的值，把此值配置到寄存器

RTC\_CYC\_MAX\_VALUE 中。

1. 如果需要从 stop、standby 模式中唤醒，则配置唤醒使能，即配置 RTC\_CR 寄存器的

CYC\_WKEN，否则无需配置。

1. 使能周期计数功能，即置位 RTC\_CR 寄存器的 CYC\_START\_COUNTER。

#### 18.9 闹钟功能

RTC 提供两个闹钟为闹钟 0 和闹钟 1，两个闹钟都支持 Mask 选择与日历匹配，Mask 配置可以选择匹配 sub-second、秒、分钟、小时、日期、星期，日期和星期匹配只能二选一。

如果寄存器RTC\_ALARMx中的Bit位ALARMx\_WEEK\_SEL为0，则只能选择是否匹配日期，如果 ALARMx\_WEEK\_SEL 为 1，则只能选择是否匹配星期，x 表示 0 或 1。当没有配置秒和 sub-second 匹配而配置了分钟匹配，则闹钟定时时间到了后，在当前一分钟内会以一秒为间隔产生 60 次中断或/和唤醒事件，如果使能了闹钟中断则会产生中断，如果使能了闹钟唤醒功能则会产生唤醒事件，当没有配置秒、sub-second 和分钟的匹配而配置了小时匹配，则闹钟定时时间到了后，在当前一小时内会以一秒为间隔产生 3600 次中断或/和唤醒事件。

闹 钟 的 秒 、 分 钟 、 小 时 、 日 期 、 星 期 Mask 通 过 配 置 RTC\_ALARMx 寄 存 器 中 的 ALARMx\_MASK 字段实现，sub-second 的 Mask 设置通过配置 RTC\_ALARMx\_SUB 寄存器的 RTC\_ALARMx\_SUB\_MASK 实现，sub-second 的定时值设置通过配置 RTC\_ALARMx\_SUB 寄存器的 RTC\_ALARMx\_SUB\_VALUE 实现，RTC\_ALARMx\_SUB\_VALUE 的值表示拍数，拍数转换成时间的公式与周期计数的拍数转换成时间的一样，x 表示 0 或 1，分别对应闹钟 0 和闹钟 1。以闹钟 0 为例描述闹钟配置流程如下：

1. 设置日历。
2. 配置闹钟 0 定时值，配置寄存器 RTC\_ALARM0 的 ALARM0\_VALUE 字段，即配置定时时间的小时、分钟、秒、日期或星期。
3. 配 置 闹 钟 0 的 sub-second 定 时 值 ， 即 配 置 寄 存 器 RTC\_ALARM0\_SUB 的

RTC\_ALARM0\_SUB\_VALUE。

1. 配置闹钟 0 的小时、分钟、秒、日期或星期的 Mask。
2. 配置闹钟 0 的 sub-second 的 Mask。
3. 如果需要闹钟的中断，则使能中断，如果需要唤醒事件，则使能闹钟 0 的唤醒功能，即配置寄存器 RTC\_CR 的 bit 位 RTC\_ALARM0\_WKEN。
4. 使能闹钟 0 功能，通过配置寄存器 RTC\_ALARM0 的 ALARM0\_EN。
5. 使能日历功能，即置位寄存器 RTC\_CR 的 bit 位 RTC\_START\_RTC。

### 18.10 内部信号 IO 输出

内部的能通过 IO 输出的信号包括闹钟 0 脉冲，闹钟 1 脉冲，周期计数脉冲，秒信号输出。闹钟、周期计数脉冲是宽度为一拍的脉冲，alarm 脉冲是在定时时间到的时候输出，周期计数脉冲是在每次计数满一个周期后输出，是周期输出的，秒信号是占空比为 50%的方波，周期为 1 秒。IO 输出的电平可以被取反，配置寄存器 RTC\_CR2 的 RTC\_OUT\_POL 位为 0 时表示原电平，为 1 是表示电平取反。配置寄存器 RTC\_CR2 的 RTC\_OUT\_SEL 进行输出信号的选择。

### 18.11 中断

RTC 的中断信号如下：

**表 18-3 RTC 中断信号**

|  |  |
| --- | --- |
| 中断名称 | 描述 |
| 闹钟 0 中断 | 闹钟 0 定时时间到产生的中断 |
| 闹钟 1 中断 | 闹钟 1 定时时间到产生的中断 |
| 周期计数中断 | 计数满一个周期时产生的中断 |
| Tamper 中断 | Tamper 检测到输入事件时产生的中断 |
| Wakeupio0 中断 | Wakeupio0 检测到输入事件时产生的中断 |
| Wakeupio1 中断 | Wakeupio1 检测到输入事件时产生的中断 |
| Wakeupio2 中断 | Wakeupio2 检测到输入事件时产生的中断 |
| 秒中断 | 秒信号在每一秒产生的中断 |

上述中断的使能通过配置寄存器 RTC\_CR1 实现，除秒中断的中断状态外，其它所有中断的中断状态都可以通过寄存器 RTC\_SR 获得，秒中断的中断状态通过寄存器 RTC\_SR1 的

SECOND\_SR 位获得。

### 18.12 RTC 相关寄存器描述

基地址：0x4000E000

**表 18-4 RTC 寄存器列表**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 寄存器 | 偏移量 | 描述 |
| RTC\_CR | 0x00 | 控制寄存器 |
| RTC\_ALARM0 | 0x04 | 闹钟 0 寄存器 |
| RTC\_ALARM1 | 0x08 | 闹钟 1 寄存器 |
| RTC\_PPMADJUST | 0x0c | PPM 调整寄存器 |
| RTC\_CALENDAR | 0x10 | 日历配置时分秒寄存器 |
| RTC\_CALENDAR\_H | 0x14 | 日历配置年月日星期寄存器 |
| RTC\_CYC\_MAX\_VALUE | 0x18 | 周期计数值配置寄存器 |
| RTC\_SR | 0x1c | 中断状态寄存器 |
| RTC\_ASYNDATA | 0x20 | 日历异步读取时分秒寄存器 |
| RTC\_ASYNDATA\_H | 0x24 | 日历异步读取年月日星期寄存器 |
| RTC\_CR1 | 0x28 | 中断使能寄存器 |
| RTC\_SR1 | 0x2c | 操作状态寄存器 |
| RTC\_CR2 | 0x30 | 控制寄存器 2 |
| RTC\_SUB\_SECOND | 0x34 | 读取 sub-second 寄存器 |
| RTC\_CYC\_CNT\_VALUE | 0x38 | 只读周期计数值寄存器 |
| RTC\_ALARM0\_SUB | 0x3c | 闹钟 0 的 sub-second 寄存器 |
| RTC\_ALARM1\_SUB | 0x40 | 闹钟 1 的 sub-second 寄存器 |
| RTC\_CALENDAR\_R | 0x44 | 日历同步读取时分秒寄存器 |
| RTC\_CALENDAR\_R\_H | 0x48 | 日历同步读取年月日星期寄存器 |

#### 18.12.1 RTC\_CR

偏移量：0x00 复位值：0x00000000

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **31-29** |  | **28** | | **27** | | **26** | | **25** | |
| RESERVED |  | RTC\_START\_RT  C | | RTC\_ALARM0\_W  KEN | | RTC\_ALARM1\_W  KEN | | CYC\_WKEN | |
| r-0h |  | rw-0h | | rw-0h | | rw-0h | | rw-0h | |
| **24** |  | **23** | | **22** | | **21** | | **20** | |
| CYC\_START\_C  UNTER | O | TAMPER\_EN | | TAMPER\_LEVEL\_  SEL | | TAMPER\_WKEN0 | | TAMPER\_WKEN1 | |
| rw-0h |  | rw-0h | | rw-0h | | rw-0h | | rw-0h | |
| **19-18** |  | **17** | | **16** | | **15** | | **14** | |
| TAMPER\_FILT  \_CFG | ER | WAKEUP0\_EN | | WAKEUP0\_LEVE  L\_SEL | | WAKEUP0\_WKE  N0 | | WAKEUP0\_WKE  N1 | |
| rw-0h |  | rw-0h | | rw-0h | | rw-0h | | rw-0h | |
| **13-12** |  | **11** | | **10** | | **9** | | **8** | |
| WAKEUP0\_FIL  R\_CFG | TE | WAKEUP1\_EN | | WAKEUP1\_LEVE  L\_SEL | | WAKEUP1\_WKE  N0 | | WAKEUP1\_WKE  N1 | |
| rw-0h |  | rw-0h | | rw-0h | | rw-0h | | rw-0h | |
| **7-6** | **5** | | **4** | | **3** | | **2** | | **1-0** |
| WAKEUP1\_FI  LTER\_CFG | WAKEUP2\_E  N | | WAKEUP2\_LE  VEL\_SEL | | WAKEUP2\_W  KEN0 | | WAKEUP2\_W  KEN1 | | WAKEUP2\_FI  LTER\_CFG |
| rw-0h | rw-0h | | rw-0h | | rw-0h | | rw-0h | | rw-0h |

**位 31-29 RESERVED：**保留。

**位 28 RTC\_START\_RTC：**RTC 日历使能控制。

* 0：不使能
* 1：使能**位 27 RTC\_ALARM0\_WKEN：**ALARM0\_SR 唤醒使能。
* 0：不使能
* 1：使能**位 26 RTC\_ALARM1\_WKEN：**ALARM1\_SR 唤醒使能。
* 0：不使能
* 1：使能**位 25 CYC\_WKEN：**CYC\_SR 唤醒使能。
* 0：不使能
* 1：使能**位 24 CYC\_START\_COUNTER：**定时功能使能控制。
* 0：不使能
* 1：使能

**位 23 TAMPER\_EN：**TAMPER 功能使能。

* 0：不使能
* 1：使能**位 22 TAMPER\_LEVEL\_SEL：**TAMPER 有效电平选择。
* 0：低电平有效
* 1：高电平有效**位 21 TAMPER\_WKEN0：**TAMPER 电平唤醒使能。
* 0：不使能
* 1：使能

TAMPER\_EN 为 0 时，仍可用于唤醒。

**位 20 TAMPER\_WKEN1：**TAMPER\_SR 唤醒使能。

* 0：不使能
* 1：使能**位 19-18 TAMPER\_FILTER\_CFG：**TAMPER 的滤波控制。
* 0：不滤波
* 1：滤波 1 拍 rtc 接口时钟
* 2：滤波 3 拍 rtc 接口时钟
* 3：滤波 7 拍 rtc 接口时钟**位 17 WAKEUP0\_EN：**WAKEUP0 功能使能。
* 0：不使能
* 1：使能**位 16 WAKEUP0\_LEVEL\_SEL：**WAKEUP0 有效电平选择。
* 0：低电平有效  1：高电平有效**位 15 WAKEUP0\_WKEN0：**WAKEUP0 电平唤醒使能。
* 0：不使能
* 1：使能

WAKEUP0\_EN 为 0 时，仍可用于唤醒。

**位 14 WAKEUP0\_WKEN1：**WAKEUP0\_SR 唤醒使能。

* 0：不使能
* 1：使能**位 13-12 WAKEUP0\_FILTER\_CFG：**WAKEUP0 的滤波控制。
* 0：不滤波
* 1：滤波 1 拍 rtc 接口时钟
* 2：滤波 3 拍 rtc 接口时钟
* 3：滤波 7 拍 rtc 接口时钟**位 11 WAKEUP1\_EN：**WAKEUP1 功能使能。
* 0：不使能
* 1：使能

**位 10 WAKEUP1\_LEVEL\_SEL：**WAKEUP1 有效电平选择。

* 0：低电平有效
* 1：高电平有效**位 9 WAKEUP1\_WKEN0：**WAKEUP1 电平唤醒使能。
* 0：不使能
* 1：使能

WAKEUP1\_EN 为 0 时，仍可用于唤醒。

**位 8 WAKEUP1\_WKEN1：**WAKEUP1\_SR 唤醒使能。

* 0：不使能
* 1：使能**位 7-6 WAKEUP1\_FILTER\_CFG：**WAKEUP1 的滤波控制。
* 0：不滤波
* 1：滤波 1 拍 rtc 接口时钟
* 2：滤波 3 拍 rtc 接口时钟
* 3：滤波 7 拍 rtc 接口时钟**位 5 WAKEUP2\_EN：**WAKEUP2 功能使能。
* 0：不使能
* 1：使能**位 4 WAKEUP2\_LEVEL\_SEL：**WAKEUP2 有效电平选择。
* 0：低电平有效
* 1：高电平有效**位 3 WAKEUP2\_WKEN0：**WAKEUP2 电平唤醒使能。
* 0：不使能
* 1：使能

WAKEUP2\_EN 为 0 时，仍可用于唤醒。

**位 2 WAKEUP2\_WKEN1：**WAKEUP2\_SR 唤醒使能。

* 0：不使能
* 1：使能**位 1-0 WAKEUP2\_FILTER\_CFG：**WAKEUP2 的滤波控制。
* 0：不滤波
* 1：滤波 1 拍 rtc 接口时钟
* 2：滤波 3 拍 rtc 接口时钟
* 3：滤波 7 拍 rtc 接口时钟

#### 18.12.2 RTC\_ALARM0

偏移量：0x04 复位值：0x00000000

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **31** | **30** | **29-26** | **25-0** |
| ALARM0\_EN | ALARM0\_WEEK\_SEL | ALARM0\_MASK | ALARM0\_VALUE |
| rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h |

**位 31 ALARM0\_EN：**闹钟 0 使能控制。

* 0：不使能
* 1：使能**位 30 ALARM0\_WEEK\_SEL：**闹钟 0 星期与日期选择。
* 0：匹配日期
* 1：匹配星期，星期为日期个位的低 3bit **位 29-26 ALARM0\_MASK：**闹钟 0 的 Mask 配置。

1. 控制是否匹配秒。
   * 0：匹配
   * 1：不匹配
2. 控制是否匹配分钟。
   * 0：匹配
   * 1：不匹配
3. 控制是否匹配小时。
   * 0：匹配
   * 1：不匹配
4. 控制是否匹配日期或星期。
   * 0：匹配
   * 1：不匹配**位 25-0 ALARM0\_VALUE：**闹钟 0 定时值配置。当 rtc 日历与闹钟 0 配置匹配时，可以产生

ALARM0\_SR。

[3:0]：秒个位

[6:4]：秒十位

[10:7]：分钟个位

[13:11]：分钟十位

[17:14]：小时个位

[19:18]：小时十位

[23:20]：日期个位，其中 [22:20] 也可代表星期 [25:24]：日期十位

#### 18.12.3 RTC\_ALARM1

偏移量：0x08 复位值：0x00000000

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **31** | **30** | **29-26** | **25-0** |
| ALARM1\_EN | ALARM1\_WEEK\_SEL | ALARM1\_MASK | ALARM1\_VALUE |
| rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h |

**位 31 ALARM1\_EN：**闹钟 1 使能控制。

* 0：不使能
* 1：使能**位 30 ALARM1\_WEEK\_SEL：**闹钟 1 星期与日期选择。
* 0：匹配日期
* 1：匹配星期，星期为日期个位的低 3bit **位 29-26 ALARM1\_MASK：**闹钟 1 的 Mask 配置。

1. 控制是否匹配秒。
   * 0：匹配
   * 1：不匹配
2. 控制是否匹配分钟。
   * 0：匹配
   * 1：不匹配
3. 控制是否匹配小时。
   * 0：匹配
   * 1：不匹配
4. 控制是否匹配日期或星期。
   * 0：匹配
   * 1：不匹配**位 25:0 ALARM1\_VALUE：**闹钟 1 定时值配置。当 rtc 日历与闹钟 1 配置匹配时，可以产生

ALARM1\_SR。

[3:0]：秒个位

[6:4]：秒十位

[10:7]：分钟个位

[13:11]：分钟十位

[17:14]：小时个位

[19:18]：小时十位

[23:20]：日期个位，其中 [22:20] 也可代表星期 [25:24]：日期十位

#### 18.12.4 RTC\_PPMADJUST

偏移量：0x0c

复位值：0x00007fff

|  |  |
| --- | --- |
| **31-16** | **15-0** |
| RESERVED | PPMADJUST\_VALUE |
| r-0h | rw-7fffh |

**位 31-16 RESERVED：**保留。

**位 15-0 PPMADJUST\_VALUE：**32k 时钟频率 ppm 调整配置。1 代表 0.5ppm。可配置范围为 77ff 到 87ff。

* 77ff：调整+1024 ppm  7800：调整+1023.5 ppm
* ...
* 7ffd：调整+1 ppm
* 7ffe：调整+0.5 ppm
* 7fff：调整 0 ppm，即不调整
* 8000：调整-0.5 ppm
* 8001：调整-1 ppm
* …
* 87fe：调整-1023.5ppm
* 87ff：调整-1024ppm

#### 18.12.5 RTC\_CALENDAR

偏移量：0x10 复位值：0x00000000

|  |  |
| --- | --- |
| **31-20** | **19-0** |
| RESERVED | CALENDAR\_VALUE |
| r-0h | w-0h |

**位 31-20 RESERVED：**保留。

**位 19-0 CALENDAR\_VALUE：**RTC 日历数据低位。

[3:0]：秒个位

[6:4]：秒十位

[10:7]：分钟个位

[13:11]：分钟十位

[17:14]：小时个位

[19:18]：小时十位

#### 18.12.6 RTC\_CALENDAR\_H

偏移量：0x14 复位值：0x00000841

|  |  |
| --- | --- |
| **31-22** | **21-0** |
| RESERVED | CALENDAR\_H\_VALUE |
| r-0h | w-841h |

**位 31-22 RESERVED：**保留。

**位 21-0 CALENDAR\_H\_VALUE：**RTC 日历数据高位。

[3:0]：日期个位

[5:4]：日期十位

[9:6]：月份个位

[10]：月份十位

[13:11]：星期

[17:14]：年个位

[21:18]：年十位

#### 18.12.7 RTC\_CYC\_MAX\_VALUE

偏移量：0x18 复位值：0x00008000

|  |
| --- |
| **31-0** |
| CYC\_MAX\_VALUE |
| rw-8000h |

**位 31-0 CYC\_MAX\_VALUE：**周期计数值配置，当周期计数器的计数值等于 CYC\_MAX\_VALUE 时，触发周期唤醒状态位，周期计数使用 RTC 接口时钟进行计数。

#### 18.12.8 RTC\_SR

偏移量：0x1c 复位值：0x00000000

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **31-7** | **6** | **5** | **4** |
| RESERVED | ALARM0\_SR | ALARM1\_SR | CYC\_SR |
| r-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h |
| **3** | **2** | **1** | **0** |
| TAMPER\_SR | WAKEUP0\_SR | WAKEUP1\_SR | WAKEUP2\_SR |
| rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h |

**位 31-7 RESERVED：**保留。

**位 6 ALARM0\_SR：**闹钟 0 触发状态位。硬件置 1，软件写 1 清 0。

* 0：未发生
* 1：发生**位 5 ALARM1\_SR：**闹钟 1 触发状态位。硬件置 1，软件写 1 清 0。
* 0：未发生
* 1：发生**位 4 CYC\_SR：**周期唤醒触发状态位。硬件置 1，软件写 1 清 0。
* 0：未发生
* 1：发生**位 3 TAMPER\_SR：**tamper 触发状态位。硬件置 1，软件写 1 清 0。
* 0：未发生
* 1：发生**位 2 WAKEUP0\_SR：**wakeup0 触发状态位。硬件置 1，软件写 1 清 0。
* 0：未发生
* 1：发生**位 1 WAKEUP1\_SR：**wakeup1 触发状态位。硬件置 1，软件写 1 清 0。
* 0：未发生
* 1：发生**位 0 WAKEUP2\_SR：**wakeup2 触发状态位。硬件置 1，软件写 1 清 0。
* 0：未发生
* 1：发生

#### 18.12.9 RTC\_ASYNDATA

偏移量：0x20 复位值：0x00000000

|  |  |
| --- | --- |
| **31-20** | **19-0** |
| RESERVED | SYN\_DATA |
| r-0h | r-0h |

**位 31-20 RESERVED：**保留。

**位 19-0 SYN\_DATA：**RTC 日历数据低位。软件只读。

[3:0]：秒个位

[6:4]：秒十位

[10:7]：分钟个位

[13:11]：分钟十位

[17:14]：小时个位

[19:18]：小时十位

#### 18.12.10 RTC\_ASYNDATA\_H

偏移量：0x24 复位值：0x00000000

|  |  |
| --- | --- |
| **31-22** | **21-0** |
| RESERVED | SYN\_DATA\_H |
| r-0h | r-0h |

**位 31-22 RESERVED：**保留。

**位 21-0 SYN\_DATA\_H：**RTC 日历数据高位。软件只读。

[3:0]：日期个位

[5:4]：日期十位

[9:6]：月份个位

[10]：月份十位

[13:11]：星期

[17:14]：年个位

[21:18]：年十位

#### 18.12.11 RTC\_CR1

偏移量：0x28 复位值：0x00000000

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **31-8** | **7** | **6** |
| RESERVED | SECOND\_SR\_INT\_EN | ALARM0\_SR\_INT\_EN |
| r-0h | rw-0h | rw-0h |
| **5** | **4** | **3** |
| ALARM1\_SR\_INT\_EN | CYC\_SR\_INT\_EN | TAMPER\_SR\_INT\_EN |
| rw-0h | rw-0h | rw-0h |
| **2** | **1** | **0** |
| WAKEUP0\_SR\_INT\_EN | WAKEUP1\_SR\_INT\_EN | WAKEUP2\_SR\_INT\_EN |
| rw-0h | rw-0h | rw-0h |

**位 31-8 RESERVED：**保留。

**位 7 SECOND\_SR\_INT\_EN：**秒中断使能。

* 0：不使能
* 1：使能**位 6 ALARM0\_SR\_INT\_EN：**ALARM0\_SR 中断使能。
* 0：不使能
* 1：使能**位 5 ALARM1\_SR\_INT\_EN：**ALARM1\_SR 中断使能。
* 0：不使能
* 1：使能**位 4 CYC\_SR\_INT\_EN：**CYC\_SR 中断使能。
* 0：不使能
* 1：使能**位 3 TAMPER\_SR\_INT\_EN：**TAMPER\_SR 中断使能。
* 0：不使能
* 1：使能**位 2 WAKEUP0\_SR\_INT\_EN：**WAKEUP0\_SR 中断使能。
* 0：不使能
* 1：使能**位 1 WAKEUP1\_SR\_INT\_EN：**WAKEUP1\_SR 中断使能。
* 0：不使能
* 1：使能**位 0 WAKEUP2\_SR\_INT\_EN：**WAKEUP2\_SR 中断使能。
* 0：不使能
* 1：使能

#### 18.12.12 RTC\_SR1

偏移量：0x2c

复位值：0x00000dff

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **31-12** | **11** | | **10** | | **9** |
| RESERVED | WRITE\_ALARM0\_SUB\_DONE | | WRITE\_ALARM1\_SUB\_DONE | | SECOND\_SR |
| r-0h | r-1h | | r-1h | | rw-0h |
| **8** | | **7** | | **6** | |
| WRITE\_RTCCR2\_DONE | | WRITE\_RTCCR\_DONE | | WRITE\_ALARM0\_DONE | |
| r-1h | | r-1h | | r-1h | |
| **5** | | **4** | | **3** | |
| WRITE\_ALARM1\_DONE | | WRITE\_PPMADJUST\_DONE | | WRITE\_CALENDAR\_DONE | |
| r-1h | | r-1h | | r-1h | |
| **2** | | **1** | | **0** | |
| WRITE\_CYC\_MAX\_VALUE\_DONE | | WRITE\_RTCSR\_DONE | | READ\_CALENDAR\_DONE | |
| r-1h | | r-1h | | r-1h | |

