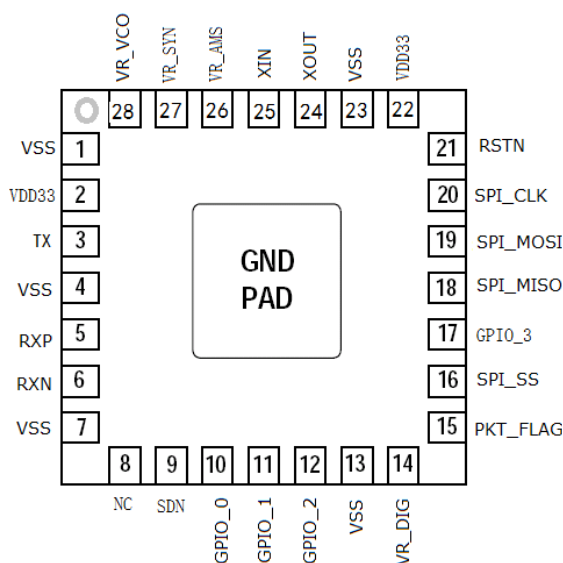


SUB1GHz 高集成度无线收发芯片-DP4301

应用领域：

功能特点：

- ◆ 频率范围200--1000MHz，支持230/315/408/433/868/915频段
- ◆ 接收灵敏度：-112dBm@10Kbps
- ◆ 最大输出功率：+20dBm
- ◆ 调制方式：FSK，GFSK
- ◆ 数据率：2.4kbps---200kbps
- ◆ 支持SPI接口
- ◆ 自动应答及自动重传
- ◆ 快速频道切换，支持跳频算法
- ◆ 支持RSSI功能
- ◆ 天线分集和T/R开关控制
- ◆ 自动频率控制（AFC）
- ◆ 自动增益控制（AGC）
- ◆ 低工作电压：1.9V~3.6V
- ◆ 28引脚 5*5 QFN 封装
- ◆ 智能抄表
- ◆ 工业传感器及无线工控设备
- ◆ 无线游戏设备
- ◆ 遥感勘测
- ◆ 安防系统
- ◆ 智能运动设备
- ◆ 智能电视遥控器
- ◆ 无线标签
- ◆ 无线门禁
- ◆ 安防系统
- ◆ 智慧农业
- ◆ 遥控装置
- ◆ 无线玩具



目录

1. 概述	3
2. 极限值	2
3. 主要电特性	3
4. 系统结构方框图	3
5. 引脚定义	4
5.1 引脚图	4
5.2 引脚功能	4
6. SPI 接口	6
7. 状态机控制图及工作模式	8
7.1 状态机控制图	8
7.2 工作模式	9
8. 功能模块描述	12
8.1 频率综合器	12
8.2 自动增益控制 (AGC)	12
8.3 接收信号强度指示 (RSSI)	12
8.4 自动频率补偿 (AFC)	12
8.5 数据处理	13
8.6 唤醒定时器	14
9. 典型应用电路	16

1. 概述

本芯片是一款高性能低功耗的单片集成收发机，工作频率可覆盖470MHz~510MHz，并兼容ISM 433MHz 频段。该芯片集成了射频接收器、射频发射器、频率综合器、GFSK调制器、GFSK解调器等功能模块。通过SPI接口可以对输出功率、频道选择以及数据包格式进行灵活配置，并且内置CRC、FEC、自动应答和自动重传机制，可以大大简化系统设计并优化性能。

芯片为时分双工收发器（TDD），接收和发送数据包需在不同时段交替进行。该芯片先将接收到的(G)FSK调制信号通过混频器混到IF频率，然后输入给后续的中频滤波器和可变增益放大器（PGA）进行滤波和放大。处理过的中频信号通过高性能的sigma-delta ADC转化为数字域。内置的DSP完成滤波、解调、自动增益控制、RSSI检测、数据包处理等功能。

芯片内部的高精度本地振荡器LO由sigma-delta Fractional-N 频率综合器实现，可同时用于接收和发射。传输的FSK数据直接调制进入sigma-delta数据流，并能被内部的高斯滤波器进行滤波以降低多余的频谱分量。