**位 31-12 RESERVED：**保留。

**位 11 WRITE\_ALARM0\_SUB\_DONE：**对 *RTC\_ALARM0\_SUB* 寄存器的写操作的完成状态。硬件控制置 1 与清 0。

* 0：操作正在进行中
* 1：操作已完成**位 10 WRITE\_ALARM1\_SUB\_DONE：**对 *RTC\_ALARM1\_SUB* 寄存器的写操作的完成状态。硬件控制置 1 与清 0。
* 0：操作正在进行中
* 1：操作已完成**位 9 SECOND\_SR：**秒中断状态。硬件置 1，软件写 1 清 0。
* 0：无中断发生
* 1：有中断发生**位 8 WRITE\_RTCCR2\_DONE：**对 *RTC\_CR2* 寄存器的写操作的完成状态。硬件控制置 1 与清 0。
* 0：操作正在进行中
* 1：操作已完成**位 7 WRITE\_RTCCR\_DONE：**对 *RTC\_CR* 寄存器的写操作的完成状态。硬件控制置 1 与清 0。
* 0：操作正在进行中
* 1：操作已完成**位 6 WRITE\_ALARM0\_DONE：**对 *RTC\_ALARM0* 寄存器的写操作的完成状态。硬件控制置 1 与清 0。
* 0：操作正在进行中
* 1：操作已完成**位 5 WRITE\_ALARM1\_DONE：**对 *RTC\_ALARM1* 寄存器的写操作的完成状态。硬件控制置 1 与清 0。
* 0：操作正在进行中
* 1：操作已完成**位 4 WRITE\_PPMADJUST\_DONE：**对 *RTC\_PPMADJUST* 寄存器的写操作的完成状态。硬件控制置 1 与清 0。
* 0：操作正在进行中
* 1：操作已完成**位 3 WRITE\_CALENDAR\_DONE：**对 *RTC\_CALENDAR* 和 *RTC\_CALENDAR\_H* 寄存器的写操作的完成状态。硬件控制置 1 与清 0。
* 0：操作正在进行中
* 1：操作已完成**位 2 WRITE\_CYC\_MAX\_VALUE\_DONE：**对 *RTC\_CYC\_MAX\_VALUE* 的写操作的完成状态。硬件控制置 1 与清 0。
* 0：操作正在进行中
* 1：操作已完成**位 1 WRITE\_RTCSR\_DONE：**对 *RTC\_SR* 寄存器的写操作的完成状态。硬件控制置 1 与清 0。
* 0：操作正在进行中
* 1：操作已完成**位 0 READ\_CALENDAR\_DONE：**对 *RTC\_CALENDAR\_R* 和 *RTC\_CALENDAR\_R\_H* 寄存器的读操作的完成状态。硬件控制置 1 与清 0。
* 0：操作正在进行中
* 1：操作已完成

#### 18.12.13 RTC\_CR2

偏移量：0x30 复位值：0x00000000

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **31-8** | **7** | **6-4** | **3-0** |
| RESERVED | RTC\_OUT\_POL | RTC\_OUT\_SEL | RTC\_RET\_SRAM\_ERASE\_EN |
| r-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h |

**位 31-8 RESERVED：**保留。

**位 7 RTC\_OUT\_POL：**RTC IO 输出电平选择。

* 0：原电平
* 1：取反电平**位 6-4 RTC\_OUT\_SEL：**RTC IO 输出选择。
* 0-3：输出 0
* 4：alarm0 脉冲
* 5：alarm1 脉冲
* 6：cyc 脉冲
* 7：秒信号，占空比 50%

**位 3-0 RTC\_RET\_SRAM\_ERASE\_EN：**tamper 与 wakeup 报警触发 Retention SRAM 清除的功能使能。[0] 对应 wakeup0，[1] 对应 wakeup1，[2] 对应 wakeup2，[3] 对应 tamper。

* 0：不使能
* 1：使能

#### 18.12.14 RTC\_SUB\_SECOND

偏移量：0x34 复位值：0x00000000

|  |  |
| --- | --- |
| **31-15** | **14-0** |
| RESERVED | RTC\_SUB\_SECOND\_VALUE |
| r-0h | r-0h |

**位 31-15 RESERVED：**保留。

**位 14-0 RTC\_SUB\_SECOND\_VALUE：**rtc 日历计数中的秒以下部分的计数器值，由于采用打拍同步，需要多次读到同一值，才可以使用，不能仅读取一次（可能由于同步而读错）。

#### 18.12.15 RTC\_CYC\_CNT\_VALUE

偏移量：0x38 复位值：0x00000000

|  |
| --- |
| **31-0** |
| CYC\_CNT\_VALUE |
| r-0h |

**位 31-0 CYC\_CNT\_VALUE：**周期计数器值，由于采用打拍同步，需要多次读到同一值，才可以使用，不能仅读取一次（可能由于同步而读错）。

#### 18.12.16 RTC\_ALARM0\_SUB

偏移量：0x3c 复位值：0x00000000

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **31-20** | **19-16** | **15** | **14-0** |
| RESERVED | RTC\_ALARM0\_SUB\_MASK | RESERVED | RTC\_ALARM0\_SUB\_VALUE |
| r-0h | rw-0h | r-0h | rw-0h |

**位 31-20 RESERVED：**保留。

**位 19-16 RTC\_ALARM0\_SUB\_MASK：**闹钟 0 的 sub-second Mask 配置，使用 alarm0 的 subsecond 功能时，ppm 调整功能建议不使用。

* 0：sub-second 定时值配置不生效，仅在每秒考虑 rtc\_alarm0 是否匹配。
* 1：匹配 sub-second 计数的[0]，其它 sub-second 计数位不生效。
* 2：匹配 sub-second 计数的[1:0]，其它 sub-second 计数位不生效。
* N：匹配 sub-second 计数的[N-1:0]，其它 sub-second 计数位不生效。

**位 15 RESERVED：**保留。

**位 14-0 RTC\_ALARM0\_SUB\_VALUE：**闹钟 0 sub-second 定时值配置。当 rtc 日历计数值与闹钟

0 配置匹配时，产生 ALARM0\_SR。

#### 18.12.17 RTC\_ALARM1\_SUB

偏移量：0x40 复位值：0x00000000

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **31-20** | **19-16** | **15** | **14-0** |
| RESERVED | RTC\_ALARM1\_SUB\_MASK | RESERVED | RTC\_ALARM1\_SUB\_VALUE |
| r-0h | rw-0h | r-0h | rw-0h |

**位 31-20 RESERVED：**保留。

**位 19-16 RTC\_ALARM1\_SUB\_MASK：**闹钟 1 的 sub-second Mask 配置，使用 alarm1 的 subsecond 功能时，ppm 调整功能建议不使用。

* 0：sub-second 定时值配置不生效，仅在每秒考虑 rtc\_alarm1 是否匹配。
* 1：匹配 sub-second 计数的[0]，其它 sub-second 计数位不生效。
* 2：匹配 sub-second 计数的[1:0]，其它 sub-second 计数位不生效。
* N：匹配 sub-second 计数的[N-1:0]，其它 sub-second 计数位不生效。

**位 15 RESERVED：**保留。

**位 14-0 RTC\_ALARM1\_SUB\_VALUE：**闹钟 1 sub-second 定时值配置。当 rtc 日历计数值与闹钟 1 配置匹配时，产生 ALARM1\_SR。

#### 18.12.18 RTC\_CALENDAR\_R

偏移量：0x44 复位值：0x00000000

|  |  |
| --- | --- |
| **31-20** | **19-0** |
| RESERVED | CALENDAR\_SYNC |
| r-0h | r-0h |

**位 31-20 RESERVED：**保留。

**位 19-0 CALENDAR\_SYNC：**RTC 日历计数中的时分秒的计数器值，由于采用打拍同步，需要多次读到同一值，才可以使用，不能仅读取一次（可能由于同步而读错）。

#### 18.12.19 RTC\_CALENDAR\_R\_H

偏移量：0x48 复位值：0x00000841

|  |  |
| --- | --- |
| **31-22** | **21-0** |
| RESERVED | CALENDAR\_H\_SYNC |
| r-0h | r-841h |

**位 31-22 RESERVED：**保留。

**位 21-0 CALENDAR\_H\_SYNC：**RTC 日历计数中的年月日星期的计数器值，由于采用打拍同步，需要多次读到同一值，才可以使用，不能仅读取一次（可能由于同步而读错）。

### 19. 低功耗通用异步接收器 (LPUART)

#### 19.1 简介

LPUART（Low Power Universal Asynchronous Receiver/Transmitter）是一种低功耗的串口外设，32K 时钟下波特率最高支持 9600。在极低功耗模式下，LPUART 也可以被接收到的数据唤醒。

LPUART 支持 CTS/RTS 流量控制。

LPUART 支持 DMA 请求。

#### 19.2 主要特性

* 波特率可配置
* 数据格式可配置（5-8 位数据，1-2 位停止位，0-1 位奇偶校验位）
* 支持 DMA 请求
* TX/RX FIFO 深度为 1
* 支持 CTS/RTS 流控
* 支持中断请求
* 支持低功耗唤醒

#### 19.3 功能描述

##### 19.3.1 数据格式

0

/

1

0

/

1

0

/

1

0

/

1

0

/

1

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| DATA | PARITY | STOP |

START

**图 19-1 LPUART 的数据传输格式**

在空闲时，LPUART 的数据线应该保持在高电平。

在数据传输时，依次传输起始位（START）, 数据位（DATA），奇偶校验位（PARITY）和停止位（STOP）。各个位的含义如下：

1. **起始位：**先发送一个 0 信号，表示数据传输开始。
2. **数据位：**根据配置，依次传输 5-8 个 bit。
3. **奇偶校验位：**数据位后，传输一个 bit 的奇偶校验位，也可以配置为无奇偶校验位。
4. **停止位：**数据传输结束的标志，可以是 1 或者 2 个 bit。

##### 19.3.2 波特率产生

LPUART 波特率的配置支持小数分频，其主要通过 LPUART\_BAUD\_RATE\_INT 和 LPUART\_

BAUD\_RATE\_FRA 两个寄存器来配置。

以LPUART接口时钟频率为32.768KHz，波特率为9600为例，分频系数为32768/9600=3.413，

则寄存器 LPUART\_BAUD\_RATE\_INT 配置为 3，寄存器 LPUART\_BAUD\_RATE\_FRA 配置为

7（0.413\*16=6.608，四舍五入为 7）。

##### 19.3.3 CTS/RTS 流控

两个 LPUART 之间的连接如下图：

LPUART

1

LPUART

2

TX

TX

RX

RX

RTS

CTS

CTS

RTS

**图**

**19**

**-**

**2**

**两个**

**LPUART**

**设备之间的连接**

**RTS（Require To Send，发送请求）**为输出信号，用于指示本设备准备好可接收数据，低电平有效，低电平说明本设备可以接收数据。

**CTS（Clear To Send，发送允许）**为输入信号，用于判断是否可以向对方发送数据，低电平有效，低电平说明本设备可以向对方发送数据。

##### 19.3.4 DMA 请求

###### LPUART DMA 发送过程：

1. 将寄存器 LPUART\_CR1 中的 DMA\_TX\_EN 位配置为使能；
2. 将寄存器 LPUART\_DATA 地址配置为 DMA 的目的地址；
3. 将发送数据的内存地址配置为 DMA 的源地址；
4. 配置 DMA 的 SRC\_TR\_WIDTH 和 DES\_TR\_WIDTH 为 0（数据位宽为 8bit）；
5. 配置 DMA 的 SRC\_MSIZE 和 DEST\_MSIZE 为 0（burst length 为 1）；
6. 配置 DMA 的数据传输总长度；
7. 配置 DMA 的 handshake 类型为 DMA\_HANDSHAKE\_LPUART\_TX；
8. 激活 DMA 通道。

当 DMA 传输完成后，会将 DMA\_CHENREG 寄存器的 CH\_EN\_x 位清 0。

###### LPUART DMA 接收过程：

1. 将寄存器 LPUART\_CR1 中的 DMA\_RX\_EN 位配置为使能；
2. 将寄存器 LPUART\_DATA 地址配置为 DMA 的源地址；
3. 将数据接收的内存地址配置为 DMA 的目的地址；
4. 配置 DMA 的 SRC\_TR\_WIDTH 和 DES\_TR\_WIDTH 为 0（数据位宽为 8bit）；
5. 配置 DMA 的 SRC\_MSIZE 和 DEST\_MSIZE 为 0（burst length 为 1）；
6. 配置 DMA 的数据传输总长度；
7. 配置 DMA 的 handshake 类型为 DMA\_HANDSHAKE\_LPUART\_RX；
8. 激活 DMA 通道。当 DMA 传输完成后，会将 DMA\_CHENREG 寄存器的 CH\_EN\_x 位清 0。

##### 19.3.5 中断信号

LPUART 的中断信号主要有：

* TX\_DONE 中断
* TXFIFO\_EMPTY 中断
* RXFIFO\_NOT\_EMPTY 中断
* RX\_OVERFLOW 中断
* STOP\_ERR 中断
* PARITY\_ERR 中断
* START\_INVALID 中断
* RX\_DONE 中断
* START\_VALID 中断

##### 19.3.6 低功耗唤醒

LPUART 的低功耗唤醒包括 RX 低电平唤醒，有效 START 唤醒，RX\_DONE 唤醒。

通过配置 LPUART\_CR0 寄存器的 LPUART\_WAKEUP\_EN 位来使能唤醒方式。

##### 19.4 LPUART 相关寄存器描述

寄存器基地址：0x40005000

**表 19-1 LPUART 寄存器列表**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 寄存器 | 偏移量 | 描述 |
| LPUART\_CR0 | 0x00 | 控制寄存器 0 |
| LPUART\_CR1 | 0x04 | 控制寄存器 1 |
| LPUART\_SR0 | 0x08 | 状态寄存器 0 |
| LPUART\_SR1 | 0x0C | 状态寄存器 1 |
| LPUART\_DATA | 0x10 | 数据寄存器 |

###### 19.4.1 LPUART\_CR0

偏移量：0x00 复位值：0x00000E13

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **31-27** | **26** | | **25** | **24-22** | **21-10** |
| RESERVED | LPUART\_RTS\_EN | | LPUART\_RX\_EN | LPUART\_WAKEUP\_EN | LPUART\_BAUD\_RA  TE\_INT |
| r | r/w | | r/w | r/w | r/w |
| **9-6** | | **5** | | **4-2** | **1-0** |
| LPUART\_BAUD\_RATE\_FRA | | LPUART\_STOP\_LEN | | LPUART\_PARITY\_CFG | LPUART\_DATA\_LEN |
| r/w | | r/w | | r/w | r/w |

**位 31-27 RESERVED：**保留，不能修改。

**位 26 LPUART\_RTS\_EN：**lpuart rts 流控使能。

* 0：不使能
* 1：使能**位 25 LPUART\_RX\_EN：**lpuart 接收使能。
* 0：不使能
* 1：使能**位 24-22 LPUART\_WAKEUP\_EN：**lpuart 唤醒使能。

1. 为 rx 低电平唤醒使能。
   * 0：不使能
   * 1：使能
2. 为有效 start 唤醒使能。
   * 0：不使能
   * 1：使能
3. 为接收数据完成唤醒使能。
   * 0：不使能
   * 1：使能**位 21-10 LPUART\_BAUD\_RATE\_INT：**波特率分频系数的整数部分。

分频系数等于 UART 接口时钟频率/波特率；

以UART接口时钟频率为32.768KHz，波特率为9600为例，分频系数为32768/9600=3.413，lpuart\_baud\_ rate\_int 配置为 3，lpuart\_baud\_rate\_fra 配置为 0.413\*16=6 或 7。

**位 9-6 LPUART\_BAUD\_RATE\_FRA：**波特率分频系数的小数部分，支持 4 位小数分频。

**位 5 LPUART\_STOP\_LEN：**LPUART stop 位长度。

* + 0：1 位 stop
  + 1：2 位 stop

**位 4-2 LPUART\_PARITY\_CFG：**LPUART 奇偶校验配置。

* + 0：偶校验
  + 1：奇校验
  + 2：校验位固定为 0
  + 3：校验位固定为 1
  + >3：无奇偶校验位**位 1-0 LPUART\_DATA\_LEN：**LPUART 数据宽度。数据宽度等于 LPUART\_DATA\_LEN+5。

###### 19.4.2 LPUART\_CR1

偏移量：0x04 复位值：0x00000000

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **31-13** | **12** | | **11** | | **10** | | **9** |
| RESERVED | LPUART\_CTS\_EN | | DMA\_TX\_EN | | DMA\_RX\_EN | | LPUART\_TX\_EN |
| r | r/w | | r/w | | r/w | | r/w |
| **8** | **7** | | **6** | | **5** | | **4** |
| TX\_DONE\_INT  \_EN | TXFIFO\_EMPTY\_INT  \_EN | | RXFIFO\_NOT\_EMPTY  \_INT\_EN | | RX\_OVERFLOW  \_INT\_EN | | STOP\_ERR\_INT  \_EN |
| r/w | r/w | | r/w | | r/w | | r/w |
| **3** | | **2** | | **1** | | **0** | |
| PARITY\_ERR\_INT\_EN | | START\_INVALID\_INT\_EN | | RX\_DONE\_INT\_EN | | START\_VALID\_INT\_EN | |
| r/w | | r/w | | r/w | | r/w | |

**位 31:13 RESERVED：**保留，不能修改。**位 12 LPUART\_CTS\_EN：**lpuart cts 流控使能。

* 0：不使能
* 1：使能**位 11 DMA\_TX\_EN：**dma tx 请求使能。
* 0：不使能
* 1：使能**位 10 DMA\_RX\_EN：**dma rx 请求使能。
* 0：不使能
* 1：使能**位 9 LPUART\_TX\_EN：**lpuart 发送使能。
* 0：不使能
* 1：使能**位 8 TX\_DONE\_INT\_EN：**tx\_done 中断使能。
* 0：不使能
* 1：使能

**位 7 TXFIFO\_EMPTY\_INT\_EN：**txfifo\_empty 中断使能。

* 0：不使能
* 1：使能

**位 6 RXFIFO\_NOT\_EMPTY\_INT\_EN：**rxfifo\_not\_empty 中断使能。

* 0：不使能
* 1：使能

**位 5 RX\_OVERFLOW\_INT\_EN：**rx\_overflow 中断使能。

* 0：不使能
* 1：使能

**位 4 STOP\_ERR\_INT\_EN：**stop\_err 中断使能。

* 0：不使能
* 1：使能

**位 3 PARITY\_ERR\_INT\_EN：**parity\_err 中断使能。

* 0：不使能
* 1：使能

**位 2 START\_INVALID\_INT\_EN：**start\_invalid 中断使能。

* 0：不使能
* 1：使能

**位 1 RX\_DONE\_INT\_EN：**rx\_done 中断使能。

* 0：不使能
* 1：使能

**位 0 START\_VALID\_INT\_EN：**start\_valid 中断使能。

* 0：不使能
* 1：使能

###### 19.4.3 LPUART\_SR0

偏移量：0x08 复位值：0x00000000

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **31-6** | | **5** | **4** |
| RESERVED | | RX\_OVERFLOW\_SR | STOP\_ERR\_SR |
| r | | r/w | r/w |
| **3** | **2** | **1** | **0** |
| PARITY\_ERR\_SR | START\_INVALID\_SR | RX\_DONE\_SR | START\_VALID\_SR |
| r/w | r/w | r/w | r/w |

**位 31-6 RESERVED：**保留，不能修改。

**位 5 RX\_OVERFLOW\_SR：**rx\_overflow 状态位，用于指示是否发生接收数据 Buffer 溢出。硬件置 1，软件写 1 清 0。

* 0：未发生
* 1：发生**位 4 STOP\_ERR\_SR：**stop\_err 状态位，用于指示是否发生 stop 电平错误。硬件置 1，软件写 1 清

0。

* 0：未发生
* 1：发生**位 3 PARITY\_ERR\_SR：**parity\_err 状态位，用于指示是否发生 parity 校验错误。硬件置 1，软件写 1 清 0。
* 0：未发生
* 1：发生**位 2 START\_INVALID\_SR：**start\_invalid 状态位，用于指示是否收到错误的 start 位。硬件置 1，软件写 1 清 0。
* 0：未发生
* 1：发生**位 1 RX\_DONE\_SR：**rx\_done 状态位，用于指示是否接收完数据。硬件置 1，软件写 1 清 0。
* 0：未发生
* 1：发生**位 0 START\_VALID\_SR：**start\_valid 状态位，用于指示是否收到有效的 start 位。硬件置 1，软件写 1 清 0。
* 0：未发生
* 1：发生

###### 19.4.4 LPUART\_SR1

偏移量：0x0C

复位值：0x00000016

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **31-6** | | **5** | **4** |
| RESERVED | | TX\_DONE | TXFIFO\_EMPTY |
| r | | r/w | r |
| **3** | **2** | **1** | **0** |
| RXFIFO\_NOT\_EMPTY | WRITE\_CR0\_DONE | WRITE\_SR0\_DONE | RESERVED |
| r | r | r | r |

**位 31-6 RESERVED：**保留，不能修改。

**位 5 TX\_DONE：**tx\_done 状态位。硬件置 1，软件写 1 清 0。

* 0：发送未完成
* 1：发送完成**位 4 TXFIFO\_EMPTY：**txfifo\_empty 状态位。硬件置 1，软件写 LPUART\_DATA 来清 0 此位。
* 0：非空
* 1：空

**位 3 RXFIFO\_NOT\_EMPTY：**rxfifo\_not\_empty 状态位。硬件置 1，软件读 LPUART\_DATA 来清 0 此位。

* 0：空
* 1：非空**位 2 WRITE\_CR0\_DONE：**write cr0 操作完成状态。硬件控制置 1 与清 0。
* 0：操作正在进行中
* 1：操作已完成**位 1 WRITE\_SR0\_DONE：**write sr0 操作完成状态。硬件控制置 1 与清 0。
* 0：操作正在进行中
* 1：操作已完成**位 0 RESERVED：**保留，不能修改。

###### 19.4.5 LPUART\_DATA

偏移量：0x10 复位值：0x00000000

|  |  |
| --- | --- |
| **31-8** | **7-0** |
| RESERVED | LPUART\_DATA |
| r | r/w |

**位 31-8 RESERVED：**保留，不能修改。

**位 7-0 LPUART\_DATA：**fifo 接口，读操作返回 rx data，写操作写入 tx data。

注意：

1. 如果数据位宽小于*8*时，*LPUART\_DATA*的低位有效。
2. 读之前要查询*RXFIFO\_NOT\_EMPTY* 状态位，保证*rxfifo* 中有数据；写之前要查询*txfifo\_ empty* 状态位，保证*txfifo*中可写入。

## 20. 低功耗定时器 (LPTIM)

### 20.1 简介

LPTIMER（Low Power Timer）是一个 16 位的计时器，由于其有多种时钟源，LPTIMER 能够在除 standby 模式外的所有工作模式下运行，并且支持从所有低功耗工作模式中唤醒。有两个