芯片内部高效率的class E功率放大器（PA），在+20dBm输出功率的条件下，约消耗100mA的电流。PA输出功率能在-5dBm至+20dBm范围内进行配置，配置精度约1dB。PA的开启时间可由内部自动倾斜上升曲线控制以减小PA开启时刻对芯片其它模块的干扰并降低多余的频谱扩展。

芯片支持TX/RX开关控制和天线分集开关控制以扩展链路范围和提高性能。芯片内部集成低功耗的32KHz振荡器，可实现自动唤醒功能以降低整体方案的功耗。

2.极限值

表2.1 参数极限值

参数	符号	最小值	最大值	单位
工作温度	Top	-40	100	℃
存储温度	Tstor	-55	125	℃
工作电压	VDD	-0.3	3.7	V
输入射频信号强度	Pin_max		+10	dBm
ESD(人体模型)	ESD_HBM		2	KV

* 注意：强行超过一项或多项极限值使用会导致器件永久性损坏。

* 小心：芯片为静电敏感器件，操作时请遵守防护规则。

3.主要电特性

表3.1 芯片主要电特性

特 性	条件(除另有规定外，VCC = 3.3V，TA=25℃)	参数值			单位
		最小	典型	最大	
操作条件					
VDD	供电电压	1.9	3.3	3.6	V
VSS	芯片地		0		V
V _{OH}	高电平输出电压	VDD-0.3		VDD	V
V _{OL}	低电平输出电压	VSS		VSS+0.3	V
V _{IH}	高电平输入电压	2.0	3	3.6	V
V _{IL}	低电平输入电压	VSS		VSS+0.3	V
Cin	输入电容			10	pF
	工作温度	-40		+85	℃
	储存温度	-40		+125	℃
功耗特性					
I _{CC}	Shutdown模式		0.1		uA
	standby模式		3		uA
	IDLE 模式		1.3		mA
	发射模式 (20dBm)		100		mA
	发射模式 (7dBm)		36		
	发射模式 (0dBm)		25		
	接收模式		18		mA
	接收模式 (wor)		3		mA
系统指标					
f _{OP}	工作频率	420		520	MHz
f _{XTAL}	晶振频率	16	18.08	28	MHz
PLL_stable	PLL 稳定时间		250		us
	码率	2.4		200	kbps
发射模式指标					
P _{MAX}	最大输出功率		20		dBm
PRFC	输出功率范围	-5		20	dBm
P _{STEP}	输出功率调节步进		1		dB

接收模式指标					
RXSENSE	接收灵敏度 (0.1%BER@10kbps)		-112		dBm
抗干扰特性					
C/I_{CO}	同道干扰		9		dBc
C/I_{1ST}	第 1 相邻道干扰		-44		dBc
C/I_{2ND}	第 2 相邻道干扰		-52		dBc
C/I_{3RD}	第 3 相邻道干扰		-60		dBc