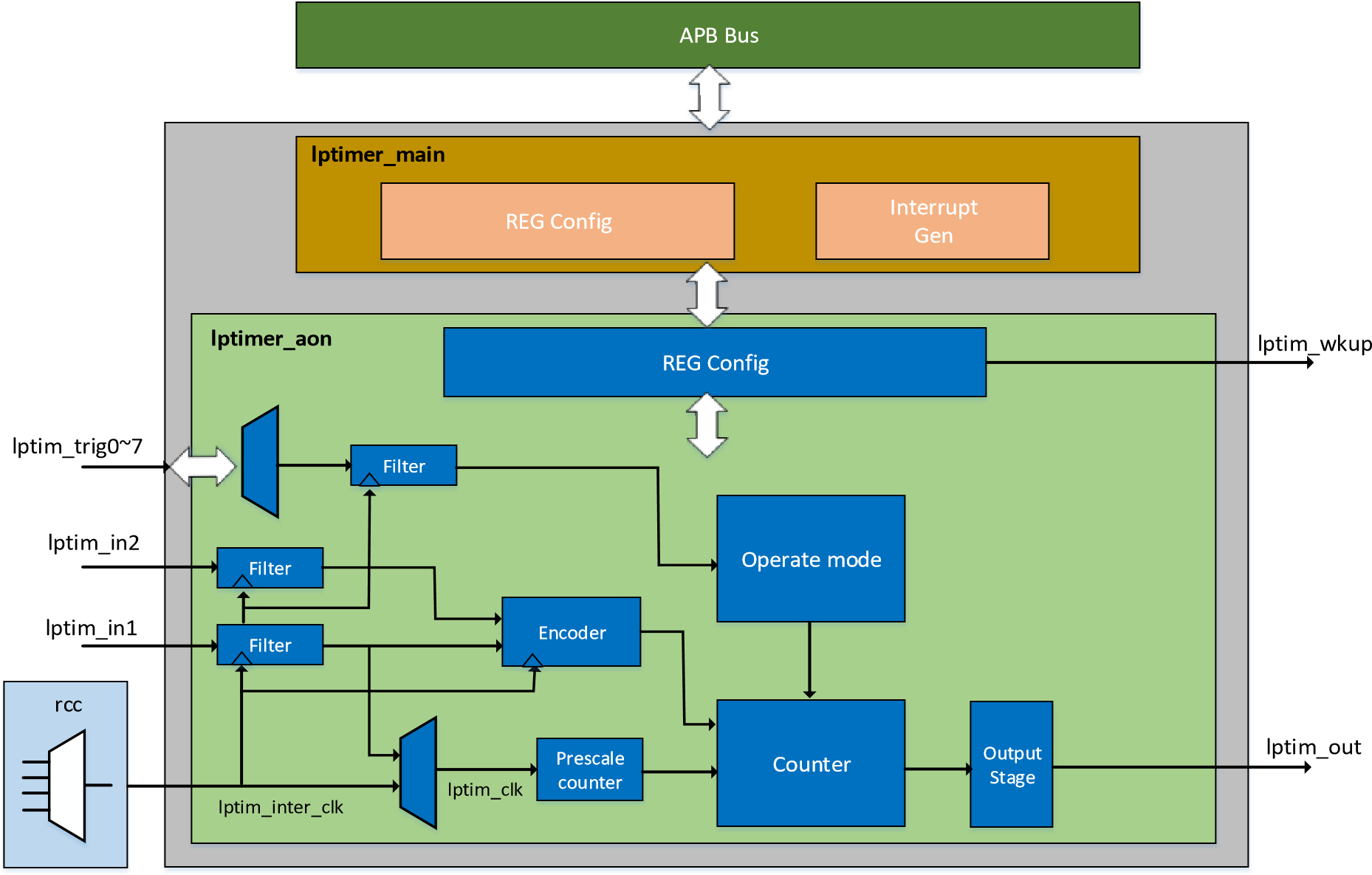
LPTIMER，分别为 LPTIMER0 和 LPTIMER1。

### 20.2 主要特性

LPTIMER 包括如下功能：

* 支持选择内部时钟与外部时钟作为计数时钟
* 16bits 计数器，加法计数，支持自动加载
* 支持两种计数模式，单次计数和连续计数
* 支持软件触发和外部触发源触发计数
* 分频计数器
* 支持产生 PWM
* 支持单脉冲、Set-once、Timeout 模式输出
* 支持 DEBUG 模式控制
* 支持产生通道输出事件、匹配事件、溢出事件、触发事件、DOWN 事件、UP 事件作为唤醒信号输出
* 正交解码
* 中断信号产生

LPTIMER 的框图如下：



**图 20-1 LPTIMER 框图**

####  lptim\_trig0~7：LPTIMER 的外部触发源

* **lptim\_in2：**LPTIMER 的 IN2 pin 脚  **lptim\_in1：**LPTIMER 的 IN1 pin 脚
* **lptim\_wkup：**LPTIMER 的唤醒信号
* **lptim\_out：**LPTIMER 的 OUT pin 脚

### 20.3 接口时钟

LPTIMER 接口时钟源分内部时钟和外部时钟，内部时钟源有 PCLK0、RCO3.6M、XO32K、 RCO32K，外部时钟源通过 IN1 的 GPIO 输入。时钟配置和选择可以参考 RCC 章节。

### 20.4 计数时钟选择

LPTIMER 除了接口时钟有内部和外部之分外，计数时钟也有内部和外部之分，其内部与外部的时钟源与接口时钟的一致。控制计数时钟选择的寄存器 bit 位为寄存器 LPTIM\_CFGR 的 COUNTMODE，值为 0 表示计数器由内部时钟控制，值为 1 表示计数器由外部时钟控制，如果 RCC 模块的寄存器 RCC\_CR1 的 LPTIM1\_EXT\_CLK\_SEL 位或 LPTIM\_EXT\_CLK\_SEL 位为 0，即表示 LPTIMER0 或 LPTIMER1 的接口时钟为内部时钟，则 COUNTMODE 的值可以为 0 或 1，即计数时钟既可以为内部时钟也可以为外部时钟；如果 LPTIM1\_EXT\_CLK\_SEL 位或 LPTIM\_EXT\_CLK\_SEL 位为 1，则 LPTIMER0 或 LPTIMER1 的寄存器 LPTIM\_CFGR 的 COUNTMODE 位只能设置为 0，这时 0 不是表示计数时钟为内部时钟，是表示 COUNTMODE 值需要清零，计数时钟只能为外部时钟。

### 20.5 计数器

除编码模式外，计数器仅支持向上计数，计数到 ARR 时产生 ARRM 中断，计数器回到 0 重新计数。若使能 timeout 模式，则除了计数器值增加到 ARR 时清零外，触发信号也可以清零计数器重新计数。若使能编码模式，则计数器的计数方向由硬件控制，向上计数到 ARR 时产生

ARRM 事件并清零计数器，向下计数到 0 时则重新加载 ARR 到计数器。

#### 20.6 计数模式

LPTIMER 支持两种计数模式，单次计数和连续计数。单次计数模式下，计数器停止阶段第一个到来的触发信号（硬件或软件）会触发计数器开始计数，计数过程中的触发信号将会被忽略，计数到 ARR 时计数器会停止计数，直到下一次触发信号到来才会再次开始计数，依次类推。连续计数模式下，一旦触发（硬件或软件），计数器会一直计数下去，从 0 到 ARR，然后回到

0 再次计数，如此循环往复。

两种计数模式可以在任意时刻切换（前提是 enable 置位），例如，配置 LPTIMER 为单次计数模式，若置位寄存器 LPTIM\_CR 的 CNTSTRT，则计数器计数到 ARR 值将不会停止计数；配置 LPTIMER 为连续计数模式，若置位寄存器 LPTIM\_CR 的 SNGSTRT，则计数器计数到 ARR 时将会停止计数，直到下一次触发信号到来。因此状态图如下：



IDLE



SNG



WAIT

\_

CONT



WAIT

\_

SNG



CONT

SNGSTRT



SNG

：

单次计数模式



CONT

：

连续计数模式



WAIT

\_

SNG

：

等待进入单次计数模式



WAIT

\_

CONT

：

等待进入连续计数模式

**图 20-2 计数模式转换图**

#### 20.7 软件触发和外部触发

触发 LPTIMER 计数有两种方式，一种是软件触发，另一种是外部触发源触发。通过寄存器 LPTIM\_CFGR 的 TRIGEN 位段进行控制，当值为 0 时为软件触发，非零时为外部触发，当为外部触发时，可以设置外部触发信号上升沿有效、下降沿有效或双沿有效。LPTIMER 有 8 种触发输入源可以选择使用，**LPTIMER0** 的外部触发源如下表：

**表 20-1 LPTIMER0 的外部触发源**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| TRIGSEL | External Trigger | Comment |
| lptim\_ext\_trig0 | lptim\_etr | Lptimer etr pin input |
| lptim\_ext\_trig1 | comp0 | Comp0 output |
| lptim\_ext\_trig2 | comp1 | Comp1 output |
| lptim\_ext\_trig3 | rtc\_cyc\_counter | RTC cyc counter output pulse |
| lptim\_ext\_trig4 | rtc\_alarm0 | RTC alarm0 output pulse |
| lptim\_ext\_trig5 | rtc\_alarm1 | RTC alarm1 output pulse |
| lptim\_ext\_trig6 | gpio | GPIO58 |
| lptim\_ext\_trig7 | gpio | GPIO59 |

**LPTIMER1** 的外部触发源如下表：

**表 20-2 LPTIMER1 的外部触发源**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| TRIGSEL | External Trigger | Comment |
| lptim\_ext\_trig0 | lptim\_etr | Lptimer etr pin input |
| lptim\_ext\_trig1 | comp0 | Comp0 output |
| lptim\_ext\_trig2 | comp1 | Comp1 output |
| lptim\_ext\_trig3 | rtc\_cyc\_counter | RTC cyc counter output pulse |
| lptim\_ext\_trig4 | rtc\_alarm0 | RTC alarm0 output pulse |
| lptim\_ext\_trig5 | rtc\_alarm1 | RTC alarm1 output pulse |
| lptim\_ext\_trig6 | gpio | GPIO60 |
| lptim\_ext\_trig7 | gpio | GPIO61 |

#### 20.8 分频计数器

计数使能信号可以被软件配置分频，支持 1、2、4、8、16、32、64、128 分频，通过配置寄存器 LPTIM\_CFGR 的 PRESC 位段进行分频配置。该分频通过计数器实现，即上一级电路产生的计数使能信号将作为该分频计数器的计数使能，当分频计数器计数到预先加载的分频值后，输出一个脉冲，作为下一级计数器的计数使能，然后分频计数器归零重新计数，依次类推。

### 20.9 PWM

LPTIMER 可以产生 PWM 波形，波形的极性可以通过寄存器 LPTIM\_CFGR 的 WAVPOL 比特控制，占空比可以通过寄存器 LPTIM\_CMP 和 LPTIM\_ARR 的值进行控制。以软件触发和内部时钟计数为例，配置 PWM 的流程如下：

1. 配置寄存器 LPTIM\_CFGR 的 COUNTMODE 为 0，即设置内部时钟计数。
2. 寄存器 LPTIM\_CFGR 的 PRESC 为默认值，即不设置计数器分频。
3. 配置寄存器 LPTIM\_CFGR 的 PRELOAD 的值为 0，即不使能寄存器 LPTIM\_CMP 和

LPTIM\_ARR 的缓存功能。如果需要也可以使能。

1. 配置寄存器 LPTIM\_CFGR 的 WAVPOL 为 0，即波形输出不反相。
2. 配置寄存器 LPTIM\_CFGR 的 WAVE 为 0。
3. 寄存器 LPTIM\_CFGR 的 TRIGEN 位段的值为 0，即软件触发。
4. 使能 LPTIMER，就是置位寄存器 LPTIM\_CR 的 ENABLE。
5. 设置寄存器 LPTIM\_ARR 和 LPTIM\_CMP 的值。
6. 使能连续计数功能，通过置位寄存器 LPTIM\_CR 的 CNTSTRT 实现。

### 20.10 支持单脉冲、Set-once、Timeout 模式输出

单脉冲模式下，计数器未计数时，检测到第一个触发信号，则计数使能置位，若计数到ARR或 enable 清零或模块复位，则计数使能清零，计数过程中的触发信号将会被忽略，如下图：

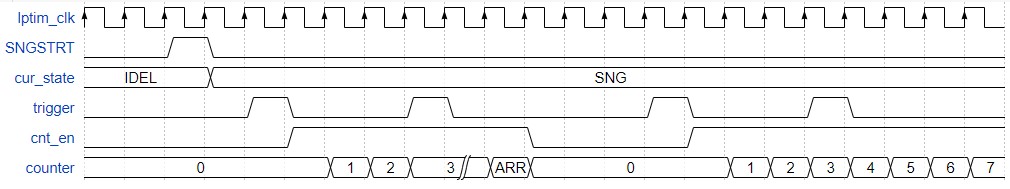
**图**

**20**

**-**

**3**

**单脉冲计数**



单脉冲模式通过配置寄存器 LPTIM\_CFGR 的WAVE 为 0 以及寄存器 LPTIM\_CR 的 SNGSTRT 为 1 实现。

Set-once 模式下，检测到第一个触发信号后，计数使能置位，若计数到 ARR，则计数使能清零，计数过程中的触发信号将会被屏蔽，屏蔽信号通过 mask 实现，即检测到第一个触发信号后，mask 有效，屏蔽之后的所有触发信号，如下图：

**图**

**20**

**-**

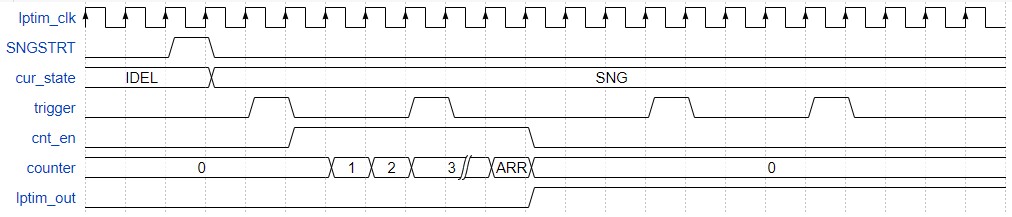
**4**

**Set**

**-**

**once**

**计数**



Set-once 模式通过配置寄存器 LPTIM\_CFGR 的 WAVE 为 1 以及寄存器 LPTIM\_CR 的

SNGSTRT 为 1 实现。

Timeout 模式与连续计数模式类似，一旦被触发，计数使能一直有效，区别是，计数过程中的触发信号会让计数器从 0 开始重新计数，且输出波形也会被清除，如下图：

**图**

**20**

**-**

**5**

**Timeout**

**计数**



Timeout模式通过配置寄存器LPTIM\_CFGR的WAVE为0以及寄存器LPTIM\_CR的CNTSTRT 为 1 实现。

### 20.11 正交编码

LPTIMER 支持正交编码计数功能，可以通过 IN1和 IN2输入正交信号，进行计数和方向检测。编码模式共有三种，仅在上升沿计数、下降沿计数以及双边沿计数，编码模式的使能通过寄存器 LPTIM\_CFGR 的 ENC 控制，编码模式的边沿控制通过寄存器 LPTIM\_CFGR 的 CKPOL 来实现。在此功能下，两个通道输入可以配置数字滤波功能，滤波使能通过寄存器 LPTIM\_CFGR 的 CKFLT\_ENABLE 控制，滤波值通过寄存器 LPTIM\_CFGR 的 CKFLT 进行配置。通过两个通道信号的组合，可以产生计数使能和方向控制信号，控制计数器加减。具体的组合方式见下表：

#### 表 20-3 正交编码通道信号

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 编码模式 | IN1/IN2电平 | IN1 | | IN2 | |
| 上升沿 | 下降沿 | 上升沿 | 下降沿 |
| 上升沿计数 | 高电平 | 向下计数 | - | 向上计数 | - |
| 低电平 | 向上计数 | - | 向下计数 | - |
| 下降沿计数 | 高电平 | - | 向上计数 | - | 向下计数 |
| 低电平 | - | 向下计数 | - | 向上计数 |
| 双沿计数 | 高电平 | 向下计数 | 向上计数 | 向上计数 | 向下计数 |
| 低电平 | 向上计数 | 向下计数 | 向下计数 | 向上计数 |

IN1 和 IN2 输入信号频率必须小于 LPTIMER 时钟频率的 1/4。

### 20.12 支持 DEBUG 模式控制

LPTIMER 可由软件配置 debug 下是否停止计数，通过 SYSCFG 的 CR2 寄存器来实现 LPTIMER0 和 LPTIMER1 的 DEBUG 模式计数控制，如果使能该功能，则进入系统 debug 模式时，LPTIMER 停止计数（计数器不会被初始化）。

### 20.13 唤醒信号

LPTIMER 有 6 种唤醒信号输出，分别是，

* **通道输出信号**，此时通道输出将作为唤醒信号输出。
* **匹配事件（CMPM）**，此时计数器与寄存器 LPTIM\_CMP 的匹配事件将作为唤醒信号输出。
* **溢出事件（ARRM）**，此时 overflow 事件将作为唤醒信号输出。
* **触发事件（EXTTRIG）**，此时有效的触发事件将作为唤醒信号输出。
* **DOWN 事件**，若计数方向由向上计数变为向下计数，DOWN 事件会置位，此时 DOWN 事件会作为唤醒信号输出。
* **UP 事件**，若计数方向由向下计数变为向上计数，UP 事件会置位，此时 UP 事件会作为唤醒信号输出。

以上唤醒信号除了通道输出信号，均为 LPTIM\_ISR 寄存器的标志位，且有独立的使能位，使能位分别为寄存器 LPTIM\_CFGR 的 *OUT\_WKUP\_EN*、*CMPM\_WKUP\_EN*、*ARRM\_WKUP\_ EN*、*EXTTRIG\_WKUP\_EN*、*DOWN\_WKUP\_EN*、*UP\_WKUP\_EN* 比特位，唤醒信号与相应使能位是 AND 的关系，各唤醒源之间是 OR 的关系。

### 20.14 中断信号

LPTIMER 的中断信号如下：

**表 20-4 LPTIMER 中断信号**

|  |  |
| --- | --- |
| 中断名称 | 描述 |
| DOWN 中断 | 编码模式下，表示计数方向由向上变为向下 |
| UP 中断 | 编码模式下，表示计数方向由向下变为向上 |
| ARROK 中断 | 表示 ARR 值加载完成 |
| CMPOK 中断 | 表示 CMP 值加载完成 |
| EXTTRIG 中断 | 表示检测到有效触发边沿 |
| ARRM 中断 | 表示计数器值到达 ARR |
| CMPM 中断 | 表示计数器值与 CMP 匹配 |

上述中断的使能通过配置寄存器 LPTIM\_IER 实现，所有中断的中断状态都可以通过寄存器

LPTIM\_SR1 获得。

### 20.15 LPTIMER 相关寄存器描述

LPTIMER0 基地址：0x4000D000

LPTIMER1 基地址：0x4000D800

**表 20-5 LPTIMER 寄存器列表**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 寄存器 | 偏移量 | 描述 |
| LPTIM\_ISR | 0x00 | 状态寄存器 |
| LPTIM\_ICR | 0x04 | 状态清除寄存器 |
| LPTIM\_IER | 0x08 | 中断使能寄存器 |
| LPTIM\_CFGR | 0x0c | 配置寄存器，该寄存器需在 LPTIM\_CR 寄存器的 ENABLE 清零时修改 |
| LPTIM\_CR | 0x10 | 控制寄存器 |
| LPTIM\_CMP | 0x14 | 比较寄存器 |
| LPTIM\_ARR | 0x18 | 重装载寄存器 |
| LPTIM\_CNT | 0x1c | 计数器寄存器 |
| LPTIM\_CSR | 0x20 | 清除状态标志寄存器，表示使用寄存器 LPTIM\_ICR 清除 LPTIM\_ISR 某些状态位时的是否清除完成标志 |
| LPTIM\_SR1 | 0x24 | 中断标志寄存器，中断标志位会被寄存器 LPTIM\_ICR 立即清零 |

#### 20.15.1 LPTIM\_ISR

偏移量：0x00

复位值：0x00000180

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **31-9** | **8** | **7** | **6** | **5** | **4** | **3** | **2** | **1** | **0** |
| RESERVED | CROK | CFGROK | DOWN | UP | ARROK | CMPOK | EXTTRIG | ARRM | CMPM |
| r-0h | r-1h | r-1h | r-0h | r-0h | r-0h | r-0h | r-0h | r-0h | r-0h |

**位 31-9 RESERVED：**保留。

**位 8 CROK：**上一次对寄存器 LPTIM\_CR 的写操作状态。该位由硬件控制，写操作前需要检查上一次写操作是否完成。

* 0：正在进行写操作
* 1：上一次对 LPTIM\_CR 的写操作已经完成

**位 7 CFGROK：**上一次对 LPTIM\_CFGR 的写操作状态。该位由硬件控制，写操作前需要检查上一次写操作是否完成。

* 0：正在进行写操作
* 1：上一次对 LPTIM\_CFGR 的写操作已经完成

**位 6 DOWN：**编码模式下计数方向由向上变为向下。

* 0：计数方向未发生由上向下的变化
* 1：计数方向由向上变为向下

可以通过写 LPTIM\_ICR 寄存器清零，但是需要时间同步清零脉冲，因此无法立即清除。

**位 5 UP：**编码模式下计数方向由向下变为向上。

* 0：计数方向未发生由下向上的变化
* 1：计数方向由向下变为向上

可以通过写 LPTIM\_ICR 寄存器清零，但是需要时间同步清零脉冲，因此无法立即清除。

**位 4 ARROK：**ARR 值加载状态。

* 0：未加载完成
* 1：加载完成

可以通过写 LPTIM\_ICR 寄存器清零，但是需要时间同步清零脉冲，因此无法立即清除。

**位 3 CMPOK：**CMP 值加载状态。

* 0：未加载完成
* 1：加载完成

可以通过写 LPTIM\_ICR 寄存器清零，但是需要时间同步清零脉冲，因此无法立即清除。

**位 2 EXTTRIG：**是否检测到有效触发边沿。

* 0：未检测到有效触发边沿
* 1：检测到有效触发边沿

可以通过写 LPTIM\_ICR 寄存器清零，但是需要时间同步清零脉冲，因此无法立即清除。

**位 1 ARRM：**计数器值是否到达 ARR 值。

* 0：计数器值未到达 ARR
* 1：计数器值到达 ARR

可以通过写 LPTIM\_ICR 寄存器清零，但是需要时间同步清零脉冲，因此无法立即清除。

**位 0 CMPM：**计数器值与 CMP 值匹配状态。

* 0：计数器值与 CMP 值未匹配
* 1：计数器值与 CMP 值匹配

可以通过写 LPTIM\_ICR 寄存器清零，但是需要时间同步清零脉冲，因此无法立即清除。

#### 20.15.2 LPTIM\_ICR

偏移量：0x04

复位值：0x00000000

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **31-7** | **6** | **5** | **4** | **3** | **2** | **1** | **0** |
| RESERVED | DOWNCF | UPCF | ARROKCF | CMPOKCF | EXTTRIGCF | ARRMCF | CMPMCF |
| w-0h | w-0h | w-0h | w-0h | w-0h | w-0h | w-0h | w-0h |

**位 31-7 RESERVED：**保留。

**位 6 DOWNCF：**清除 DOWN 标志位。软件写 1 清除标记位，该位由硬件清零。

* 0：无操作
* 1：清除操作

**位 5 UPCF：**清除 UP 标志位。软件写 1 清除标记位，该位由硬件清零。

* 0：无操作
* 1：清除操作

**位 4 ARROKCF：**清除 ARROK 标志位。软件写 1 清除标记位，该位由硬件清零。

* 0：无操作
* 1：清除操作

**位 3 CMPOKCF：**清除 CMPOK 标志位。软件写 1 清除标记位，该位由硬件清零。

* 0：无操作
* 1：清除操作

**位 2 EXTTRIGCF：**清除 EXTTRIG 标志位。软件写 1 清除标记位，该位由硬件清零。

* 0：无操作
* 1：清除操作

**位 1 ARRMCF：**清除 ARRM 标志位。软件写 1 清除标记位，该位由硬件清零。

* 0：无操作
* 1：清除操作

**位 0 CMPMCF：**清除 CMPM 标志位。软件写 1 清除标记位，该位由硬件清零。

* 0：无操作
* 1：清除操作

##### 20.15.3 LPTIM\_IER

偏移量：0x08 复位值：0x00000000

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **31-7** | **6** | **5** | **4** | **3** | **2** | **1** | **0** |
| RESERVED | DOWNIE | UPIE | ARROKIE | CMPOKIE | EXTTRIGIE | ARRMIE | CMPMIE |
| rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h |

**位 31-7 RESERVED：**保留。**位 6 DOWNIE：**DOWN 中断使能。

* 0：禁用中断
* 1：使能中断**位 5 UPIE：**UP 中断使能。
* 0：禁用中断
* 1：使能中断**位 4 ARROKIE：**ARROK 中断使能。
* 0：禁用中断
* 1：使能中断**位 3 CMPOKIE：**CMPOK 中断使能。
* 0：禁用中断
* 1：使能中断**位 2 EXTTRIGIE：**EXTTRIG 中断使能。
* 0：禁用中断
* 1：使能中断**位 1 ARRMIE：**ARRM 中断使能。
* 0：禁用中断
* 1：使能中断**位 0 CMPMIE：**CMPM 中断使能。
* 0：禁用中断
* 1：使能中断

#### 20.15.4 LPTIM\_CFGR

偏移量：0x0c 复位值：0x00000000

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **31** | **30** | **29** | **28** | **27** | **26** |
| RESERVED | OUT\_WKUP\_  EN | DOWN\_WKUP  \_EN | UP\_WKUP\_E  N | EXTTRIG\_WK  UP\_EN | ARRM\_WKUP  \_EN |
| rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h |
| **25** | **24** | **23** | **22** | **21** | **20** |
| CMPM\_WKUP  \_EN | ENC | COUNTMODE | PRELOAD | WAVPOL | WAVE |
| rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h |
| **19** | **18-17** | **16** | **15-13** | **12** | **11-9** |
| TIMEOUT | TRIGEN | RESERVED | TRIGSEL | RESERVED | PRESC |
| rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h |
| **8** | **7-6** | **5** | **4-3** | **2-1** | **0** |
| TRGLT\_ENAB  LE | TRGFLT | CKFLT\_ENAB  LE | CKFLT | CKPOL | RESERVED |
| rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h |