4.系统结构方框图

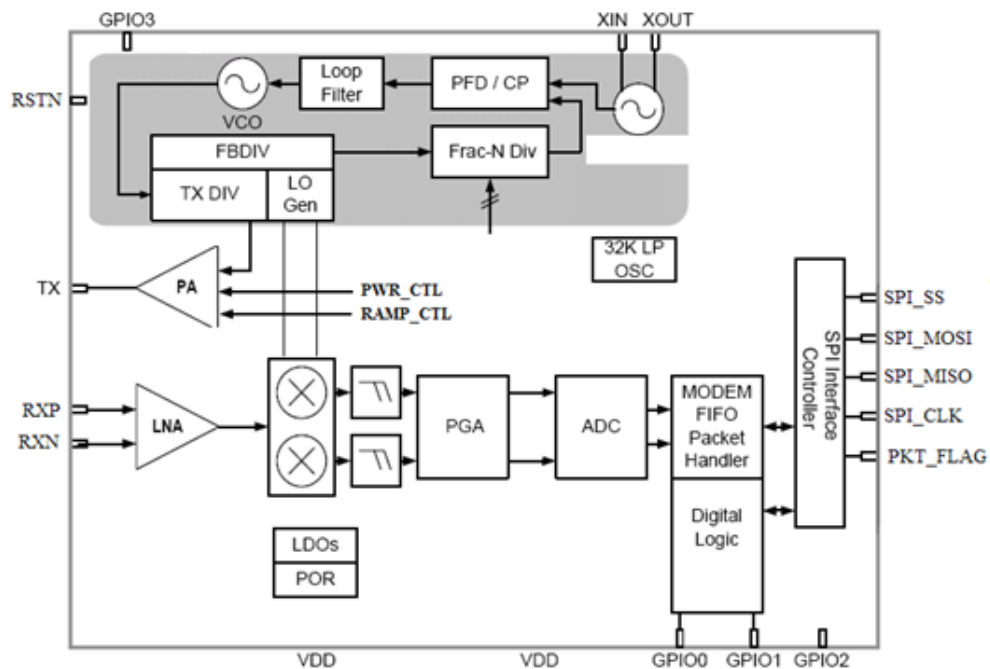


图4.1 系统结构方框图

5.引脚定义

5.1 引脚图

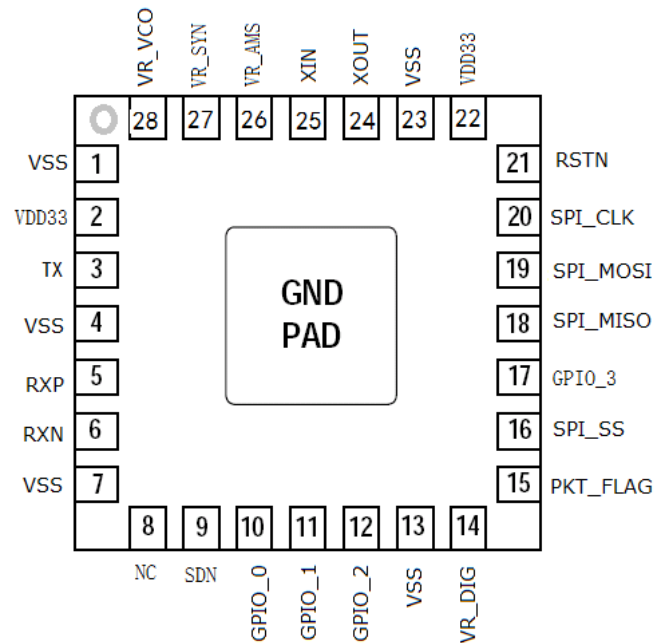


图5.1 QFN28引脚图

5.2 引脚功能

表5.1 QFN28 引脚功能说明

序号	Pin Name	Type	Description
1	VSS	GND	地
2	VDD33	VDD	1.9V---3.6V 电源电压输入
3	TX	RF O	PA 开漏输出端，外接 LC 匹配网络
4	VSS	GND	地
5	RXP	RF I	差分射频输入端
6	RXN	RFI	
7	VSS	GND	地
8	NC	NC	NC, 悬空即可
9	SDN	DI	芯片关断使能，高有效
10	GPIO_0	DO	可配置的功能输出引脚
11	GPIO_1	DO	
12	GPIO_2	DO	

13	VSS	GND	地
14	VR_DIG	VDD	内部数字模块 LDO 1.8V 输出，外接电容
15	PKT_FLAG	DO	数据包收发状态标志位
16	SPI_SS	DI	使能信号，低有效，拉低可使芯片退出 sleep mode
17	GPIO_3	DO	可配置的功能输出引脚
18	SPI_MISO	DO	SPI 数据输出脚
19	SPI_MOSI	DI	SPI 数据输入脚
20	SPI_CLK	DI	SPI 时钟输入
21	RST_N	DI	芯片复位脚，低电平有效，复位后寄存器数值丢失，全部变为默认值。
22	VDD33	VDD	1.9V---3.6V 电源电压输入
23	VSS	GND	地
24	XOUT	AO	晶体振荡器输出
25	XI	AI	晶体振荡器输入
26	VR_AMS	VDD	内部 SYN 模块 LDO 1.8V 输出，外接电容
27	VR_SYN	VDD	内部 AMS 模块 LDO 1.8V 输出，外接电容
28	VR_VCO	VDD	内部 AMS 模块 LDO 1.8V 输出，外接电容
PKG	PAD_GND	GND	地