**位 31 RESERVED：**保留。

**位 30 OUT\_WKUP\_EN：**LPTIM\_OUT 唤醒使能。

* 0：LPTIM\_OUT 不能触发唤醒信号
* 1：LPTIM\_OUT 可以触发唤醒信号**位 29 DOWN\_WKUP\_EN：**DOWN 事件唤醒使能。
* 0：DOWN 事件不能触发唤醒信号
* 1：DOWN 事件可以触发唤醒信号**位 28 UP\_WKUP\_EN：**UP 事件唤醒使能。
* 0：UP 事件不能触发唤醒信号
* 1：UP 事件可以触发唤醒信号**位 27 EXTTRIG\_WKUP\_EN：**外部触发事件唤醒使能。
* 0：外部触发事件不能触发唤醒信号
* 1：外部触发事件可以触发唤醒信号**位 26 ARRM\_WKUP\_EN：**计数溢出事件唤醒使能（ENC 模式除外）。
* 0：计数溢出不能触发唤醒信号
* 1：计数溢出事件触发唤醒信号**位 25 CMPM\_WKUP\_EN：**计数匹配事件唤醒使能。
* 0：计数匹配不能触发唤醒信号
* 1：计数匹配事件触发唤醒信号**位 24 ENC：**编码模式使能。
* 0：禁用编码模式
* 1：使能编码模式**位 23 COUNTMODE：**计数模式选择。
* 0：计数器由内部时钟控制
* 1：计数器由外部时钟控制**位 22 PRELOAD：**寄存器缓存使能。
* 0：ARR 和 CMP 直接由软件操作
* 1：ARR 和 CMP 由更新事件更新**位 21 WAVPOL：**输出波形极性。
* 0：输出不反相
* 1：输出反相**位 20 WAVE：**波形形状。
* 0：禁用 Set-once，选择 PWM 或单脉冲模式
* 1：使能 Set-once 模式**位 19 TIMEOUT：**Timeout 模式使能。
* 0：禁用 Timeout 模式
* 1：使能 Timeout 模式**位 18-17 TRIGEN：**外部触发使能及极性选择。
* 00：软件触发
* 01：外部触发上升沿有效
* 10：外部触发下降沿有效
* 11：外部触发双沿有效**位 16 RESERVED：**保留。

**位 15-13 TRIGSEL：**外部触发源选择。

* 000：lptim\_ext\_trig0
* 001：lptim\_ext\_trig1
* 010：lptim\_ext\_trig2
* 011：lptim\_ext\_trig3
* 100：lptim\_ext\_trig4
* 101：lptim\_ext\_trig5
* 110：lptim\_ext\_trig6
* 111：lptim\_ext\_trig7 **位 12 RESERVED：**保留。**位 11-9 PRESC：**时钟分频。
* 000：/1
* 001：/2
* 010：/4
* 011：/8
* 100：/16
* 101：/32
* 110：/64
* 111：/128

**位 8 TRGLT\_ENABLE：**触发输入滤波器使能，必须先配置滤波器长度，再使能。

* 0：禁用触发输入滤波器
* 1：使能触发输入滤波器

**位 7-6 TRGFLT：**触发输入滤波器配置。

* 00：无操作
* 01：使能滤波器，滤波器长度 N=2
* 10：使能滤波器，滤波器长度 N=4
* 11：使能滤波器，滤波器长度 N=8

**位 5 CKFLT\_ENABLE：**外部时钟滤波器使能，必须先配置滤波器长度，再使能。

* 0：禁用外部时钟滤波器
* 1：使能外部时钟滤波器

**位 4-3 CKFLT：**外部时钟滤波器配置。

* 00：无操作
* 01：使能滤波器，滤波器长度 N=2
* 10：使能滤波器，滤波器长度 N=4
* 11：使能滤波器，滤波器长度 N=8 **位 2-1 CKPOL：**Encoder 模式控制。
* 00：选择 Encoder 模式 1，上升沿计数
* 01：选择 Encoder 模式 2，下降沿计数
* 10：选择 Encoder 模式 3，双沿计数
* 11：保留

**位 0 RESERVED：**保留。

#### 20.15.5 LPTIM\_CR

偏移量：0x10

复位值：0x00000000

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **31-3** | **2** | **1** | **0** |
| RESERVED | CNTSTRT | SNGSTRT | ENABLE |
| rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h |

**位 31-7 RESERVED：**保留。

**位 2 CNTSTRT：**连续计数模式使能。

* 0：不使能
* 1：使能连续计数模式，写 1 开始连续计数模式，若在连续计数模式过程中置位 SNGSTRT，则在下一次计数到 ARR 时停止计数（切换到单次计数模式）。该比特位需在 ENABLE 置位后修改。

**位 1 SNGSTRT：**单次计数模式使能。

* 0：不使能
* 1：使能单次计数模式，写 1 开始单次计数模式，若在单次计数模式过程中置位 CNTSTRT，则在下一次计数到 ARR 时继续计数（切换到连续计数模式）。该比特位需在 ENABLE 置位后修改。

**位 0 ENABLE：**LPTIMER 使能。

* 0：禁用 LPTIMER
* 1：使能 LPTIMER

#### 20.15.6 LPTIM\_CMP

偏移量：0x14 复位值：0x00000000

|  |  |
| --- | --- |
| **31-16** | **15-0** |
| RESERVED | CMP |
| rw-0h | rw-0h |

**位 31-16 RESERVED：**保留。

**位 15-0 CMP：**比较值，需在寄存器 LPTIM\_CR 的 ENABLE 置位后才能修改。

#### 20.15.7 LPTIM\_ARR

偏移量：0x18 复位值：0x00000001

|  |  |
| --- | --- |
| **31-16** | **15-0** |
| RESERVED | ARR |
| rw-0h | rw-0h |

**位 31-16 RESERVED：**保留。

**位 15-0 ARR：**重装载值，需在寄存器 LPTIM\_CR 的 ENABLE 置位后才能修改。

#### 20.15.8 LPTIM\_CNT

偏移量：0x1c 复位值：0x00000000

|  |  |
| --- | --- |
| **31-16** | **15-0** |
| RESERVED | CNT |
| r-0h | r-0h |

**位 31-16 RESERVED：**保留。**位 15-0 CNT：**计数结果，读该值时，连续两次读到的结果一致才算有效。

#### 20.15.9 LPTIM\_CSR

偏移量：0x20 复位值：0x0000001f

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **31-5** | **4** | **3** | **2** | **1** | **0** |
| RESERVED | DOWN\_CLR\_DONE | UP\_CLR\_DONE | EXTTRIG\_CLR  \_DONE | ARRM\_CLR  \_DONE | CMPM\_CLR  \_DONE |
| r-0h | r-0h | r-0h | r-0h | r-0h | r-0h |

**位 31-5 RESERVED：**保留。

**位 4 DOWN\_CLR\_DONE：**DOWN 清除完成。

* 0：正在清除 DOWN 标志位
* 1：清除成功**位 3 UP\_CLR\_DONE：**UP 清除完成。
* 0：正在清除 UP 标志位
* 1：清除成功**位 2 EXTTRIG\_CLR\_DONE：**EXTTRIG 清除完成。
* 0：正在清除 EXTTRIG 标志位
* 1：清除成功**位 1 ARRM\_CLR\_DONE：**ARRM 清除完成。
* 0：正在清除 ARRM 标志位
* 1：清除成功**位 0 CMPM \_CLR\_DONE：**CMPM 清除完成。
* 0：正在清除 CMPM 标志位
* 1：清除成功

#### 20.15.10 LPTIM\_SR1

偏移量：0x24

复位值：0x00000000

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **31-7** | **6** | **5** | **4** | **3** | **2** | **1** | **0** |
| RESERVED | DOWN | UP | ARROK | CMPOK | EXTTRIG | ARRM | CMPM |
| r-0h | r-0h | r-0h | r-0h | r-0h | r-0h | r-0h | r-0h |

**位 31-7 RESERVED：**保留。

**位 6 DOWN：**编码模式下计数方向由向上变为向下。

* 0：计数方向未发生由上向下的变化
* 1：计数方向由向上变为向下

**位 5 UP：**编码模式下计数方向由向下变为向上。

* 0：计数方向未发生由下向上的变化
* 1：计数方向由向下变为向上

**位 4 ARROK：**ARR 值加载状态。

* 0：未加载完成
* 1：加载完成

**位 3 CMPOK：**CMP 值加载状态。

* 0：未加载完成
* 1：加载完成

**位 2 EXTTRIG：**是否检测到有效触发边沿。

* 0：未检测到有效触发边沿
* 1：检测到有效触发边沿**位 1 ARRM：**计数器值是否到达 ARR 值。
* 0：计数器值未到达 ARR
* 1：计数器值到达 ARR

**位 0 CMPM：**计数器值与 CMP 值匹配状态。

* 0：计数器值与 CMP 值未匹配
* 1：计数器值与 CMP 值匹配

## 21. 直接存储器访问控制器 (DMA)

### 21.1 简介

DMA 支持外设到外设，外设到 memory，memory 到外设，memory 到 memory 这四种数据搬移方式，支持数据位宽为 8 位、16 位或 32 位，并支持数据的 Auto-reloading 以及数据的链表（LLI）。共有两个 DMA，分别为 DMA0 和 DMA1，每个 DMA 有 4 个 channel。两个 DMA 相互独立，可以同时工作，每个 DMA 中的 4 个 channel 也是相互独立的，可以同时运行。

### 21.2 主要特性

* 传输数据长度的配置
* 支持数据搬移方式的配置
* 支持 Auto-reloading
* 支持 LLI

### 21.3 配置传输数据长度

DMA 可以传输多个 block 的数据，传输每个 block 的数据时先以 burst 方式传送，后面有不够 burst 的数据长度的数据时再以 single 方式发送。外设的数据传输如下图：

 **图 21-1 数据传输**

DMA 的源和目的数据位宽通过 *DMA\_CTLx* 寄存器的 *SRC\_TR\_WIDTH* 和 *DST\_TR\_WIDTH* 位段进行配置（x 为 0、1、2 或 3），此位段值为 000 时表示 8bit，为 001 表示 16bit，为 002 表示 32bit。

DMA 的源和目的 burst 数据长度通过 *DMA\_CTLx* 寄存器的 *SRC\_MSIZE* 和 *DEST\_MSIZE*

位段进行配置，此位段值为 000 时表示 1，为 001 表示 4，为 002 表示 8，那么转化为 Bytes 就是 *SRC\_MSIZE (DEST\_MSIZE) \* (*数据位宽的*bit*数 */ 8)*。DMA 的 burst 数据长度 Bytes 需要与外设的输入或输出 FIFO 长度一致，否则可能导致数据丢失。

DMA 的 block size 通过 *DMA\_CTLx* 寄存器的 *BLOCK\_TS* 位进行配置，最多为 12 个 bit，那么 block size 最大为 4095，转换为 Bytes 时为 *BLOCK\_TS \* (*数据位宽的*bit*数 */ 8)*。

### 21.4 数据搬移方式

DMA 支持外设到外设，外设到 memory，memory 到外设，memory 到 memory 四种数据搬移方式。外设到外设指数据的源和目的都为外设；外设到 memory 指源为外设，目的为 memory； memory 到外设指源为 memory，目的为外设；memory 到 memory 指源和目的都为 memory。数据搬移方式通过 *DMA\_CTLx* 寄存器的 *TT\_FC* 位段进行配置。除了 memory 到 memory 的搬移方式，其他几种方式都要配置外设与 DMA 之间的握手信号即 handshake。外设的 handshake 的值如下表所示：

**表 21-1 Handshake 值**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Handshake值 | 外设信号 | 外设信号描述 |
| 4 | lorac\_tx | LORA 的 tx |
| 5 | lorac\_rx | LORA 的 rx |
| 6 | dacctrl | DAC |
| 7 | adcctrl | ADC |
| 10 | i2c2\_tx | I2C2 的 tx |
| 11 | i2c2\_rx | I2C2 的 rx |
| 12 | i2c1\_tx | I2C1 的 tx |
| 13 | i2c1\_rx | I2C1 的 rx |
| 14 | i2c0\_tx | I2C0 的 tx |
| 15 | i2c0\_rx | I2C0 的 rx |
| 16 | ssp2\_tx | SSP2 的 tx |
| 17 | ssp2\_rx | SSP2 的 rx |
| 18 | ssp1\_tx | SSP1 的 tx |
| 19 | ssp1\_rx | SSP1 的 rx |
| 20 | ssp0\_tx | SSP0 的 tx |
| 21 | ssp0\_rx | SSP0 的 rx |
| 22 | lpuart\_tx | LPUAR 的 tx |
| 23 | lpuart\_rx | LPUAR 的 rx |
| Handshake值 | 外设信号 | 外设信号描述 |
| 24 | uart3\_tx | UART3 的 tx |
| 25 | uart3\_rx | UART3 的 rx |
| 26 | uart2\_tx | UART2 的 tx |
| 27 | uart2\_rx | UART2 的 rx |
| 28 | uart1\_tx | UART1 的 tx |
| 29 | uart1\_rx | UART1 的 rx |
| 30 | uart0\_tx | UART0 的 tx |
| 31 | uart0\_rx | UART0 的 rx |
| 32 | gptim0\_ch3 | GPTIMER0 的 channel3 |
| 33 | gptim0\_ch2 | GPTIMER0 的 channel2 |
| 34 | gptim0\_ch1 | GPTIMER0 的 channel1 |
| 35 | gptim0\_ch0 | GPTIMER0 的 channel0 |
| 36 | gptim0\_trg | GPTIMER0 的 trigger |
| 37 | gptim0\_up | GPTIMER0 的 update |
| 38 | Gptim1\_ch3 | GPTIMER1 的 channel3 |
| 39 | Gptim1\_ch2 | GPTIMER1 的 channel2 |
| 40 | Gptim1\_ch1 | GPTIMER1 的 channel1 |
| 41 | Gptim1\_ch0 | GPTIMER1 的 channel0 |
| 42 | Gptim1\_trg | GPTIMER1 的 trigger |
| 43 | Gptim1\_up | GPTIMER1 的 update |
| 44 | gptim2\_ch1 | GPTIMER2 的 channel1 |
| 45 | gptim2\_ch0 | GPTIMER2 的 channel0 |
| 46 | gptim2\_trg | GPTIMER2 的 trigger |
| 47 | gptim2\_up | GPTIMER2 的 update |
| 48 | Gptim3\_ch1 | GPTIMER3 的 channel1 |
| 49 | Gptim3\_ch0 | GPTIMER3 的 channel0 |
| 50 | Gptim3\_trg | GPTIMER3 的 trigger |
| 51 | Gptim3\_up | GPTIMER3 的 update |
| 52 | basictim1\_up | BSTIMER1 的 update |
| 53 | basictim0\_up | BSTIMER0 的 update |

### 21.5 LLI

当有多块不连续的memory的数据需要搬移到外设或memory时，可以使用LLI（即链表方式），如下图所示：



**图 21-2 LLI 链表**

LLI(0)、LLI(1)表示配置 block0、block1 的信息，包括源目的地址、数据位宽、burst 长度和 block 长度。LLPx 表示当前 block 指向下个 block 的地址，第一个 block 的 LLP 指向第二个 block 的地址即 LLI(1)的首地址，依次类推，最后一个 block 的 LLP 为 0。每个 block 长度是可以不一样的，并且 memory 的首地址也是不一样的。

#### 21.6 Auto-reloading

Auto-reloading 指 block 中的 memory 的数据被搬完或 memory 都被写入完成，然后重新从此 memory 的起始地址开始搬送或写入数据，如此循环往复，直至把所用的 DMA 的 channel 去使能后才会停止。DMA 的源和目的都可以使用 Auto-reloading 功能，只要其为 memory 就可以。

### 21.7 中断

DMA 的中断信号如下：

**表 21-2 DMA 中断信号**

|  |  |
| --- | --- |
| 中断名称 | 描述 |
| DMA 块传输完成中断 | DMA 块传输完成后产生的中断 |
| DMA 目的端处理完成中断 | DMA 目的端处理完成后产生的中断 |
| DMA 源端处理完成中断 | DMA 源端处理完成后产生的中断 |
| DMA 传输出错中断 | DMA 传输过程中产生错误时发生的中断 |
| DMA 完全传输完成中断 | DMA 完全传输完成后产生的中断 |

通过配置 *DMA\_MaskBlock*，*DMA\_MaskDstTran*，*DMA\_MaskSrcTran*，*DMA\_MaskErr* 和 *DMA\_MaskTfr* 寄存器来使能上述中断。

通过 *DMA\_StatusBlock*，*DMA\_StatusDstTran*，*DMA\_StatusSrcTran*，*DMA\_StatusErr* 和 *DMA\_StatusTfr* 寄存器可以获得所有中断的状态。

通过配置 *DMA\_ClearBlock*、*DMA\_ClearDstTran*、*DMA\_ClearSrcTran*、*DMA\_ClearErr* 和 *DMA\_ClearTfr* 寄存器来清除中断状态。

#### 21.8 DMA 相关寄存器描述

DMA0 基地址：0x40023000

DMA1 基地址：0x40024000

**表 21-3 DMA 寄存器列表**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 寄存器 | 偏移量 | 描述 |
| DMA\_SARx | 0x00 | 源地址寄存器，x 表示 channel 0、1、2、3，对应的偏移量分  别为 0x00、0x58、0xb0、0x108 |
| DMA\_DARx | 0x08 | 目的地址寄存器，x 表示 channel 0、1、2、3，对应的偏移量分别为 0x08、0x60、0xb8、0x110 |
| DMA\_LLPx | 0x10 | 链表指针寄存器，x 表示 channel 0、1、2、3，对应的偏移量分别为 0x10、0x68、0xc0、0x118 |
| DMA\_CTLx | 0x18 | 通道控制寄存器，x 表示 channel 0、1、2、3，对应的偏移量分别为 0x18、0x70、0xc8、0x120 |
| DMA\_CFGx | 0x40 | 通道配置寄存器，x 表示 channel 0、1、2、3，对应的偏移量  分别为 0x40、0x98、0xf0、0x148 |
| DMA\_StatusTfr | 0x2e8 | DMA 完全传输完成中断状态寄存器 |
| DMA\_StatusBlock | 0x2f0 | DMA 块传输完成中断状态寄存器 |
| DMA\_StatusSrcTran | 0x2f8 | DMA 源端处理完成中断状态寄存器 |
| DMA\_StatusDstTran | 0x300 | DMA 目的端处理完成中断状态寄存器 |
| DMA\_StatusErr | 0x308 | DMA 传输出错中断状态寄存器 |
| DMA\_MaskTfr | 0x310 | DMA 完全传输完成中断使能寄存器 |
| DMA\_MaskBlock | 0x318 | DMA 块传输完成中断使能寄存器 |
| DMA\_MaskSrcTran | 0x320 | DMA 源端处理完成中断使能寄存器 |
| DMA\_MaskDstTran | 0x328 | DMA 目的端处理完成中断使能寄存器 |
| DMA\_MaskErr | 0x330 | DMA 传输出错中断使能寄存器 |
| DMA\_ClearTfr | 0x338 | DMA 完全传输完成中断状态清除寄存器 |
| DMA\_ClearBlock | 0x340 | DMA 块传输完成中断状态清除寄存器 |
| DMA\_ClearSrcTran | 0x348 | DMA 源端处理完成中断状态清除寄存器 |
| DMA\_ClearDstTran | 0x350 | DMA 目的端处理完成中断状态清除寄存器 |
| DMA\_ClearErr | 0x358 | DMA 传输出错中断状态清除寄存器 |
| DMA\_DmaCfgReg | 0x398 | DMA 使能寄存器 |
| DMA\_ChEnReg | 0x3a0 | DMA channel 使能寄存器 |

##### 21.8.1 DMA\_SARx

偏移量：0x00、0x58、0xb0、0x108 复位值：0x0000000000000000

|  |  |
| --- | --- |
| **63-32** | **31-0** |
| RESERVED | SAR |
| r-0h | rw-0h |

**位 63-32 RESERVED：**保留。

**位 31-0 SAR：**DMA 源地址寄存器。

##### 21.8.2 DMA\_DARx

偏移量：0x08、0x60、0xb8、0x110 复位值：0x0000000000000000

|  |  |
| --- | --- |
| **63-32** | **31-0** |
| RESERVED | DAR |
| r-0h | rw-0h |

**位 63-32 RESERVED：**保留。

**位 31-0 DAR：**DMA 目的地址寄存器。

##### 21.8.3 DMA\_LLPx

偏移量：0x10、0x68、0xc0、0x118 复位值：0x0000000000000000

|  |  |
| --- | --- |
| **63-32** | **31-0** |
| RESERVED | LOC |
| r-0h | rw-0h |

**位 63-32 RESERVED：**保留。

**位 31-0 LOC：**下一个 LLI 链表的首地址。

##### 21.8.4 DMA\_CTLx

偏移量：0x18、0x70、0xc8、0x120 复位值：0x0000000200308801

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **63-45** |  | **44** | **43-32** | | **31-29** | **28** |
| RESERVED |  | DONE | BLOCK\_TS | | RESERVED | LLP\_SRC\_EN |
| r-0h |  | rw-0h | rw-2h | | rw-0h | rw-0h |
| **27** |  | **26-25** | **24-23** | | **22-20** | **19** |
| LLP\_DST\_EN |  | SMS | DMS | | TT\_FC | RESERVED |
| rw-0h |  | rw-0h | rw-0h | | rw-3h | rw-0h |
| **18** |  | **17** | **16-14** | | **13-11** | **10-9** |
| DST\_SCATTER\_E | N | SRC\_GATHER\_EN | SRC\_MSIZE | | DEST\_MSIZE | SINC |
| rw-0h |  | rw-0h | rw-1h | | rw-1h | rw-0h |
| **8-7** | **6-4** | |  | **3-1** | | **0** |
| DINC | SRC\_TR\_WIDTH | |  | DST\_TR\_WIDTH | | INT\_EN |
| rw-0h | rw-0h | |  | rw-0h | | rw-1h |

**位 63-45 RESERVED：**保留。

**位 44 DONE：**LLI 链表中一个 block 是否传输完成。

* 0：完成
* 1：未完成**位 43-32 BLOCK\_TS：**block 的长度。**位 31-29 RESERVED：**保留。

**位 28 LLP\_SRC\_EN：**DMA 源使能 LLI 链表。

* 0：去使能
* 1：使能**位 27 LLP\_DST\_EN：**DMA 目的使能 LLI 链表。
* 0：去使能
* 1：使能**位 26-25 SMS：**DMA 源的 AHB master 选择。
* 00：AHB master 1
* 01：AHB master 2
* 10：AHB master 3
* 11：AHB master 4

**位 24-23 SMS：**DMA 目的的 AHB master 选择。

* 00：AHB master 1
* 01：AHB master 2
* 10：AHB master 3
* 11：AHB master 4

**22-20 TT\_FC：**DMA 数据搬移方式选择。

* 000：DMA 流控的 Memory 到 Memory 方式
* 001：DMA 流控的 Memory 到外设方式
* 010：DMA 流控的外设到 Memory 方式
* 011：DMA 流控的外设到外设方式
* 其它值：无效**位 19 RESERVED：**保留。

**位 18 DST\_SCATTER\_EN：**DMA 目的使能 Scatter。

* 0：去使能
* 1：使能**位 17 SRC\_GATHER\_EN：**DMA 源使能 Gather。
* 0：去使能
* 1：使能**位 16-14 SRC\_MSIZE：**DMA 源的 Burst 长度配置。
* 000：1
* 001：4
* 010：8
* 其它值：无效**位 13-11 DEST\_MSIZE：**DMA 目的的 Burst 长度配置。
* 000：1
* 001：4
* 010：8
* 其它值：无效**位 10-9 SINC：**DMA 源地址控制。
* 00：递增
* 01：递减
* 10：不变化
* 11：不变化**位 8-7 DINC：**DMA 目的地址控制。
* 00：递增
* 01：递减
* 10：不变化
* 11：不变化**位 6-4 SRC\_TR\_WIDTH：**DMA 源数据位宽配置。
* 000：8bit
* 001：16bit
* 010：32bit
* 其它值：无效**位 3-1 DST\_TR\_WIDTH：**DMA 目的数据位宽配置。
* 000：8bit
* 001：16bit
* 010：32bit
* 其它值：无效**位 0 INT\_EN：**DMA 中断使能。
* 0：去使能
* 1：使能

##### 21.8.5 DMA\_CFGx

偏移量：0x40、0x98、0xf0、0x148 复位值：0x0000000400020e00

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **63-47** | **46-43** | **42-39** | **38** | **37** | **36-34** |
| RESERVED | DEST\_PER | SRC\_PER | SS\_UPD\_EN | DS\_UPD\_EN | PROTCTL |
| r-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-1h |
| **33** | **32** | **31** | **30** | **29-20** | **19** |
| FIFO\_MODE | FCMODE | RELOAD\_DST | RELOAD\_SRC | RESERVED | SRC\_HS\_POL |
| rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h | r-0h | rw-0h |
| **18** | **17** | **16** | **15-14** | **13-12** | **11** |
| DST\_HS\_POL | LOCK\_B | LOCK\_CH | LOCK\_B\_L | LOCK\_CH\_L | HS\_SEL\_SRC |
| rw-0h | rw-1h | rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-1h |
| **10** | **9** | **8** | **7-5** | **4-0** | |
| HS\_SEL\_DST | FIFO\_EMPTY | CH\_SUSP | CH\_PRIOR | RESERVED | |
| rw-1h | r-1h | rw-0h | rw-0h | r-0h | |

**位 63-47 RESERVED：**保留。**位 46-43 DEST\_PER：**DMA 目的握手接口，有效值为 0 至 3。 **位 42-39 SRC\_PER：**DMA 源握手接口，有效值为 0 至 3。

**位 38 SS\_UPD\_EN：**DMA 源状态更新使能。

* 0：去使能
* 1：使能**位 37 DS\_UPD\_EN：**DMA 目的状态更新使能。
* 0：去使能
* 1：使能**位 36-34 PROTCTL：**保护控制。**位 33 FIFO\_MODE：**FIFO 模式选择。
* 0：可以获取全部 FIFO
* 1：只能获得一半 FIFO **位 32 FCMODE：**源端流控模式选择。
* 0：源端的请求发出就处理
* 1：直到目的端有请求发生才会处理源端的请求

**31 RELOAD\_DST：**DMA 目的使能 Auto-reloading。

* 0：去使能
* 1：使能**位 30 RELOAD\_SRC：**DMA 源使能 Auto-reloading。
* 0：去使能
* 1：使能**位 29-20 RESERVED：**保留。

**位 19 SRC\_HS\_POL：**DMA 源握手接口信息极性。

* 0：高有效  1：低有效**位 18 SRC\_HS\_POL：**DMA 目的握手接口信息极性。
* 0：高有效  1：低有效**位 17 LOCK\_B：**总线锁定控制。
* 0：不锁定
* 1：锁定**位 16 LOCK\_CH：**DMA channel 锁定控制。
* 0：不锁定
* 1：锁定**位 15-14 LOCK\_B\_L：**总线锁定延时。
* 00：等到 DMA 传输完成
* 01：等到 block 传输完成
* 10：等到 DMA 处理完成**位 13-12 LOCK\_CH\_L：**DMA channel 锁定延时。
* 00：等到 DMA 传输完成
* 01：等到 block 传输完成
* 10：等到 DMA 处理完成**位 11 HS\_SEL\_SRC：**DMA 源握手信号选择。
* 0：硬件握手  1：软件握手**位 10 HS\_SEL\_DST：**DMA 目的握手信号选择。
* 0：硬件握手  1：软件握手**位 9 FIFO\_EMPTY：**DMA channel FIFO 是否为空。
* 0：非空
* 1：空**位 8 CH\_SUSP：**DMA channel FIFO 是否暂停。
* 0：非暂停
* 1：暂停

**7-5 CH\_PRIOR：**DMA channel 优先级配置，有效值为 0 至 3，0 为最低优先级，3 为最高优先级。

**位 4-0 RESERVED：**保留。

###### 21.8.6 DMA\_StatusTfr

偏移量：0x2e8 复位值：0x0000000000000000

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **63-4** | **3** | **2** | **1** | **0** |
| RESERVED | CHAN3\_STATUS | CHAN2\_STATUS | CHAN1\_STATUS | CHAN0\_STATUS |
| r-0h | r-0h | r-0h | r-0h | r-0h |

**位 63-4 RESERVED：**保留。

**位 3 CHAN3\_STATUS：**DMA channel3 的传输完成状态。

* 0：未完成
* 1：完成 **位 2 CHAN2\_STATUS：**DMA channel2 的传输完成状态。
* 0：未完成
* 1：完成**位 1 CHAN1\_STATUS：**DMA channel1 的传输完成状态。
* 0：未完成
* 1：完成**位 0 CHAN0\_STATUS：**DMA channel0 的传输完成状态。
* 0：未完成
* 1：完成

###### 21.8.7 DMA\_StatusBlock

偏移量：0x2f0 复位值：0x0000000000000000

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **63-4** | **3** | **2** | **1** | **0** |
| RESERVED | CHAN3\_STATUS | CHAN2\_STATUS | CHAN1\_STATUS | CHAN0\_STATUS |
| r-0h | r-0h | r-0h | r-0h | r-0h |

**位 63-4 RESERVED：**保留。

**位 3 CHAN3\_STATUS：**DMA channel3 的块传输完成状态。

* 0：未完成
* 1：完成

**2 CHAN2\_STATUS：**DMA channel2 的块传输完成状态。

* 0：未完成
* 1：完成**位 1 CHAN1\_STATUS：**DMA channel1 的块传输完成状态。
* 0：未完成
* 1：完成**位 0 CHAN0\_STATUS：**DMA channel0 的块传输完成状态。
* 0：未完成
* 1：完成

###### 21.8.8 DMA\_StatusSrcTran

偏移量：0x2f8 复位值：0x0000000000000000

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **63-4** | **3** | **2** | **1** | **0** |
| RESERVED | CHAN3\_STATUS | CHAN2\_STATUS | CHAN1\_STATUS | CHAN0\_STATUS |
| r-0h | r-0h | r-0h | r-0h | r-0h |

**位 63-4 RESERVED：**保留。

**位 3 CHAN3\_STATUS：**DMA channel3 的源端传输完成状态。

* 0：未完成
* 1：完成 **位 2 CHAN2\_STATUS：**DMA channel2 的源端传输完成状态。
* 0：未完成
* 1：完成**位 1 CHAN1\_STATUS：**DMA channel1 的源端传输完成状态。
* 0：未完成
* 1：完成**位 0 CHAN0\_STATUS：**DMA channel0 的源端传输完成状态。
* 0：未完成
* 1：完成

###### 21.8.9 DMA\_StatusDstTran

偏移量：0x300 复位值：0x0000000000000000

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **63-4** | **3** | **2** | **1** | **0** |
| RESERVED | CHAN3\_STATUS | CHAN2\_STATUS | CHAN1\_STATUS | CHAN0\_STATUS |
| r-0h | r-0h | r-0h | r-0h | r-0h |

**63-4 RESERVED：**保留。

**位 3 CHAN3\_STATUS：**DMA channel3 的目的端传输完成状态。

* 0：未完成
* 1：完成 **位 2 CHAN2\_STATUS：**DMA channel2 的目的端传输完成状态。
* 0：未完成
* 1：完成**位 1 CHAN1\_STATUS：**DMA channel1 的目的端传输完成状态。
* 0：未完成
* 1：完成**位 0 CHAN0\_STATUS：**DMA channel0 的目的端传输完成状态。
* 0：未完成
* 1：完成

###### 21.8.10 DMA\_StatusErr

偏移量：0x308 复位值：0x0000000000000000

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **63-4** | **3** | **2** | **1** | **0** |
| RESERVED | CHAN3\_STATUS | CHAN2\_STATUS | CHAN1\_STATUS | CHAN0\_STATUS |
| r-0h | r-0h | r-0h | r-0h | r-0h |

**位 63-4 RESERVED：**保留。

**位 3 CHAN3\_STATUS：**DMA channel3 的传输错误状态。

* 0：未出错
* 1：出错 **位 2 CHAN2\_STATUS：**DMA channel2 的传输错误状态。
* 0：未出错
* 1：出错**位 1 CHAN1\_STATUS：**DMA channel1 的传输错误状态。
* 0：未出错
* 1：出错**位 0 CHAN0\_STATUS：**DMA channel0 的传输错误状态。
* 0：未出错
* 1：出错

###### 21.8.11 DMA\_MaskTfr

偏移量：0x310



**位 63-12 RESERVED：**保留。

**位 11 INT\_MASK\_WE\_3：**DMA channel3 的传输完成中断掩码写使能。

* 0：去使能
* 1：使能 **位 10 INT\_MASK\_WE\_2：**DMA channel2 的传输完成中断掩码写使能。
* 0：去使能
* 1：使能**位 9 INT\_MASK\_WE\_1：**DMA channel1 的传输完成中断掩码写使能。
* 0：去使能
* 1：使能**位 8 INT\_MASK\_WE\_0：**DMA channel0 的传输完成中断掩码写使能。
* 0：去使能
* 1：使能**位 7-4 RESERVED：**保留。

**位 3 INT\_MASK\_3：**DMA channel3 的传输完成中断使能。

* 0：去使能
* 1：使能 **位 2 INT\_MASK\_2：**DMA channel2 的传输完成中断使能。
* 0：去使能
* 1：使能**位 1 INT\_MASK\_1：**DMA channel1 的传输完成中断使能。
* 0：去使能
* 1：使能**位 0 INT\_MASK\_0：**DMA channel0 的传输完成中断使能。
* 0：去使能

###### 21.8.12 DMA\_MaskBlock

偏移量：0x318



**位 63-12 RESERVED：**保留。

**位 11 INT\_MASK\_WE\_3：**DMA channel3 的块传输完成中断掩码写使能。

* 0：去使能
* 1：使能 **位 10 INT\_MASK\_WE\_2：**DMA channel2 的块传输完成中断掩码写使能。
* 0：去使能
* 1：使能**位 9 INT\_MASK\_WE\_1：**DMA channel1 的块传输完成中断掩码写使能。
* 0：去使能
* 1：使能**位 8 INT\_MASK\_WE\_0：**DMA channel0 的块传输完成中断掩码写使能。
* 0：去使能
* 1：使能**位 7-4 RESERVED：**保留。

**位 3 INT\_MASK\_3：**DMA channel3 的块传输完成中断使能。

* 0：去使能
* 1：使能 **位 2 INT\_MASK\_2：**DMA channel2 的块传输完成中断使能。
* 0：去使能
* 1：使能**位 1 INT\_MASK\_1：**DMA channel1 的块传输完成中断使能。
* 0：去使能
* 1：使能**位 0 INT\_MASK\_0：**DMA channel0 的块传输完成中断使能。
* 0：去使能

###### 21.8.13 DMA\_MaskSrcTran

偏移量：0x320



**位 63-12 RESERVED：**保留。

**位 11 INT\_MASK\_WE\_3：**DMA channel3 的源端传输完成中断掩码写使能。

* 0：去使能
* 1：使能 **位 10 INT\_MASK\_WE\_2：**DMA channel2 的源端传输完成中断掩码写使能。
* 0：去使能
* 1：使能**位 9 INT\_MASK\_WE\_1：**DMA channel1 的源端传输完成中断掩码写使能。
* 0：去使能
* 1：使能**位 8 INT\_MASK\_WE\_0：**DMA channel0 的源端传输完成中断掩码写使能。
* 0：去使能
* 1：使能**位 7-4 RESERVED：**保留。

**位 3 INT\_MASK\_3：**DMA channel3 的源端传输完成中断使能。

* 0：去使能
* 1：使能 **位 2 INT\_MASK\_2：**DMA channel2 的源端传输完成中断使能。
* 0：去使能
* 1：使能**位 1 INT\_MASK\_1：**DMA channel1 的源端传输完成中断使能。
* 0：去使能
* 1：使能**位 0 INT\_MASK\_0：**DMA channel0 的源端传输完成中断使能。
* 0：去使能

###### 21.8.14 DMA\_MaskDstTran

偏移量：0x328



**位 63-12 RESERVED：**保留。

**位 11 INT\_MASK\_WE\_3：**DMA channel3 的目的端传输完成中断掩码写使能。

* 0：去使能
* 1：使能 **位 10 INT\_MASK\_WE\_2：**DMA channel2 的目的端传输完成中断掩码写使能。
* 0：去使能
* 1：使能**位 9 INT\_MASK\_WE\_1：**DMA channel1 的目的端传输完成中断掩码写使能。
* 0：去使能
* 1：使能**位 8 INT\_MASK\_WE\_0：**DMA channel0 的目的端传输完成中断掩码写使能。
* 0：去使能
* 1：使能**位 7-4 RESERVED：**保留。

**位 3 INT\_MASK\_3：**DMA channel3 的目的端传输完成中断使能。

* 0：去使能
* 1：使能 **位 2 INT\_MASK\_2：**DMA channel2 的目的端传输完成中断使能。
* 0：去使能
* 1：使能**位 1 INT\_MASK\_1：**DMA channel1 的目的端传输完成中断使能。
* 0：去使能
* 1：使能**位 0 INT\_MASK\_0：**DMA channel0 的目的端传输完成中断使能。
* 0：去使能

###### 21.8.15 DMA\_MaskErr

偏移量：0x330



**位 63-12 RESERVED：**保留。

**位 11 INT\_MASK\_WE\_3：**DMA channel3 的传输出错中断掩码写使能。

* 0：去使能
* 1：使能 **位 10 INT\_MASK\_WE\_2：**DMA channel2 的传输出错中断掩码写使能。
* 0：去使能
* 1：使能**位 9 INT\_MASK\_WE\_1：**DMA channel1 的传输出错中断掩码写使能。
* 0：去使能
* 1：使能**位 8 INT\_MASK\_WE\_0：**DMA channel0 的传输出错中断掩码写使能。
* 0：去使能
* 1：使能**位 7-4 RESERVED：**保留。

**位 3 INT\_MASK\_3：**DMA channel3 的传输出错中断使能。

* 0：去使能
* 1：使能 **位 2 INT\_MASK\_2：**DMA channel2 的传输出错中断使能。
* 0：去使能
* 1：使能**位 1 INT\_MASK\_1：**DMA channel1 的传输出错中断使能。
* 0：去使能
* 1：使能**位 0 INT\_MASK\_0：**DMA channel0 的传输出错中断使能。
* 0：去使能

###### 21.8.16 DMA\_ClearTfr

偏移量：0x338 复位值：0x0000000000000000

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **63-4** | **3** | **2** | **1** | **0** |
| RESERVED | CHAN3\_CLEAR | CHAN2\_CLEAR | CHAN1\_CLEAR | CHAN0\_CLEAR |
| r-0h | w-0h | w-0h | w-0h | w-0h |

**位 63-4 RESERVED：**保留。

**位 3 CHAN3\_CLEAR：**DMA channel3 的传输完成状态清除。

* 0：不操作
* 1：清除 **位 2 CHAN2\_CLEAR：**DMA channel2 的传输完成状态清除。
* 0：不操作
* 1：清除**位 1 CHAN1\_CLEAR：**DMA channel1 的传输完成状态清除。
* 0：不操作
* 1：清除**位 0 CHAN0\_CLEAR：**DMA channel0 的传输完成状态清除。
* 0：不操作
* 1：清除

###### 21.8.17 DMA\_ClearBlock

偏移量：0x340 复位值：0x0000000000000000

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **63-4** | **3** | **2** | **1** | **0** |
| RESERVED | CHAN3\_CLEAR | CHAN2\_CLEAR | CHAN1\_CLEAR | CHAN0\_CLEAR |
| r-0h | w-0h | w-0h | w-0h | w-0h |

**位 63-4 RESERVED：**保留。

**位 3 CHAN3\_CLEAR：**DMA channel3 的块传输完成状态清除。

* 0：不操作
* 1：清除 **位 2 CHAN2\_CLEAR：**DMA channel2 的块传输完成状态清除。
* 0：不操作
* 1：清除**位 1 CHAN1\_CLEAR：**DMA channel1 的块传输完成状态清除。
* 0：不操作
* 1：清除

**位 0 CHAN0\_CLEAR：**DMA channel0 的块传输完成状态清除。

* 0：不操作
* 1：清除

###### 21.8.18 DMA\_ClearSrcTran

偏移量：0x348 复位值：0x0000000000000000

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **63-4** | **3** | **2** | **1** | **0** |
| RESERVED | CHAN3\_CLEAR | CHAN2\_CLEAR | CHAN1\_CLEAR | CHAN0\_CLEAR |
| r-0h | w-0h | w-0h | w-0h | w-0h |

**位 63-4 RESERVED：**保留。

**位 3 CHAN3\_CLEAR：**DMA channel3 的源端传输完成状态清除。

* 0：不操作
* 1：清除 **位 2 CHAN2\_CLEAR：**DMA channel2 的源端传输完成状态清除。
* 0：不操作
* 1：清除**位 1 CHAN1\_CLEAR：**DMA channel1 的源端传输完成状态清除。
* 0：不操作
* 1：清除**位 0 CHAN0\_CLEAR：**DMA channel0 的源端传输完成状态清除。
* 0：不操作
* 1：清除

###### 21.8.19 DMA\_ClearDstTran

偏移量：0x350 复位值：0x0000000000000000

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **63-4** | **3** | **2** | **1** | **0** |
| RESERVED | CHAN3\_CLEAR | CHAN2\_CLEAR | CHAN1\_CLEAR | CHAN0\_CLEAR |
| r-0h | w-0h | w-0h | w-0h | w-0h |

**位 63-4 RESERVED：**保留。

**位 3 CHAN3\_CLEAR：**DMA channel3 的目的端传输完成状态清除。

* 0：不操作
* 1：清除 **位 2 CHAN2\_CLEAR：**DMA channel2 的目的端传输完成状态清除。
* 0：不操作
* 1：清除**位 1 CHAN1\_CLEAR：**DMA channel1 的目的端传输完成状态清除。
* 0：不操作
* 1：清除**位 0 CHAN0\_CLEAR：**DMA channel0 的目的端传输完成状态清除。
* 0：不操作
* 1：清除

###### 21.8.20 DMA\_ClearErr

偏移量：0x358 复位值：0x0000000000000000

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **63-4** | **3** | **2** | **1** | **0** |
| RESERVED | CHAN3\_CLEAR | CHAN2\_CLEAR | CHAN1\_CLEAR | CHAN0\_CLEAR |
| r-0h | w-0h | w-0h | w-0h | w-0h |

**位 63-4 RESERVED：**保留。

**位 3 CHAN3\_CLEAR：**DMA channel3 的传输出错状态清除。

* 0：不操作
* 1：清除 **位 2 CHAN2\_CLEAR：**DMA channel2 的传输出错状态清除。
* 0：不操作
* 1：清除**位 1 CHAN1\_CLEAR：**DMA channel1 的传输出错状态清除。
* 0：不操作
* 1：清除**位 0 CHAN0\_CLEAR：**DMA channel0 的传输出错状态清除。
* 0：不操作
* 1：清除

###### 21.8.21 DMA\_DmaCfgReg

偏移量：0x398 复位值：0x0000000000000000

|  |  |
| --- | --- |
| **63-1** | **0** |
| RESERVED | DMA\_EN |
| r-0h | rw-0h |

**位 63-1 RESERVED：**保留。**位 0 DMA\_EN：**DMA 使能控制。

* 0：去使能
* 1：使能

###### 21.8.22 DMA\_ChEnReg

偏移量：0x3a0 复位值：0x0000000000000000

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **63-12** | **11** | **10** | **9** | **8** |
| RESERVED | CH\_EN\_WE\_3 | CH\_EN\_WE\_2 | CH\_EN\_WE\_1 | CH\_EN\_WE\_0 |
| r-0h | w-0h | w-0h | w-0h | w-0h |
| **7-4** | **3** | **2** | **1** | **0** |
| RESERVED | CH\_EN\_3 | CH\_EN\_2 | CH\_EN\_1 | CH\_EN\_0 |
| r-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h |

**位 63-12 RESERVED：**保留。

**位 11 CH\_EN\_WE\_3：**DMA channel3 的使能控制信息的写使能。

* 0：去使能
* 1：使能 **位 10 CH\_EN\_WE\_2：**DMA channel2 的使能控制信息的写使能。
* 0：去使能
* 1：使能**位 9 CH\_EN\_WE\_1：**DMA channel1 的使能控制信息的写使能。
* 0：去使能
* 1：使能**位 8 CH\_EN\_WE\_0：**DMA channel0 的使能控制信息的写使能。
* 0：去使能
* 1：使能**位 7-4 RESERVED：**保留。

**位3 CH\_EN\_3：**DMA channel3的使能控制，当DMA传输完成后，硬件自动将此channel去使能。

* 0：去使能
* 1：使能 **位2 CH\_EN\_2：**DMA channel2的使能控制，当DMA传输完成后，硬件自动将此channel去使能。
* 0：去使能
* 1：使能**位1 CH\_EN\_1：**DMA channel1的使能控制，当DMA传输完成后，硬件自动将此channel去使能。
* 0：去使能
* 1：使能**位0 CH\_EN\_0：**DMA channel0的使能控制，当DMA传输完成后，硬件自动将此channel去使能。
* 0：去使能
* 1：使能

### 22. 通用定时器 (GPTIMER)

#### 22.1 简介

ASR6601 共有 4 个通用定时器（GPTIMER），其中 GPTIMER0 和 GPTIMER1 有 4 路通道，

GPTIMER2 和 GPTIMER3 有 2 路通道，即 GPTIMER2 和 GPTIMER3 没有通道 2 和 3。

GPTIMER包含16-bit计数器，支持自动重装载功能，且支持最多16-bit可编程的分频计数器， 4 路通道可独立配置为输入或输出，支持输入捕获、输出比较等功能，计数时钟和计数模式可软件配置，支持连接霍尔器件即支持编码模式（仅适用于 GPTIMER0 和 GPTIMER1），支持 DMA 配置，有独立中断输出，支持编码功能等。基于丰富的通道配置和功能，该 GPTIMER 可用于定时计数、测量输入脉冲宽度（us-ms 级）、产生 PWM 波形等应用。

##### 22.2 主要特性

* 16-bit 计数器，支持自动重装载，可配置边沿对齐（向上、向下）计数和中间对齐（向上/ 向下）计数
* 16-bit 可编程分频计数器（分频系数 1-65535），可在计数过程中配置
* 最多 4 路独立通道，可完成输入捕获、输出比较、PWM 波形输出、单脉冲波形输出
* 支持通道输出极性选择，和输入边沿配置
* 支持与外部输入或其他模块（GPTIMER、ADC、DAC）同步
* 独立的 DMA 通道，最多 6 组 DMA 请求，包括更新事件、触发事件以及 4 组通道事件（捕获、比较）
* 支持正交编码功能
* 支持外部触发通道输入时钟用于计数并且支持外部触发通道输入触发信号，支持通道输入时钟用于计数
* 支持通道重映射，即把其它模块的 GPIO 信号或内部信号映射到通道或外部通道

GPTIMER 的架构框图如下：



**图 22-1 GPTIMER 框图**

**表 22-1 GPTIMER 模块介绍**

|  |  |
| --- | --- |
| 模块名称 | 描述 |
| slave control | 从模式控制器 |
| master control | 主模式控制器 |
| u\_etr\_ctrl | ETR 通道控制，包括极性、分频、滤波等配置 |
| u\_channel\_in\_x | 输入通道 x 控制，包括极性、滤波及边沿配置 |
| u\_icx\_div | 输入通道 x 事件分频器 |
| u\_sampling\_clock | 产生滤波器的采样时钟 |
| u\_capture\_x | 输入通道 x 捕获功能 |
| u\_compare\_x | 输出通道 x 比较功能 |
| u\_psc\_counter | 16-bit 分频计数器 |
| u\_counter | 16-bit 计数器 |
| u\_reg\_model | 寄存器相关配置 |
| output stage | 输出控制 |
| interrupt control | 中断控制 |
| dma control | DMA 功能控制 |
| itr\_input | 其它 GPTIMER 的内部输入 |
| etr\_input | 外部触发通道的输入 |
| channel\_input | 通道输入 |
| dma\_ack | DMA 回复的 ACK |
| dma\_req | 向 DMA 发送的请求 |
| apb\_write | apb 总线写 |
| 模块名称 | 描述 |
| apb\_read | apb 总线读 |
| trigger\_output | 主模式下的信号输出，为内部信号，不会输出到外部 |
| channel\_output | 通道输出 |

#### 22.3 计数器

GPTIMER的计数器共16-bit，支持向上、向下、中间对齐计数，计数时钟可选，可软件配置计数使能与关闭，软件可随时读写（建议不要在计数过程中写入，以免发生未知错误）。

##### 22.3.1 计数时钟选择

GPTimer 共有四种计数时钟源，分别是内部时钟、外部时钟模式 1、外部时钟模式 2 以及内部触发信号控制计数。其中，内部时钟为默认方式（SMS==3’b000），时钟来自 RCC，只要 CEN 置位，则分频计数器和该计数器便开始计数，其他三种情况，均使用相应信号作为计数使能，并不是作为真正的时钟。

外部时钟模式 1（SMS==3’b111，TS==3’b100/101/110），该模式下，计数器由所选择的通道输入的上升沿或下降沿或双沿作为计数器的计数使能控制计数，例如选择通道 0 的上升沿控制计数，则每个上升沿都会让计数器加 1（向上计数、不分频），波形如下图：

 **图 22-2 外部时钟模式 1 计数**

外部时钟模式2（ECE==1），该模式下，计数器由ETR 的上升沿或下降沿作为计数器的计数使能控制计数，例如配置 ETR 的上升沿有效，则波形如下图所示。

 **图 22-3 外部时钟模式 2 计数**

GPTIMER 还可以选择内部触发信号控制计数（SMS==3’b111，TS==3’b001/010/011），即可以由上一级 GPTIMER 的触发输出信号作为该 GPTIMER 的计数时钟，从而实现 GPTIMER 的级联，该情况下，上一级 GPTIMER 相当于一个分频计数器，波形如下图所示。



###### 图 22-4 内部触发信号做时钟计数

当ETR做为计数时钟输入时可以有两种方式实现，一种是外部时钟模式1，配置SMS==3’b111，

TS==3’b111，另一种是外部时钟模式 2，配置 ECE==1

###### 22.3.2 自动重装载

GPTIMER 支持自动重装载功能，向上计数时，计数到重装载值（ARR）后，将会归零重新计数，向下计数时，会从 ARR 开始计数，计数到 0 后回到 ARR 重新计数，中间对齐计数时，计数器从 0 开始计数到 ARR-1，接着从 ARR 计数到 0。

ARR 可软件配置（ARPE）是否使用启用影子寄存器，如果 ARPE=0，则禁用影子寄存器，软件写入的值同步更新到 ARR 供计数器使用，如果 ARPE=1，则软件写入的值不会立即生效，直到更新事件到来，才会将该值更新到影子寄存器中供计数器使用。

###### 22.3.3 向上计数

若配置为向上计数模式，则计数器使能且有计数时钟后，会从 0 开始递加到 ARR，产生向上溢出事件（overflow），然后归零重新开始计数。计数过程中如果 UG 置位（软件或硬件），则计数器包括分频计数器会被初始化（归零）。时序上，overflow标志将在最后一个计数值期间产生，如果启用影子寄存器，则 ARR、PSC、CCRx 等寄存器将会在下一轮计数开始时更新到相应的影子寄存器，波形如下图所示。



**图 22-5 向上计数**

###### 22.3.4 向下计数

若配置为向下计数模式，则计数器使能且有计数时钟后，会从 ARR 开始递减到 0，产生向下溢

出事件（underflow），然后回到 ARR 重新开始计数。计数过程中如果 UG 置位（软件或硬件），则计数器包括分频计数器会被初始化（计数器回到 ARR，分频计数器归零）。时序上，

underflow 标志将在最后一个计数值（CNT=0）期间产生，但是请注意，如果启用影子寄存器，则 ARR 寄存器将会在下一轮计数开始之前（CNT=0）更新到相应的影子寄存器，以保证下一轮计数过程可以使用最新的装载值和分频值，PSC 和 CCRx 则与之前相同，将在 underflow 下一时钟更新到影子寄存器，波形如下图所示。

 **图 22-6 向下计数**

##### 22.3.5 中间对齐计数

若配置为中间对齐计数模式，则计数器使能且有计数时钟后，会从 0 开始递增到 ARR-1，产生 overflow 事件，然后从 ARR 递减到 1，产生 underflow 事件，再从 0 开始重新计数。计数过程中如果 UG 置位（软件或硬件），则计数器包括分频计数器会被初始化（归零）。请注意，如果启用影子寄存器，则 ARR 和 PSC 寄存器将会在向上计数到老的 ARR-1 时更新到相应的影子寄存器，以保证在向下计数时可以使用新的 ARR 和新的 PSC，CCRx 的更新与之前情况相同。向下计数时，将会在产生 underflow 后更新 ARR、PSC 和 CCRx 的影子寄存器。在该模式下，计数方向由硬件控制，软件配置无效。波形如图，



**图 22-7 中间对齐计数**

##### 22.4 分频计数器

GPTIMER 支持 16-bit（1~65535）可编程分频，这一功能通过该分频计数器实现。上一级电路产生的计数使能信号将作为该分频计数器的使能控制计数，当分频计数器计数到预先加载的分频值后，输出一个脉冲，作为下一级计数器的计数使能，然后分频计数器归零重新计数，如此循环。

分频计数器的分频值默认启用影子寄存器，即软件的写操作不会立即生效，而是直到更新事件

（UG 置位、计数溢出）到来，才会将新的分频值写入影子寄存器，此时该分频值才正式生效。

软件读操作读取的是写入的寄存器值，而不是影子寄存器，如果在更新事件到来前有多次写操作，则会覆盖之前写入的值。

举一个例子说明分频计数器，如配置为 4 分频，则输入 4 个高电平，才会输出一个有效的脉冲，波形如下图（通道 0，无滤波，选择通道 0 上升沿作为有效脉冲，配置 ic0 为 4 分频）。



**图 22-8 分频计数器**

##### 22.5 采样时钟

各输入通道和外部触发通道均可以选择数字滤波功能，该数字滤波功能通过使用高频的采样时钟（频率至少是输入信号的 4 倍）对输入信号采样。GPTIMER 内部所有 Flip-Flop 的时钟均由 pclk 提供。软件可以配置采样时钟的频率（CKD 分别为 pclk、pclk/2，pclk/4），通过采用计数器实现分频，如配置采样频率为 pclk 的 4 分频，则计数器由 pclk 控制计数，每 4 个 pclk 周期产生一个脉冲（宽度为 pclk 的一个周期），用于后级计数器的使能信号。在各通道内，用户还可以再次配置数字滤波器的采样时钟分频，即配置 ETF 的值，滤波原理上述相同。

#### 22.6 通道

每个 GPTIMER 的各个通道有多路来源，这些信号来源与 GPTIMER 均为异步关系，因此在模块内部需要做同步处理。同步后的通道输入信号，可以根据软件配置进行滤波处理，滤波的采样频率和窗口长度均可以软件配置（ICxF），滤波后的信号由一个边沿检测器产生边沿信号，可以由软件配置有效电平（或有效边沿）。处理后的通道信号可以作为从模式控制器的控制信号，编码模式输入信号，也可以作为输入捕获使能信号（可配置分频）。每个输入通道可映射到当前通道、相邻通道或内部触发信号 TRC（CCxS[1:0]配置），具体方案见表格（以通道 0 为例），其中 ti0fp0 为映射到通道 0 的输入信号，ti1fp0 为映射到通道 1 的输入信号。

##### 表 22-2 输入通道有效极性配置

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| {CC0NP, CC0P} | 有效脉冲（应用于输入捕获、复位模式、触发模式、外部时钟模式） | | 有效电平（应用于Gate 模式、编码模式） |
| ti0fp0 | ti1fp0 | ti0fp |
| 2’b00 | 通道 0 上升沿 | 通道 1 上升沿 | 通道 0 高电平 |
| 2’b01 | 通道 0 下降沿 | 通道 1 下降沿 | 通道 0 低电平 |
| 2’b10 | 保留 | 保留 | 保留 |
| 2’b11 | 通道 0 双沿 | 通道 1 双沿 | 通道 0 高电平 |

##### 表 22-3 输入通道映射

|  |  |
| --- | --- |
| CCxS | icx映射 |
| 2’b01 | tixfpx（x 代表当前通道） |
| 2’b10 | tiyfpx（y 代表相邻通道） |
| 2’b11 | trc（仅适用于 TS=3’b000、3’b001、3’b010、3’b100） |

此外，通道 0 与其他通道不同，可以软件配置（TI0S 置位）通道 0 连接到通道 0、通道 1 和通

道2的异或输出，此时该通道的其他功能依然有效，该功能仅适用于GPTIMER0和GPTIMER1。

##### 22.6.1 输入捕获

输入捕获仅在通道被配置为输入模式且 CCxE 置位时被激活，可以由软件（CCxG）或硬件

（当前通道、相邻通道或内部互联信号）触发捕获行为。当有效的捕获触发信号产生时， GPTIMER 会把当前 counter 的值锁存到相应的 CCRx 寄存器中，并且置位 CCxIF 标志位，如果使能了相应中断或 DMA 屏蔽位，则会产生中断信号或 DMA 请求。如果 CCxIF 置位时（未被软件清除）又发生了不止一次捕获行为，则 CCxOF 置位，指示发生了捕获溢出事件，读取

CCxR 寄存器（或 SR 寄存器相应位写 0）可以清除 CCxIF 和 CCxOF。波形如下图所示。

 **图 22-9 输入捕获**

##### 22.6.2 输出比较

输出比较功能仅在通道被配置为输出模式且 CCxE 置位时被激活，该功能通过比较 counter 值与 CCRx 的值，控制通道输出高低翻转，进而输出特定的波形。

###### 22.6.2.1 CCRx 预装载功能

CCRx 寄存器的写入有两种方式，若 CCxPE 置位，则软件写入的 CCRx 值不会直接被使用，真正起作用的是影子寄存器，作为缓冲，直到更新事件发生后，才会将 CCRx 的值更新到影子寄存器中；若 OCxPE 复位，则软件写入的 CCRx 值会直接被使用，影子寄存器禁用。

###### 22.6.2.2 输出比较模式

当匹配（CNT==CCR）发生时，通道输出会根据配置的模式进行翻转，且 CCxIF 标志位会置位，若使能了相应的中断或 DMA 屏蔽位，则会产生中断或 DMA 请求，具体的模式控制如下表格所示。

表 22-4 输出比较各种模式下的输出波形描述

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 比较模式 | 计数模式 | 输出波形 |
| 冻结模式 | Any | 无论 CNT 如何变化，输出维持不变 |
| SET 模式 | Any | 在 CNT==CCR 后，输出高电平 |
| RESET 模式 | Any | 在 CNT==CCR 后，输出低电平 |
| TOGGLE 模式 | Any | 在 CNT==CCR 时，翻转当前电平 |
| 强制 RESET 模式 | Any | 选择该模式后，直接输出低电平，忽略比较结果 |
| 强制 SET 模式 | Any | 选择该模式后，直接输出高电平，忽略比较结果 |
| PWM1 模式 | 向上计数（边  沿对齐 pwm） | CNT<CCR 时，输出高电平，CNT>=CCR 时，输出低电平。如果 CCR>ARR，则输出一直为高电平（100%PWM），如果  CCR==0，则输出一直为低电平（0%PWM）。 |
| 向下计数（边  沿对齐 pwm） | CNT<=CCR 时，输出高电平，CNT>CCR 时，输出低电平。  如果 CCR>ARR，则输出一直为高电平（100%PWM）。注意：0%PWM 模式在该情况下不支持。 |
| 中间计数（中  间对齐 pwm） | 相当于向上计数与向下计数相结合。如果 CCR>=ARR，则输出一直为高电平（100%PWM），如果 CCR==0，则输出一直为低电平（0%PWM）。 |
| PWM2 模式 | 向上计数（边  沿对齐 pwm） | CNT<CCR 时，输出低电平，CNT>=CCR 时，输出高电平。  如果 CCR>ARR，则输出一直为低电平（0%PWM），如果  CCR==0，则输出一直为高电平（100%PWM）。 |
| 向下计数（边  沿对齐 pwm） | CNT<=CCR 时，输出低电平，CNT>CCR 时，输出高电平。如果 CCR>ARR，则输出一直为低电平（0%PWM）。注意：  100%PWM 模式在该情况下不支持。 |
| 中间计数（中  间对齐 pwm） | 相当于向上计数与向下计数相结合。如果 CCR>=ARR，则输出一直为低电平（0%PWM），如果 CCR==0，则输出一直为高电平（100%PWM）。 |

**各模式下输出波形**如下所示（以向上计数为例）：



图 22-10 各种输出比较模式下的波形

其中，PWM 模式下还支持通过配置 ARR 和 CCR 控制输出 0%和 100%波形，边沿对齐计数的

PWM2 波形如下图所示。



**图 22-11 边沿对齐计数 PWM2** 中间对齐计数的 PWM2 波形如下图所示。

 **图 22-12 中间对齐计数 PWM2**

22.6.2.3 单脉冲快速输出功能

单脉冲模式下（OPM 置位），两个 PWM 模式可以配置为快速输出模式（置位 OCxFE），使能快速模式后，输出波形将忽略 CNT 和 CCR 的比较结果，改为由触发信号（根据 TS 选择）上升沿控制电平翻转，输出信号电平等同于匹配事件发生后的电平，例如，配置 GPTIMER 通道 0 为输出模式，选择 PWM1 模式，触发信号选择 ETR 输入，则当 ETR 输入高电平后，通道 0 立刻输出高电平（OCxP=0 情况下），该功能可以有效减少从触发信号边沿到波形输出之间的延迟。使能快速模式时的单脉冲输出波形如下图：

 **图 22-13 使能快速模式时的单脉冲输出波形**

22.6.2.4 外部触发信号清除通道输出功能

输出波形除了受计数值的影响，还可以通过外部触发信号（ETR）硬件清零，若要使用该功能，需提前使能 OCxCE 位，同时保证 ETR 禁用分频（ETP=2’b00），且 ETR 不得作为计数时钟。使能该功能后（OCxCE=1），ETR 的电平有效（默认高电平）时，通道输出将被清除，更改 ETR的有效电平时通过配置ETP实现。关闭该功能后（OCxCE=0），通道输出不会立刻恢复，而是等到下一次计数周期开始才会恢复正常输出。开启和关闭外部触发信号清除通道输出功能的对比波形如下图：

 **图 22-14 外部触发信号清除通道输出**

##### 22.7 触发输入通道

每个 GPTIMER 的 ETR 有多路来源，通过 MUX 选择一路输入到模块内，这些信号来源与 GPTIMER 均为异步关系，因此在模块内部需要做同步处理。同步后的 ETR 信号，可以根据软件配置选择有效电平（或有效边沿）、配置分频（1、2、4、8）以及滤波处理，滤波的采样频率和窗长度均可以软件配置（ETF）。

##### 22.8 更新事件管理

更新事件主要有以下事件源：

1. 计数器的溢出事件（overflow 和 underflow）
2. UG 置位

与更新事件管理相关的控制信号主要是 URS 和 UDIS，具体控制如下：

* 若 UDIS=0，URS=0，则 underflow、overflow、UG 置位会初始化 counter 和 pre-scale counter（center-aligned 模式下 counter 不会被 overflow 清零，也不会被 underflow 加载 ARR），如果启用影子寄存器，更新事件将会把写入的值更新到影子寄存器中（ARR 取决于 ARPE，CCRx 取决于 OCxPE），UIF 会置位，如果使能了中断或 DMA 屏蔽位，则会产生中断或 DMA 请求。
* 若 UDIS=0，URS=1，则 underflow、overflow、UG 置位会初始化 counter 和 pre-scale counter（center-aligned 模式下 counter 不会被 overflow 清零，也不会被 underflow 加载 ARR），如果启用影子寄存器，更新事件将会把写入的值更新到影子寄存器中（ARR 取决于ARPE，CCRx取决于 OCxPE），UIF 只会在 overflow或underflow情况下置位，如果使能了中断或 DMA 屏蔽位，则会产生中断或 DMA 请求，该配置可以有效避免输入捕获模式下 UG 置位初始化计数器时，同时产生捕获中断和更新中断的情况。
* 若 UDIS=1（忽略 URS），则 underflow、overflow、UG 置位会初始化 counter 和 prescale counter（center-aligned模式下counter不会被overflow清零，也不会被underflow 加载 ARR），但是影子寄存器不会被更新，且 UIF 不会置位，因此不会产生相应中断或

DMA 请求。

##### 22.9 编码模式控制

该 GPTIMER 支持正交编码计数功能，可以通过通道 0 和通道 1 输入正交信号，进行计数和方向检测。编码模式共有三种，仅在通道 0 边沿计数、仅在通道 1 边沿计数以及在通道 1 和通道 2 边沿计数。在此功能下，两个通道输入可以配置数字滤波功能，极性配置和分频配置无效。通过两个通道信号的组合，可以产生计数使能和方向控制信号，控制计数器加减（如果CEN使能），因此在该模式下，软件配置计数方向无效。具体的组合方式见下表，

###### 表 22-5 编码模式

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 编码模式 | 通道0/1电平 | 通道0边沿 | | 通道1电平 | |
| 上升沿 | 下降沿 | 上升沿 | 下降沿 |
| 编码模式 1  （在通道 1 边沿计数） | 高电平 | - | - | 向上计数 | 向下计数 |
| 低电平 | - | - | 向下计数 | 向上计数 |
| 编码模式 2  （在通道 0 边沿计数） | 高电平 | 向下计数 | 向上计数 | - | - |
| 低电平 | 向上计数 | 向下计数 | - | - |
| 编码模式 3  （在所有通道边沿计数） | 高电平 | 向下计数 | 向上计数 | 向上计数 | 向下计数 |
| 低电平 | 向上计数 | 向下计数 | 向下计数 | 向上计数 |

在编码模式下，计数器同样是在 0-ARR 之间计数，向上计数到 ARR 时会产生 overflow，然后回到 0 重新计数，向下计数到 0 时会产生 underflow，然后回到 ARR 重新计数。此外，在该模式下，输入捕获（通道 2 和通道 3）、输出比较、分频、触发输出功能依然适用。编码模式 1 的计数波形图如下：



**图 22-15 编码模式 1 的计数波形**

##### 22.10 从模式控制

GPTIMER 支持级联操作，作为外部或内部模块的从机。从模式的触发输入信号 TRGI 有多路来源，通过 TS[2:0] 进行选择，结构如上图，其中 ITRx 来自于内部其他 GPTIMER 的触发输出信号（TRGO），具体映射关系见下表。

###### 表 22-6 各 GPTIMER 的内部触发输入映射

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 从机GPTIMER | ITR0 | ITR1 | ITR2 |
| GPTIMER0 | GPTIMER2 | GPTIMER3 | GPTIMER1 |
| GPTIMER1 | GPTIMER0 | GPTIMER3 | GPTIMER2 |
| GPTIMER2 | GPTIMER3 | GPTIMER0 | - |
| GPTIMER3 | GPTIMER1 | GPTIMER2 | - |

从模式控制主要有以下四种方式：

1. **复位模式**：TRGI 的上升沿将会初始化计数器和分频计数器，并且可以更新影子寄存器

（UDIS=0 时），从模式下复位模式波形图如下：

 **图 22-16 从模式下的复位模式波形**

1. **门控模式**：TRGI 电平可以控制计数器的运行和停止，默认有效电平下，高电平时计数器计数，低电平时计数器停止计数（不是复位），在该模式下，CEN 需要软件置位。从模式下门控模式波形图如下：

 **图 22-17 从模式下的门控模式波形**

1. **触发模式**：TRGI 的上升沿可以控制计数器开始计数，但是无法控制计数器是否停止，在该模式下，CEN 不需要软件置位。从模式下触发模式波形图如下：

 **图 22-18 从模式下的触发模式波形**

1. **时钟模式（即外部时钟模式 1）**：TRGI 的上升沿作为计数器的计数使能控制计数，此时分频电路依然有效。

在从模式下，TRGI 的上升沿会置位 TIF 标志位，如果使能了相应中断或 DMA 屏蔽位，则会产生中断或 DMA 请求。但是门控模式有一些特殊，在该模式下，除上升沿外，下降沿也可以置位 TIF。

另外使用 GPTIMER 级联时，需要保证主从的时钟同频同相，否则会发生未知错误。

##### 22.11 主模式控制

GPTIMER也可以作为主模式使用，通过产生触发输出信号（TRGO）来控制其他GPTIMER或

ADC 和 DAC。TRGO 信号的来源可以由软件配置，具体如下：

* MMS=3’b000：复位模式，此时 UG 标志位将作为 TRGO 信号输出给外部从机。
* MMS=3’b001：使能模式，此时计数器的计数使能将作为 TRGO 信号输出给外部从机。如果当前GPTIMER同时处于从机门控模式，则该信号为门控信号，否则直接将CEN作为 TRGO 信号输出。
* MMS=3’b010：更新模式，此时将更新事件作为 TRGO 信号输出。
* MMS=3’b011：通道 0 比较脉冲模式，此时如果 CC0IF 将置位，则输出一个脉冲作为

TRGO 信号，无论此时 CC0IF 是否已经置位。

* MMS=3’b100：比较模式 1，此时将 OC0REF 作为 TRGO 信号输出。  MMS=3’b101：比较模式 2，此时将 OC1REF 作为 TRGO 信号输出。
* MMS=3’b110：比较模式 3，此时将 OC2REF 作为 TRGO 信号输出。
* MMS=3’b111：比较模式 4，此时将 OC3REF 作为 TRGO 信号输出。

**注意：**后*4*种模式输出的信号*OCxREF*，并不是最终的通道输出，而是内部信号。

GPTIMER 配置为主机使能模式时，有一种特殊应用，即同步启动主机和从机的计数器。但是因为主机的 CEN 作为 TRGO 输出到从机并使能从机计数器需要两个时钟的延迟（假定主从时钟同频同相），因此在使用这一功能时，内部会把主机的 CEN 信号用两级寄存器延迟 2 个时钟周期，以保证同步，该功能可以软件配置是否使能（MSM）。

#### 22.12 输出控制

GPTIMER0 和 GPTIMER1 共 4 路通道输出，GPTIMER2 和 GPTIMER3 共 2 路通道输出，同时有相应的输出使能信号，通道输出仅在 CCxE 置位时有效，此时可以通过 CCxP 控制输出极性，输出极性指输出有效电平为高电平还是低电平。输出使能信号为高有效，即在 CCxE 置位时有效，同时需保证通道被正确配置为输出模式，输出模式通过 CCxS 配置。

##### 22.13 通道重映射

通道重映射就是把 GPTIMER 的通道或外部触发通道 ETR 的输入信号从其他外部或内部信号映射过来。GPTIMER0 的 ETR 通道、通道 0 和通道 3 支持重映射，GPTIMER0 的通道 2 支持重映射，GPTIMER2 的 ETR 通道、通道 0 和通道 1 支持重映射，GPTIMER3 的 ETR 通道、通道 0 支持重映射。

#### 22.14 Debug 模式控制

GPTIMER 可由软件配置 debug 下是否停止计数，如果使能该功能，则进入系统 debug 模式时，

GPTIMER 停止计数（计数器不会初始化）。

#### 22.15 DMA 控制

GPTIMER 共有 6 个 DMA 请求源，分别是 update 事件（UIF）、4 路通道事件（捕获事件、比较匹配）（CCxIF）以及触发事件（TIF），可以由独立的屏蔽位配置是否使能相应的 DMA 请求。

对于通道事件 DMA，可以软件（CCDS 位）配置通道的 DMA 请求源，若 CCDS=0，各通道 DMA 请求来自于各通道的事件，如捕获、比较匹配事件；若 CCDS=1，则各通道的 DMA 请求均来自于更新事件，通道事件将被屏蔽。

各 DMA 请求仅在无相应应答信号、DMA 使能开启且 DMA 事件发生时置位，在 DMA 请求置位时，应答信号可以清除 DMA 请求，否则 DMA 请求将一直保持置位状态。

除常规的 DMA 操作外，GPTIMER 还支持 burst 功能，即一个 DMA 请求可以连续读写多个内部寄存器。DBL 位可以选择 burst 长度，最多 18 个，DBA 可以选择 burst 的起始地址，DMAR 寄存器的地址可以作为 DMA 的目标地址或源地址（DMA 内部不需要设置每次递增）。当某一个 DMA 请求置位时，GPTIMER 根据 DBL 和 DBA 的值，计算出每一次读写操作的实际地址，实际地址计算方法为：*CR1 + (DBA + index) x 4*，其中 index 的值为 0 至 DBL。

**注意：**寄存器组中间有保留寄存器地址，该地址也将包含在*DMA*的*burst*操作中，实际使用时需注意配置的长度。例如，起始地址选择*ARR* 寄存器（*0x2C*），*DBL* 配置为*5’b00010*（*3* 个

*burst*），则*DMA* 实际操作的三个寄存器分别是*0x2C*、 *0x30*、 *0x34*，其中*0x30* 为保留寄存器，因此无法写入且读出永远为*0*。

#### 22.16 中断

GPTIMER 共有 6 个中断源，分别是 update 事件（UIF）、4 路通道事件（捕获事件、比较匹配）（CCxIF）以及触发事件（TIF），各中断可以由独立的中断屏蔽位选择是否使能，中断标志位与相应屏蔽位是 AND 的关系，中断之间是 OR 的关系。GPTIMER 的中断信号如下表：

**表 22-7 GPTIMER 中断信号**

|  |  |
| --- | --- |
| 中断名称 | 描述 |
| 触发事件中断 | 触发源产生事件时的中断 |
| 通道 3 事件中断 | 通道 3 产生捕获或比较事件时的中断 |
| 通道 2 事件中断 | 通道 2 产生捕获或比较事件时的中断 |
| 通道 1 事件中断 | 通道 1 产生捕获或比较事件时的中断 |
| 通道 0 事件中断 | 通道 0 产生捕获或比较事件时的中断 |
| 更新事件中断 | 产生更新事件时的中断 |

上述中断的使能分别通过配置寄存器 DIER 的 TIE、CC3IE、CC2IE、CC1IE、CC0IE、UIE 位实现。

#### 22.17 GPTIMER 相关寄存器描述

GPTIMER0 基地址：0x4000A000

GPTIMER1 基地址：0x4001A000

GPTIMER2 基地址：0x4000B000

GPTIMER3 基地址：0x4001B000

**表 22-8 GPTIMER 寄存器列表**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 寄存器 | 偏移量 | 描述 |
| GPTIM\_CR1 | 0x00 | 控制寄存器 1 |
| GPTIM\_CR2 | 0x04 | 控制寄存器 2 |
| GPTIM\_SMCR | 0x08 | 从模式控制寄存器 |
| GPTIM\_DIER | 0x0C | DMA/中断使能寄存器 |
| GPTIM\_SR | 0x10 | 状态寄存器 |
| GPTIM\_EGR | 0x14 | 事件寄存器 |
| GPTIM\_CCMR1 | 0x18 | 捕获比较模式寄存器 1 |
| GPTIM\_CCMR2 | 0x1C | 捕获比较模式寄存器 2 |
| GPTIM\_CCER | 0x20 | 捕获比较使能寄存器 |
| GPTIM\_CNT | 0x24 | 计数寄存器 |
| GPTIM\_PSC | 0x28 | 计数器分频值寄存器 |
| GPTIM\_ARR | 0x2C | 计数器重装载值寄存器 |
| GPTIM\_CCR0 | 0x34 | 通道 0 捕获比较寄存器 |
| GPTIM\_CCR1 | 0x38 | 通道 1 捕获比较寄存器 |
| GPTIM\_CCR2 | 0x3C | 通道 2 捕获比较寄存器 |
| GPTIM\_CCR3 | 0x40 | 通道 3 捕获比较寄存器 |
| GPTIM\_DCR | 0x48 | DMA 控制寄存器 |
| GPTIM\_DMAR | 0x4C | DMA 地址寄存器 |
| GPTIM\_OR | 0x50 | 通道重映射寄存器 |

##### 22.17.1 GPTIM\_CR1

偏移量：0x00

复位值：0x0000

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **15-10** | **9-8** | **7** | **6-5** | **4** | **3** | **2** | **1** | **0** |
| RESERVED | CKD | ARPE | CMS | DIR | OPM | URS | UDIS | CEN |
| r-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h |

**位 15-10 RESERVED：**保留。**位 9-8 CKD：**采样时钟分频。

* 00：fDTS = fpclk
* 01：fDTS = fpclk
* 10：fDTS = fpclk
* 11：fDTS = reserved

**位 7 ARPE：**重装载影子寄存器使能。

* 0：ARR 影子寄存器除能
* 1：ARR 影子寄存器使能

**位 6-5 CMS：**中间计数模式选择。

* 00：边沿对齐计数模式，DIR 控制向上或向下计数
* 01：中间对齐模式 1。输出比较中断标志位仅在向下计数过程中置位
* 10：中间对齐模式 2。输出比较中断标志位仅在向上计数过程中置位
* 11：中间对齐模式 3。输出比较中断标志位在向上和向下计数过程中均置位**位 4 DIR：**计数方向选择。中间对齐模式和编码模式，该位由硬件控制。
* 0：向上计数
* 1：向下计数

**位 3 OPM：**单脉冲模式使能。

* 0：单脉冲模式除能
* 1：单脉冲模式使能，计数器在下一次更新事件停止计数

**位 2 URS：**更新事件源选择，该位仅影响中断和 DMA 标志位（UIF），不影响内部逻辑。

* 0：计数器溢出、UG 位置位、从模式 reset 模式下的触发，均可以置位 UIF
* 1：只有计数器溢出事件可以置位 UIF **位 1 UDIS：**更新事件除能。
* 0：更新事件使能，中间对齐模式 1。输出比较中断标志位仅在向下计数过程中置位均可以产生更新事件
* 1：更新事件除能，影子寄存器和 UIF 均不会被更新，但是此时计数器和分频计数器仍可以被 UG 置位事件初始化**位 0 CEN：**计数器使能，触发模式下 CEN 由硬件置位，单脉冲模式下 CEN 由硬件清零。
* 0：计数器除能
* 1：计数器使能

##### 22.17.2 GPTIM\_CR2

偏移量：0x04

复位值：0x0000

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **15-8** | **7** | **6-4** | **3** | **2-0** |
| RESERVED | TI0S | MMS | CCDS | RESERVED |
| r-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h | r-0h |

**位 15-8 RESERVED：**保留。

**位 7 TI0S：**通道 1 源异或选择（该功能仅 timer0 和 timer1 支持）。

* 0：通道 0 映射到通道 0 输入
* 1：通道 0 为通道 0、1、2 的异或输出

**位 6-4 MMS：**主模式选择，可以配置 TRGO 输出。

* 000：复位模式，UG 将作为 TRGO 信号输出
* 001：使能模式，CNT\_EN（不是 CEN）将作为 TRGO 信号输出
* 010：更新模式，更新事件（内部信号）将作为 TRGO 信号输出
* 011：比较脉冲模式，每次 CC0IF 将要置位时 TRGO 会输出一个脉冲，即使 CC0IF 已经置位
* 100：比较模式，OC0REF（内部信号）作为 TRGO 信号输出
* 101：比较模式，OC1REF（内部信号）作为 TRGO 信号输出
* 110：比较模式，OC2REF（内部信号）作为 TRGO 信号输出
* 111：比较模式，OC3REF（内部信号）作为 TRGO 信号输出

**位 3 CCDS：**通道 DMA 请求源选择（该功能仅 gptimer0 和 gptimer1 支持）。

* 0：各通道的 DMA 请求（不包含更新事件请求和触发事件请求）由通道事件（捕获、比较）产生
* 1：各通道的 DMA 请求（不包含更新事件请求和触发事件请求）由更新事件产生

**位 2-0 RESERVED：**保留。

##### 22.17.3 GPTIM\_SMCR

偏移量：0x08 复位值：0x0000

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **15** | **14** | **13-12** | **11-8** | **7** | **6-4** | **3** | **2-0** |
| ETP | ECE | ETPS | ETF | MSM | TS | RESERVED | SMS |
| rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h | r-0h | rw-0h |

**位 15 ETP：**外部触发极性选择（配置极性时最好先不要选择模式（SMS），以防内部信号翻转触发未知错误）。

* 0：外部触发输入不反相
* 1：外部触发输入反相**位 14 ECE：**外部时钟模式 2 使能。
* 0：禁用外部时钟模式 2
* 1：使能外部时钟模式 2 **位 13-12 ETPS：**外部触发输入分频（该分频主要用于 50%占空比降频，如 24M 信号 2 分频为 12M，电平延展一倍）择。
* 00：不分频
* 01：2 分频
* 10：4 分频
* 11：8 分频**位 11-8 ETF：**外部触发输入滤波器配置。
* 0000：禁用滤波器
* 0001：滤波器采样频率 fsampling=fpclk， 滤波器长度 N=2
* 0010：滤波器采样频率 fsampling=fpclk， 滤波器长度 N=4
* 0011：滤波器采样频率 fsampling=fpclk， 滤波器长度 N=8
* 0100：滤波器采样频率 fsampling=fDTS/2， 滤波器长度 N=6
* 0101：滤波器采样频率 fsampling=fDTS/2， 滤波器长度 N=8
* 0110：滤波器采样频率 fsampling=fDTS/4， 滤波器长度 N=6
* 0111：滤波器采样频率 fsampling=fDTS/4， 滤波器长度 N=8
* 1000：滤波器采样频率 fsampling=fDTS/8， 滤波器长度 N=6
* 1001：滤波器采样频率 fsampling=fDTS/8， 滤波器长度 N=8
* 1010：滤波器采样频率 fsampling=fDTS/16， 滤波器长度 N=5
* 1011：滤波器采样频率 fsampling=fDTS/16， 滤波器长度 N=6
* 1100：滤波器采样频率 fsampling=fDTS/16， 滤波器长度 N=8
* 1101：滤波器采样频率 fsampling=fDTS/32， 滤波器长度 N=5
* 1110：滤波器采样频率 fsampling=fDTS/32， 滤波器长度 N=6
* 1111：滤波器采样频率 fsampling=fDTS/32， 滤波器长度 N=8

**位 7 MSM：**主从模式同步（使用该功能时，需保证两个 timer 的时钟同频同相）。

* 0：无动作
* 1：TRGI 触发输入将延迟产生作用，以便与从计数器同时开始计数**位 6-4 TS：**触发源选择，选择 TRGI 的来源（配置该位时 SMS 必须处于清零状态）。
* 000：ITR0
* 001：ITR1
* 010：ITR2（timer2 和 timer3 无此通道）
* 011：保留
* 100：通道 0 边沿检测输出
* 101：通道 0 滤波器输出
* 110：通道 1 滤波器输出
* 111：外部触发输入**位 3 RESERVED：**保留。

**位 2-0 SMS：**从模式选择（选择模式前最好先配置好通道参数，以防内部信号翻转触发未知错误）。

* 000：禁用从模式
* 001：编码模式 1，计数器仅在通道 1 边沿计数
* 010：编码模式 2，计数器仅在通道 0 边沿计数
* 011：编码模式 3，计数器在通道 0 和 1 的边沿计数
* 100：复位模式，TRGI 的上升沿将复位计数器
* 101：门控模式，计数器仅在 TRGI 高电平期间计数
* 110：触发模式，计数器在 TRGI 上升沿将开始计数，该模式仅控制计数的开始
* 111：外部时钟模式 1，TRGI 的上升沿作为计数器计数时钟

##### 22.17.4 GPTIM\_DIER

偏移量：0x0C

复位值：0x0000

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **15** | **14** | **13** | **12** | **11** | **10** | **9** | **8** |
| RESERVED | TDE | RESERVED | CC3DE | CC2DE | CC1DE | CC0DE | UDE |
| r-0h | rw-0h | r-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h |
| **7** | **6** | **5** | **4** | **3** | **2** | **1** | **0** |
| RESERVED | TIE | RESERVED | CC3IE | CC2IE | CC1IE | CC0IE | UIE |
| r-0h | rw-0h | r-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h |

**位 15 RESERVED：**保留。

**位 14 TDE：**触发事件 DMA 请求使能。

* 0：禁用触发事件 DMA 请求
* 1：使能触发事件 DMA 请求**位 13 RESERVED：**保留。

**位 12 CC3DE：**通道 3 事件 DMA 请求使能。

* 0：禁用通道 3 事件 DMA 请求
* 1：使能通道 3 事件 DMA 请求**位 11 CC3DE：**通道 2 事件 DMA 请求使能。
* 0：禁用通道 2 事件 DMA 请求
* 1：使能通道 2 事件 DMA 请求

**位 10 CC3DE：**通道 1 事件 DMA 请求使能。

* 0：禁用通道 1 事件 DMA 请求
* 1：使能通道 1 事件 DMA 请求**位 9 CC3DE：**通道 0 事件 DMA 请求使能。
* 0：禁用通道 0 事件 DMA 请求
* 1：使能通道 0 事件 DMA 请求

**位 8 UDE：**更新事件 DMA 请求使能。

* 0：禁用更新事件 DMA 请求
* 1：使能更新事件 DMA 请求**位 7 RESERVED：**保留。

**位 6 TIE：**触发事件中断请求使能。

* 0：禁用触发事件中断请求
* 1：使能触发事件中断请求**位 5 RESERVED：**保留。

**位 4 CC3IE：**通道 3 事件中断请求使能。

* 0：禁用通道 3 事件中断请求
* 1：使能通道 3 事件中断请求**位 3 CC2IE：**通道 2 事件中断请求使能。
* 0：禁用通道 2 事件中断请求
* 1：使能通道 2 事件中断请求**位 2 CC1IE：**通道 1 事件中断请求使能。
* 0：禁用通道 1 事件中断请求
* 1：使能通道 1 事件中断请求**位 1 CC0IE：**通道 0 事件中断请求使能。
* 0：禁用通道 0 事件中断请求
* 1：使能通道 0 事件中断请求**位 0 UIE：**通道 0 事件中断请求使能。
* 0：禁用通道 0 事件中断请求
* 1：使能通道 0 事件中断请求

##### 22.17.5 GPTIM\_SR

偏移量：0x10 复位值：0x0000

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **15-13** | | **12** | **11** | **10** | **9** | **8-7** |
| RESERVED | | CC3OF | CC2OF | CC1OF | CC0OF | RESERVED |
| r-0h | | rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h | r-0h |
| **6** | **5** | **4** | **3** | **2** | **1** | **0** |
| TIF | RESERVED | CC3IF | CC2IF | CC1IF | CC0IF | UIF |
| rw-0h | r-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h |

**位 15-13 RESERVED：**保留。

**位 12 CC3OF：**通道 3 overcapture 标志（写 0 清零）。

* 0：无 overcapture
* 1：发生了至少 1 次 overcapture **位 11 CC2OF：**通道 2 overcapture 标志（写 0 清零）。
* 0：无 overcapture
* 1：发生了至少 1 次 overcapture **位 10 CC1OF：**通道 1 overcapture 标志（写 0 清零）。
* 0：无 overcapture
* 1：发生了至少 1 次 overcapture **位 9 CC0OF：**通道 0 overcapture 标志（写 0 清零）。
* 0：无 overcapture
* 1：发生了至少 1 次 overcapture **位 8-7 RESERVED：**保留。

**位 6 TIF：**触发事件中断标志（写 0 清零）。

* 0：无触发事件
* 1：触发事件发生**位 5 RESERVED：**保留。

**位 4 CC3IF：**通道 3 捕获/比较事件标志（比较模式：写 0 清零；捕获模式：读 ccrx 寄存器或写 0 均可清零）。

* 0：无事件
* 1：捕获或比较事件发生**位 3 CC3IF：**通道 2 捕获/比较事件标志（比较模式：写 0 清零；捕获模式：读 ccrx 寄存器或写 0 均可清零）。
* 0：无事件
* 1：捕获或比较事件发生**位 2 CC3IF：**通道 1 捕获/比较事件标志（比较模式：写 0 清零；捕获模式：读 ccrx 寄存器或写 0 均可清零）。
* 0：无事件
* 1：捕获或比较事件发生

**位 1 CC3IF：**通道 0 捕获/比较事件标志（比较模式：写 0 清零；捕获模式：读 ccrx 寄存器或写 0 均可清零）。

* 0：无事件
* 1：捕获或比较事件发生

**位 0 UIF：**更新事件标志（读 SR 或写 0 可清零该位）。

* 0：无事件
* 1：更新事件发生

##### 22.17.6 GPTIM\_EGR

偏移量：0x14

复位值：0x0000

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **15-7** | **6** | **5** | **4** | **3** | **2** | **1** | **0** |
| RESERVED | TG | RESERVED | CC3G | CC2G | CC1G | CC0G | UG |
| r-0h | w-0h | r-0h | w-0h | w-0h | w-0h | w-0h | w-0h |

**位 15-7 RESERVED：**保留。

**位 6 TG：**触发产生。

* 0：无动作
* 1：产生一次触发事件，TIF 置位**位 5 RESERVED：**保留。

**位 4 CC3G：**通道 3 事件产生。

* 0：无动作
* 1：输入模式时产生捕获动作，输出模式时产生比较动作，两种模式下 CC3IF 置位**位 3 CC2G：**通道 2 事件产生。
* 0：无动作
* 1：输入模式时产生捕获动作，输出模式时产生比较动作，两种模式下 CC2IF 置位**位 2 CC1G：**通道 1 事件产生。
* 0：无动作
* 1：输入模式时产生捕获动作，输出模式时产生比较动作，两种模式下 CC1IF 置位**位 1 CC0G：**通道 0 事件产生。
* 0：无动作
* 1：输入模式时产生捕获动作，输出模式时产生比较动作，两种模式下 CC0IF 置位**位 0 UG：**更新事件产生。
* 0：无动作
* 1：产生一次更新事件

##### 22.17.7 GPTIM\_CCMR1

偏移量：0x18

复位值：0x0000

**输出模式时结构如下：**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **15** | **14-12** | **11** | **10** | **9-8** | **7** | **6-4** | **3** | **2** | **1-0** |
| OC1CE | OC1M | OC1PE | OC1FE | CC1S | OC0CE | OC0M | OC0PE | OC0FE | CC0S |
| rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h |

**位 15 OC1CE：**通道 1 输出比较清除使能。

* 0：禁用清除功能
* 1：使能清除功能，ETRF 高电平可以清除通道输出**位 14-12 OC1M：**通道 1 输出比较模式选择。
* 000：冻结模式，通道输出不随比较结果变化
* 001：有效模式，匹配后通道输出有效电平
* 010：失效模式，匹配后通道输出失效电平
* 011：翻转模式，匹配后将翻转通道输出
* 100：强制有效模式，选择该模式后，直接输出有效电平
* 101：强制失效模式，选择该模式后，直接输出失效电平
* 110：PWM1 模式，该模式下，向上计数时，CNT<CCR 时通道输出有效电平，否则输出失效电平；向下计数时，CNT>CCR 时通道输出失效电平，否则输出有效电平（向上计数时，若 CCRx>ARR，

OCxREF 一直输出高电平，若 CCRx==0，OCxREF 一直输出低电平；向下计数时，若 CCRx>ARR，

OCxREF 一直输出高电平，此时 0% PWM 不支持）

* 111：PWM2 模式，该模式下，向上计数时，CNT<CCR 时通道输出失效电平，否则输出有效电平；

向下计数时，CNT>CCR 时通道输出有效电平，否则输出失效电平（0%与 100%波形与 PWM1 同理）**位 11 OC1PE：**通道 1 输出比较影子寄存器使能。

* 0：禁用影子寄存器
* 1：使能影子寄存器

**位 10 OC1FE：**通道 1 快速输出使能。

* 0：禁用快速模式，输出仅在匹配时变化
* 1：使能快速模式，触发输入相当于匹配事件，直接影响通道输出，不受计数器与 CCR 的比较影响**位 9-8 CC1S：**捕获比较选择。
* 00：通道配置为 输出模式
* 01：通道配置为输入模式，捕获通道输入映射至通道 1
* 10：通道配置为输入模式，捕获通道输入映射至通道 0
* 11：通道配置为输入模式，捕获通道输入映射至触发输入 TRC **位 7 OC0CE：**通道 0 输出比较清除使能。
* 0：禁用清除功能
* 1：使能清除功能，ETRF 高电平可以清除通道输出

**位 6-4 OC0M：**通道 0 输出比较模式选择。

* 000：冻结模式，通道输出不随比较结果变化
* 001：有效模式，匹配后通道输出有效电平
* 010：失效模式，匹配后通道输出失效电平
* 011：翻转模式，匹配后将翻转通道输出
* 100：强制有效模式，选择该模式后，直接输出有效电平
* 101：强制失效模式，选择该模式后，直接输出失效电平
* 110：PWM1 模式，该模式下，向上计数时，CNT<CCR 时通道输出有效电平，否则输出失效电平；向下计数时，CNT>CCR 时通道输出失效电平，否则输出有效电平（向上计数时，若 CCRx>ARR，

OCxREF 一直输出高电平，若 CCRx==0，OCxREF 一直输出低电平；向下计数时，若 CCRx>ARR，

OCxREF 一直输出高电平，此时 0% PWM 不支持）

* 111：PWM2 模式，该模式下，向上计数时，CNT<CCR 时通道输出失效电平，否则输出有效电平；

向下计数时，CNT>CCR 时通道输出有效电平，否则输出失效电平（0%与 100%波形与 PWM1 同理）**位 3 OC0PE：**通道 0 输出比较影子寄存器使能。

* 0：禁用影子寄存器
* 1：使能影子寄存器

**位 2 OC0FE：**通道 0 快速输出使能。

* 0：禁用快速模式，输出仅在匹配时变化
* 1：使能快速模式，触发输入相当于匹配事件，直接影响通道输出，不受计数器与 CCR 的比较影响**位 1-0 CC0S：**捕获比较选择。
* 00：通道配置为 输出模式
* 01：通道配置为输入模式，捕获通道输入映射至通道 0
* 10：通道配置为输入模式，捕获通道输入映射至通道 1
* 11：通道配置为输入模式，捕获通道输入映射至触发输入 TRC

**输入模式时结构如下：**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **15-12** | **11-10** | **9-8** | **7-4** | **3-2** | **1-0** |
| IC1F | IC1PSC | CC1S | IC0F | IC0PSC | CC0S |
| rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h |

**位 15-12 IC1F：**通道 1 输入滤波器配置（需配置 CCxS！=0x0 该功能才能生效）。

* 0000：禁用滤波器
* 0001：滤波器采样频率 fsampling=fpclk， 滤波器长度 N=2
* 0010：滤波器采样频率 fsampling=fpclk， 滤波器长度 N=4
* 0011：滤波器采样频率 fsampling=fpclk， 滤波器长度 N=8
* 0100：滤波器采样频率 fsampling=fDTS/2， 滤波器长度 N=6
* 0101：滤波器采样频率 fsampling=fDTS/2， 滤波器长度 N=8
* 0110：滤波器采样频率 fsampling=fDTS/4， 滤波器长度 N=6
* 0111：滤波器采样频率 fsampling=fDTS/4， 滤波器长度 N=8
* 1000：滤波器采样频率 fsampling=fDTS/8， 滤波器长度 N=6
* 1001：滤波器采样频率 fsampling=fDTS/8， 滤波器长度 N=8
* 1010：滤波器采样频率 fsampling=fDTS/16， 滤波器长度 N=5**（未完，接下页）**
* 1011：滤波器采样频率 fsampling=fDTS/16， 滤波器长度 N=6
* 1100：滤波器采样频率 fsampling=fDTS/16， 滤波器长度 N=8
* 1101：滤波器采样频率 fsampling=fDTS/32， 滤波器长度 N=5
* 1110：滤波器采样频率 fsampling=fDTS/32， 滤波器长度 N=6
* 1111：滤波器采样频率 fsampling=fDTS/32， 滤波器长度 N=8 **位 11-10 IC1PSC：**通道 1 分频（需配置 CCxS！=0x0 该功能才能生效）。
* 00：不分频
* 01：2 分频
* 10：4 分频
* 11：8 分频**位 9-8 CC1S：**捕获比较选择。
* 00：通道配置为 输出模式
* 01：通道配置为输入模式，捕获通道输入映射至通道 1
* 10：通道配置为输入模式，捕获通道输入映射至通道 0
* 11：通道配置为输入模式，捕获通道输入映射至触发输入 TRC **位 7-4 IC0F：**通道 0 输入滤波器配置（需配置 CCxS！=0x0 该功能才能生效）。
* 0000：禁用滤波器
* 0001：滤波器采样频率 fsampling=fpclk， 滤波器长度 N=2
* 0010：滤波器采样频率 fsampling=fpclk， 滤波器长度 N=4
* 0011：滤波器采样频率 fsampling=fpclk， 滤波器长度 N=8
* 0100：滤波器采样频率 fsampling=fDTS/2， 滤波器长度 N=6
* 0101：滤波器采样频率 fsampling=fDTS/2， 滤波器长度 N=8
* 0110：滤波器采样频率 fsampling=fDTS/4， 滤波器长度 N=6
* 0111：滤波器采样频率 fsampling=fDTS/4， 滤波器长度 N=8
* 1000：滤波器采样频率 fsampling=fDTS/8， 滤波器长度 N=6
* 1001：滤波器采样频率 fsampling=fDTS/8， 滤波器长度 N=8
* 1010：滤波器采样频率 fsampling=fDTS/16， 滤波器长度 N=5
* 1011：滤波器采样频率 fsampling=fDTS/16， 滤波器长度 N=6
* 1100：滤波器采样频率 fsampling=fDTS/16， 滤波器长度 N=8
* 1101：滤波器采样频率 fsampling=fDTS/32， 滤波器长度 N=5
* 1110：滤波器采样频率 fsampling=fDTS/32， 滤波器长度 N=6
* 1111：滤波器采样频率 fsampling=fDTS/32， 滤波器长度 N=8 **位 3-2 IC0PSC：**通道 0 分频（需配置 CCxS！=0x0 该功能才能生效）。
* 00：不分频
* 01：2 分频
* 10：4 分频
* 11：8 分频**位 1-0 CC0S：**捕获比较选择。
* 00：通道配置为 输出模式
* 01：通道配置为输入模式，捕获通道输入映射至通道 0
* 10：通道配置为输入模式，捕获通道输入映射至通道 1
* 11：通道配置为输入模式，捕获通道输入映射至触发输入 TRC

##### 22.17.8 GPTIM\_CCMR2

偏移量：0x1C

复位值：0x0000

**输出模式时结构如下：**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **15** | **14-12** | **11** | **10** | **9-8** | **7** | **6-4** | **3** | **2** | **1-0** |
| OC3CE | OC3M | OC3PE | OC3FE | CC3S | OC2CE | OC2M | OC2PE | OC2FE | CC2S |
| rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h |

**位 15 OC3CE：**通道 3 输出比较清除使能。

* 0：禁用清除功能
* 1：使能清除功能，ETRF 高电平可以清除通道输出**位 14-12 OC3M：**通道 3 输出比较模式选择。
* 000：冻结模式，通道输出不随比较结果变化
* 001：有效模式，匹配后通道输出有效电平
* 010：失效模式，匹配后通道输出失效电平
* 011：翻转模式，匹配后将翻转通道输出
* 100：强制有效模式，选择该模式后，直接输出有效电平
* 101：强制失效模式，选择该模式后，直接输出失效电平
* 110：PWM1 模式，该模式下，向上计数时，CNT<CCR 时通道输出有效电平，否则输出失效电平；向下计数时，CNT>CCR 时通道输出失效电平，否则输出有效电平（向上计数时，若 CCRx>ARR，

OCxREF 一直输出高电平，若 CCRx==0，OCxREF 一直输出低电平；向下计数时，若 CCRx>ARR，

OCxREF 一直输出高电平，此时 0% PWM 不支持）

* 111：PWM2 模式，该模式下，向上计数时，CNT<CCR 时通道输出失效电平，否则输出有效电平；

向下计数时，CNT>CCR 时通道输出有效电平，否则输出失效电平（0%与 100%波形与 PWM1 同理）**位 11 OC3PE：**通道 3 输出比较影子寄存器使能。

* 0：禁用影子寄存器
* 1：使能影子寄存器

**位 10 OC3FE：**通道 3 快速输出使能。

* 0：禁用快速模式，输出仅在匹配时变化
* 1：使能快速模式，触发输入相当于匹配事件，直接影响通道输出，不受计数器与 CCR 的比较影响**位 9-8 CC3S：**捕获比较选择。
* 00：通道配置为 输出模式
* 01：通道配置为输入模式，捕获通道输入映射至通道 3
* 10：通道配置为输入模式，捕获通道输入映射至通道 2
* 11：通道配置为输入模式，捕获通道输入映射至触发输入 TRC **位 7 OC2CE：**通道 2 输出比较清除使能。
* 0：禁用清除功能
* 1：使能清除功能，ETRF 高电平可以清除通道输出

**位 6-4 OC2M：**通道 2 输出比较模式选择。

* 000：冻结模式，通道输出不随比较结果变化
* 001：有效模式，匹配后通道输出有效电平
* 010：失效模式，匹配后通道输出失效电平
* 011：翻转模式，匹配后将翻转通道输出
* 100：强制有效模式，选择该模式后，直接输出有效电平
* 101：强制失效模式，选择该模式后，直接输出失效电平
* 110：PWM1 模式，该模式下，向上计数时，CNT<CCR 时通道输出有效电平，否则输出失效电平；向下计数时，CNT>CCR 时通道输出失效电平，否则输出有效电平（向上计数时，若 CCRx>ARR，

OCxREF 一直输出高电平，若 CCRx==0，OCxREF 一直输出低电平；向下计数时，若 CCRx>ARR，

OCxREF 一直输出高电平，此时 0% PWM 不支持）

* 111：PWM2 模式，该模式下，向上计数时，CNT<CCR 时通道输出失效电平，否则输出有效电平；

向下计数时，CNT>CCR 时通道输出有效电平，否则输出失效电平（0%与 100%波形与 PWM1 同理）  **位 3 OC2PE：**通道 2 输出比较影子寄存器使能。

* 0：禁用影子寄存器
* 1：使能影子寄存器

**位 2 OC2FE：**通道 2 快速输出使能。

* 0：禁用快速模式，输出仅在匹配时变化
* 1：使能快速模式，触发输入相当于匹配事件，直接影响通道输出，不受计数器与 CCR 的比较影响  **位 1-0 CC2S：**捕获比较选择。
* 00：通道配置为输出模式
* 01：通道配置为输入模式，捕获通道输入映射至通道 2
* 10：通道配置为输入模式，捕获通道输入映射至通道 3
* 11：通道配置为输入模式，捕获通道输入映射至触发输入 TRC

**输入模式时结构如下：**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **15-12** | **11-10** | **9-8** | **7-4** | **3-2** | **1-0** |
| IC3F | IC3PSC | CC3S | IC2F | IC2PSC | CC2S |
| rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h |

**位 15-12 IC3F：**通道 3 输入滤波器配置（需配置 CCxS！=0x0 该功能才能生效）。

* 0000：禁用滤波器
* 0001：滤波器采样频率 fsampling=fpclk， 滤波器长度 N=2
* 0010：滤波器采样频率 fsampling=fpclk， 滤波器长度 N=4
* 0011：滤波器采样频率 fsampling=fpclk， 滤波器长度 N=8
* 0100：滤波器采样频率 fsampling=fDTS/2， 滤波器长度 N=6
* 0101：滤波器采样频率 fsampling=fDTS/2， 滤波器长度 N=8
* 0110：滤波器采样频率 fsampling=fDTS/4， 滤波器长度 N=6
* 0111：滤波器采样频率 fsampling=fDTS/4， 滤波器长度 N=8
* 1000：滤波器采样频率 fsampling=fDTS/8， 滤波器长度 N=6
* 1001：滤波器采样频率 fsampling=fDTS/8， 滤波器长度 N=8
* 1010：滤波器采样频率 fsampling=fDTS/16， 滤波器长度 N=5**（未完，接下页）**
* 1011：滤波器采样频率 fsampling=fDTS/16， 滤波器长度 N=6
* 1100：滤波器采样频率 fsampling=fDTS/16， 滤波器长度 N=8
* 1101：滤波器采样频率 fsampling=fDTS/32， 滤波器长度 N=5
* 1110：滤波器采样频率 fsampling=fDTS/32， 滤波器长度 N=6
* 1111：滤波器采样频率 fsampling=fDTS/32， 滤波器长度 N=8 **位 11-10 IC3PSC：**通道 3 分频（需配置 CCxS！=0x0 该功能才能生效）。
* 00：不分频
* 01：2 分频
* 10：4 分频
* 11：8 分频**位 9-8 CC3S：**捕获比较选择。
* 00：通道配置为 输出模式
* 01：通道配置为输入模式，捕获通道输入映射至通道 3
* 10：通道配置为输入模式，捕获通道输入映射至通道 2
* 11：通道配置为输入模式，捕获通道输入映射至触发输入 TRC **位 7-4 IC2F：**通道 2 输入滤波器配置（需配置 CCxS！=0x0 该功能才能生效）。
* 0000：禁用滤波器
* 0001：滤波器采样频率 fsampling=fpclk， 滤波器长度 N=2
* 0010：滤波器采样频率 fsampling=fpclk， 滤波器长度 N=4
* 0011：滤波器采样频率 fsampling=fpclk， 滤波器长度 N=8
* 0100：滤波器采样频率 fsampling=fDTS/2， 滤波器长度 N=6
* 0101：滤波器采样频率 fsampling=fDTS/2， 滤波器长度 N=8
* 0110：滤波器采样频率 fsampling=fDTS/4， 滤波器长度 N=6
* 0111：滤波器采样频率 fsampling=fDTS/4， 滤波器长度 N=8
* 1000：滤波器采样频率 fsampling=fDTS/8， 滤波器长度 N=6
* 1001：滤波器采样频率 fsampling=fDTS/8， 滤波器长度 N=8
* 1010：滤波器采样频率 fsampling=fDTS/16， 滤波器长度 N=5
* 1011：滤波器采样频率 fsampling=fDTS/16， 滤波器长度 N=6
* 1100：滤波器采样频率 fsampling=fDTS/16， 滤波器长度 N=8
* 1101：滤波器采样频率 fsampling=fDTS/32， 滤波器长度 N=5
* 1110：滤波器采样频率 fsampling=fDTS/32， 滤波器长度 N=6
* 1111：滤波器采样频率 fsampling=fDTS/32， 滤波器长度 N=8 **位 3-2 IC2PSC：**通道 2 分频（需配置 CCxS！=0x0 该功能才能生效）。
* 00：不分频
* 01：2 分频
* 10：4 分频
* 11：8 分频**位 1-0 CC2S：**捕获比较选择。
* 00：通道配置为 输出模式
* 01：通道配置为输入模式，捕获通道输入映射至通道 2
* 10：通道配置为输入模式，捕获通道输入映射至通道 3
* 11：通道配置为输入模式，捕获通道输入映射至触发输入 TRC

##### 22.17.9 GPTIM\_CCER

偏移量：0x20

复位值：0x0000

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **15** | **14** | **13** | **12** | **11** | **10** | **9** | **8** |
| CC3NP | RESERVED | CC3P | CC3E | CC2NP | RESERVED | CC2P | CC2E |
| rw-0h | r-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h | r-0h | rw-0h | rw-0h |
| **7** | **6** | **5** | **4** | **3** | **2** | **1** | **0** |
| CC1NP | RESERVED | CC1P | CC1E | CC0NP | RESERVED | CC0P | CC0E |
| rw-0h | r-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h | r-0h | rw-0h | rw-0h |

**位 15 CC3NP：**输出反相极性，输出模式时该位必须位 0，输入模式时参看 CC3P。

**位 14 RESERVED：**保留。

**位 13 CC3P：**输出极性，须与 CC3NP 共同作用（配置极性最好在模式选择之前，防止内部信号翻转触发未知错误）。

**输出模式：**

* 0：输出有效极性位高电平
* 1：输出有效极性位低电平

**输入模式，{CC3NP，CC3P}：**

* 00：通道输入上升沿有效（捕获、触发、复位、时钟模式），高电平有效（门控、编码模式）
* 01：通道输入下降沿有效（捕获、触发、复位、时钟模式），低电平有效（门控、编码模式）
* 10：保留
* 11：通道输入上升沿和下降沿均有效（捕获、触发、复位、时钟模式），高电平有效（门控、编码模式）**位 12 CC3E：**通道使能。

**输入模式：**

* 0：禁用捕获
* 1：使能捕获**输出模式：**
* 0：禁用输出
* 1：使能输出**位 11 CC2NP：**输出反相极性，输出模式时该位必须位 0，输入模式时参看 CC2P。

**位 10 RESERVED：**保留。

**位 9 CC2P：**输出极性，须与 CC2NP 共同作用（配置极性最好在模式选择之前，防止内部信号翻转触发未知错误）。

**输出模式：**

* 0：输出有效极性位高电平
* 1：输出有效极性位低电平

**输入模式，{CC2NP，CC2P}：**

* 00：通道输入上升沿有效（捕获、触发、复位、时钟模式），高电平有效（门控、编码模式）
* 01：通道输入下降沿有效（捕获、触发、复位、时钟模式），低电平有效（门控、编码模式）
* 10：保留
* 11：通道输入上升沿和下降沿均有效（捕获、触发、复位、时钟模式），高电平有效（门控、编码模式）**位 8 CC2E：**通道使能。

**输入模式：**

* 0：禁用捕获
* 1：使能捕获**输出模式：**
* 0：禁用输出
* 1：使能输出**位 7 CC1NP：**输出反相极性，输出模式时该位必须位 0，输入模式时参看 CC1P。

**位 6 RESERVED：**保留。

**位 5 CC1P：**输出极性，须与 CC3NP 共同作用（配置极性最好在模式选择之前，防止内部信号翻转触发未知错误）。

**输出模式：**

* 0：输出有效极性位高电平
* 1：输出有效极性位低电平

**输入模式，{CC1NP，CC1P}：**

* 00：通道输入上升沿有效（捕获、触发、复位、时钟模式），高电平有效（门控、编码模式）
* 01：通道输入下降沿有效（捕获、触发、复位、时钟模式），低电平有效（门控、编码模式）
* 10：保留
* 11：通道输入上升沿和下降沿均有效（捕获、触发、复位、时钟模式），高电平有效（门控、编码模式）**位 4 CC1E：**通道使能。

**输入模式：**

* 0：禁用捕获
* 1：使能捕获**输出模式：**
* 0：禁用输出
* 1：使能输出

**位 3 CC0NP：**输出反相极性，输出模式时该位必须位 0，输入模式时参看 CC0P。

**位 2 RESERVED：**保留。

**位 1 CC0P：**输出极性，须与 CC0NP 共同作用（配置极性最好在模式选择之前，防止内部信号翻转触发未知错误）。

**输出模式：**

* 0：输出有效极性位高电平
* 1：输出有效极性位低电平

**输入模式，{CC0NP，CC0P}：**

* 00：通道输入上升沿有效（捕获、触发、复位、时钟模式），高电平有效（门控、编码模式）
* 01：通道输入下降沿有效（捕获、触发、复位、时钟模式），低电平有效（门控、编码模式）
* 10：保留
* 11：通道输入上升沿和下降沿均有效（捕获、触发、复位、时钟模式），高电平有效（门控、编码模式）**位 0 CC0E：**通道使能。

**输入模式：**

* 0：禁用捕获
* 1：使能捕获**输出模式：**
* 0：禁用输出  1：使能输出

##### 22.17.10 GPTIM\_CNT

偏移量：0x24

复位值：0x0000

|  |
| --- |
| **15-0** |
| CNT |
| rw-0h |

**位 15-0 CNT：**计数器计数值。

##### 22.17.11 GPTIM\_PSC

偏移量：0x28

复位值：0x0000

|  |
| --- |
| **15-0** |
| PSC |
| rw-0h |

**位 15-0 PSC：**时钟分频值为 PSC+1。

##### 22.17.12 GPTIM\_ARR

偏移量：0x2C

复位值：0xFFFF

|  |
| --- |
| **15-0** |
| PSC |
| rw-FFFFh |

**位 15-0 ARR：**计数器重装载值。

##### 22.17.13 GPTIM\_CCR0

偏移量：0x34

复位值：0x0000

|  |
| --- |
| **15-0** |
| CCR0 |
| rw-0h |

**位 15-0 CCR0：**输出模式时，该寄存器保存用户写入的比较值，用于与 CNT 进行比较；输入模式时，该寄存器保存捕获的值，只读。

##### 22.17.14 GPTIM\_CCR1

偏移量：0x38

复位值：0x0000

|  |
| --- |
| **15-0** |
| CCR1 |
| rw-0h |

**位 15-0 CCR1：**输出模式时，该寄存器保存用户写入的比较值，用于与 CNT 进行比较；输入模式时，该寄存器保存捕获的值，只读。

##### 22.17.15 GPTIM\_CCR2

偏移量：0x3C 复位值：0x0000

|  |
| --- |
| **15-0** |
| CCR2 |
| rw-0h |

**位 15-0 CCR2：**输出模式时，该寄存器保存用户写入的比较值，用于与 CNT 进行比较；输入模式时，该寄存器保存捕获的值，只读。

##### 22.17.16 GPTIM\_CCR3

偏移量：0x40 复位值：0x0000

|  |
| --- |
| **15-0** |
| CCR3 |
| rw-0h |

**位 15-0 CCR3：**输出模式时，该寄存器保存用户写入的比较值，用于与 CNT 进行比较；输入模式时，该寄存器保存捕获的值，只读。

##### 22.17.17 GPTIM\_DCR

偏移量：0x48 复位值：0x0000

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **15-13** | **12-8** | **7-5** | **4-0** |
| RESERVED | DBL | RESERVED | DBA |
| r-0h | rw-0h | r-0h | rw-0h |

**位 15-13 RESERVED：**保留。

**位 12-8 DBL：**DMA 连续读写长度。

* 00000：1 个传输
* 00001：2 个传输
* 00010：3 个传输
* 00011：4 个传输
* 00100：5 个传输
* 00101：6 个传输
* 00110：7 个传输
* 00111：8 个传输
* 01000：9 个传输**（未完，接下页）**
* 01001：10 个传输
* 01010：11 个传输
* 01011：12 个传输
* 01100：13 个传输
* 01101：14 个传输
* 01110：15 个传输
* 01111：16 个传输
* 10000：17 个传输
* 10001：18 个传输**位 7-5 RESERVED：**保留。**位 4-0 DBA：**DMA 连续读写基地址。
* 00000：CR1 寄存器
* 00001：CR2 寄存器
* 00010：SMCR 寄存器
* 00011：DIER 寄存器
* 00100：SR 寄存器
* 00101：EGR 寄存器
* 00110：CCMR1 寄存器
* 00111：CCMR2 寄存器
* 01000：CCER 寄存器
* 01001：CNT 寄存器  01010：PSC 寄存器  01011：ARR 寄存器
* 01100：偏移地址为 0X30 的保留寄存器
* 01101：CCR0 寄存器
* 01110：CCR1 寄存器
* 01111：CCR2 寄存器
* 10000：CCR3 寄存器
* 10001：偏移地址为 0X44 的保留寄存器
* 10010：DCR 寄存器
* 10011：DMAR 寄存器
* 10100：OR 寄存器
* 10101：reserved
* 10110：reserved
* 10111：reserved
* 11000：reserved
* 11001：reserved
* 11010：reserved
* 11011：reserved
* 11100：reserved
* 11101：reserved
* 11110：reserved  11111：reserved

##### 22.17.18 GPTIM\_DMAR

偏移量：0x4C 复位值：0x0000

|  |
| --- |
| **15-0** |
| DMAR |
| rw-0h |

**位 15-0 DMAR：**该寄存器保存当前 DMA 操作的寄存器的值，例如当前 DMA 需要操作 TIM\_CR2 寄存器，那么直接操作该地址，便相当于操作 TIM\_CR2 寄存器。具体代表那个寄存器需要参考

DSTEP、DBL 和 DBA 的值。

**22.17.19 GPTIM\_OR** 偏移量：0x50 复位值：0x0000

**GPTIMER0 时此寄存器的结构如下：**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **15-11** | **10-7** | **6-4** | **3-0** |
| RESERVED | ETR\_RMP | TI3\_RMP | TI0\_RMP |
| r-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h |

**位 15-11 RESERVED：**保留。

**位 10-7 ETR\_RMP：**ETR 重映射。

* 0000：iom
* 0001：comp0
* 0010：comp1
* 0011：xo32k
* 0100：rco48m
* 0101：adcctrl\_awd0
* 0110：adcctrl\_awd1
* 0111：adcctrl\_awd2
* 1000：uart\_rx[0]
* 1001：uart\_rx[1]
* 1010：uart\_rx[2]
* 1011：uart\_rx[3]
* 1100：uart\_rx[4]
* 1101：reserved
* 1110：reserved
* 1111：reserved

**位 6-4 TI3\_RMP：**通道 3 重映射。

* 000：iom
* 001：comp0
* 010：comp1
* 011：reserved
* 100：reserved
* 101：reserved
* 110：reserved
* 111：reserved

**位 3-0 TI0\_RMP：**通道 0 重映射。

* 0000：iom
* 0001：uart\_rx[0]
* 0010：uart\_rx[1]
* 0011：uart\_rx[2]
* 0100：uart\_rx[3]
* 0101：uart\_rx[4]
* 0110：reserved
* 0111：reserved
* 1000：reserved
* 1001：reserved
* 1010：reserved
* 1011：reserved
* 1100：reserved
* 1101：reserved
* 1110：reserved
* 1111：reserved

###### GPTIMER1 时此寄存器的结构如下：

|  |  |
| --- | --- |
| **15-2** | **1-0** |
| RESERVED | TI2\_RMP |
| r-0h | rw-0h |

**位 15-2 RESERVED：**保留。**位 1-0 TI2\_RMP：**通道 2 重映射。

* 00：iom
* 01：TIM3\_CH1
* 10：reserved
* 11：reserved

**GPTIMER2 时此寄存器的结构如下：**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **15-10** | **9-7** | **6-5** | **4-0** |
| RESERVED | ETR\_RMP | TI1\_RMP | TI0\_RMP |
| r-0h | rw-0h | rw-0h | rw-0h |

**位 15-10 RESERVED：**保留。**位 9-7 ETR\_RMP：**ETR 重映射。

* 0000：iom
* 0001：comp0
* 0010：comp1
* 0011：xo32k
* 0100：reserved
* 0101：reserved
* 0110：reserved
* 0111：reserved
* 1000：reserved
* 1001：reserved
* 1010：reserved
* 1011：reserved
* 1100：reserved
* 1101：reserved
* 1110：reserved
* 1111：reserved

**位 6-5 TI1\_RMP：**通道 1 重映射。

* 00：iom
* 01：comp1
* 10：reserved
* 11：reserved

**位 4-0 TI0\_RMP：**通道 0 重映射。

* 00000：iom
* 00001：xo24m
* 00010：xo32m
* 00011：rco48m
* 00100：xo32k
* 00101：rco32k
* 00110：mco
* 00111：comp0
* 01000：rco3.6m
* 01001：rtc\_alarm1\_happen\_pulse
* 01010：rtc\_alarm0\_happen\_pulse
* 01011：rtc\_cyc\_counter\_pulse
* 01100：reserved**（未完，接下页）**
* 01101：reserved
* 01110：reserved
* 01111：reserved
* 10000：reserved
* 10001：reserved
* 10010：reserved
* 10011：reserved
* 10100：reserved
* 10101：reserved
* 10110：reserved
* 10111：reserved
* 11000：reserved
* 11001：reserved
* 11010：reserved
* 11011：reserved
* 11100：reserved
* 11101：reserved
* 11110：reserved
* 11111：reserved

###### GPTIMER3 时此寄存器的结构如下：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **15-7** | **6-3** | **2-0** |
| RESERVED | ETR\_RMP | TI0\_RMP |
| r-0h | rw-0h | rw-0h |

**位 15-7 RESERVED：**保留。**位 6-3 ETR\_RMP：**ETR 重映射。

* 0000：iom
* 0001：comp0
* 0010：comp1
* 0011：xo32k
* 0100：uart\_rx[0]
* 0101：uart\_rx[1]
* 0110：uart\_rx[2]
* 0111：uart\_rx[3]
* 1000：uart\_rx[4]
* 1001：reserved
* 1010：reserved
* 1011：reserved
* 1100：reserved
* 1101：reserved
* 1110：reserved
* 1111：reserved

**位 2-0 TI0\_RMP：**通道 0 重映射。

* 000：iom
* 001：comp0
* 010：comp1
* 011：uart\_rx[0]
* 100：uart\_rx[1]
* 101：uart\_rx[2]
* 110：uart\_rx[3]
* 111：uart\_rx[4]