6.SPI 接口

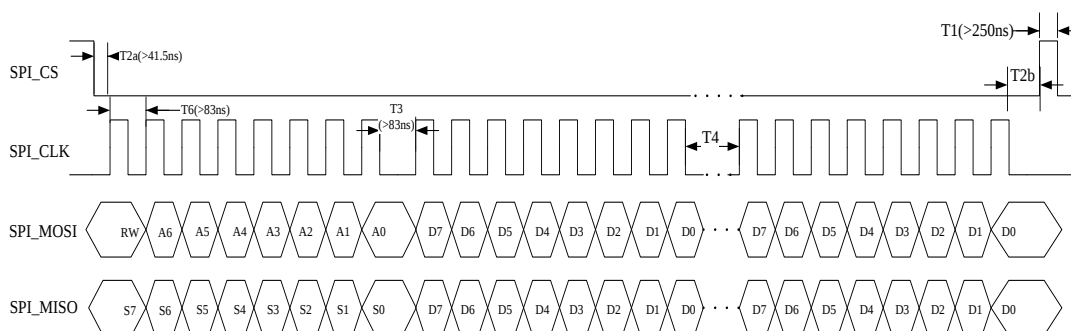
芯片的所有控制都是通 SPI 接口操作，支持的模式是时钟极性为正，相位极性可选，当 $ckpha=1$ 时，为下降沿采样， $ckpha=0$ 时，上升沿采样。

芯片内部访问都是以 SPI 读写寄存器的方式，数据格式为字节方式，在访问 FIFO 对应的地址时，可以在一个 SPI_CS 周期内按字节方式连续的访问，SPI 接口控制器会自动增加访问地址。

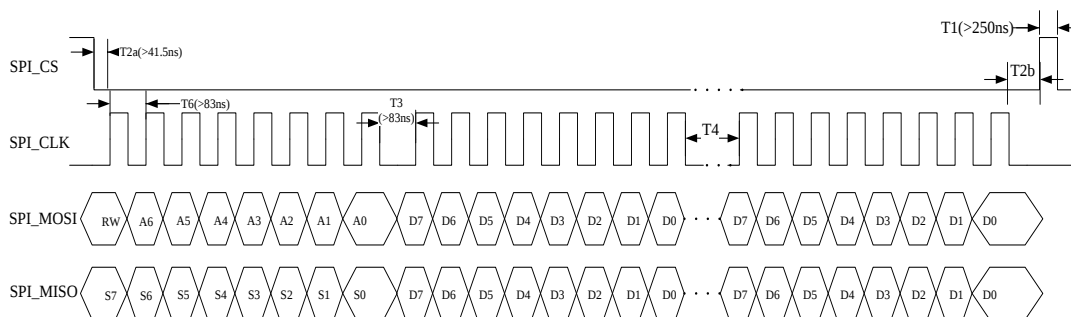
在没有外部晶振时，SPI 接口不能写数据，但仍然可以读寄存器数据。

下图为 SPI 时序图

当 $ckpha=1$ 时，下降沿采样



当 $ckpha=0$ 时，上升沿采样



CKPHA=0

Note:

1, SPI 读写位：写 = 0，读 = 1

2, 可以用一个 SPI_CS 周期读写多个连续寄存器, 芯片会自动增加寄存器地址

SPI 时序要求表:

Name	Min	Typ	Max	Description
T1	250ns			两次 SPI 访问的间隔时间
T2a,T2b	41.5ns			SPI_CS 和 SPI_CLK 的间隔时间
T3	Note1			地址和数据间隔时间
T4	Note2			两个寄存器数据的时间间隔
T6	83ns			SPI_CLK 时钟周期

Notes:

1, 在访问 FIFO 数据时, 芯片需要 450ns 去找到正确的 FIFO 指针地址

2, 在读 FIFO 数据时, 芯片至少需要等 450ns 再去读数据, 读其它寄存器时 $T4_{min}=41.5ns$

7. 状态机控制图及工作模式

7.1 状态机控制图

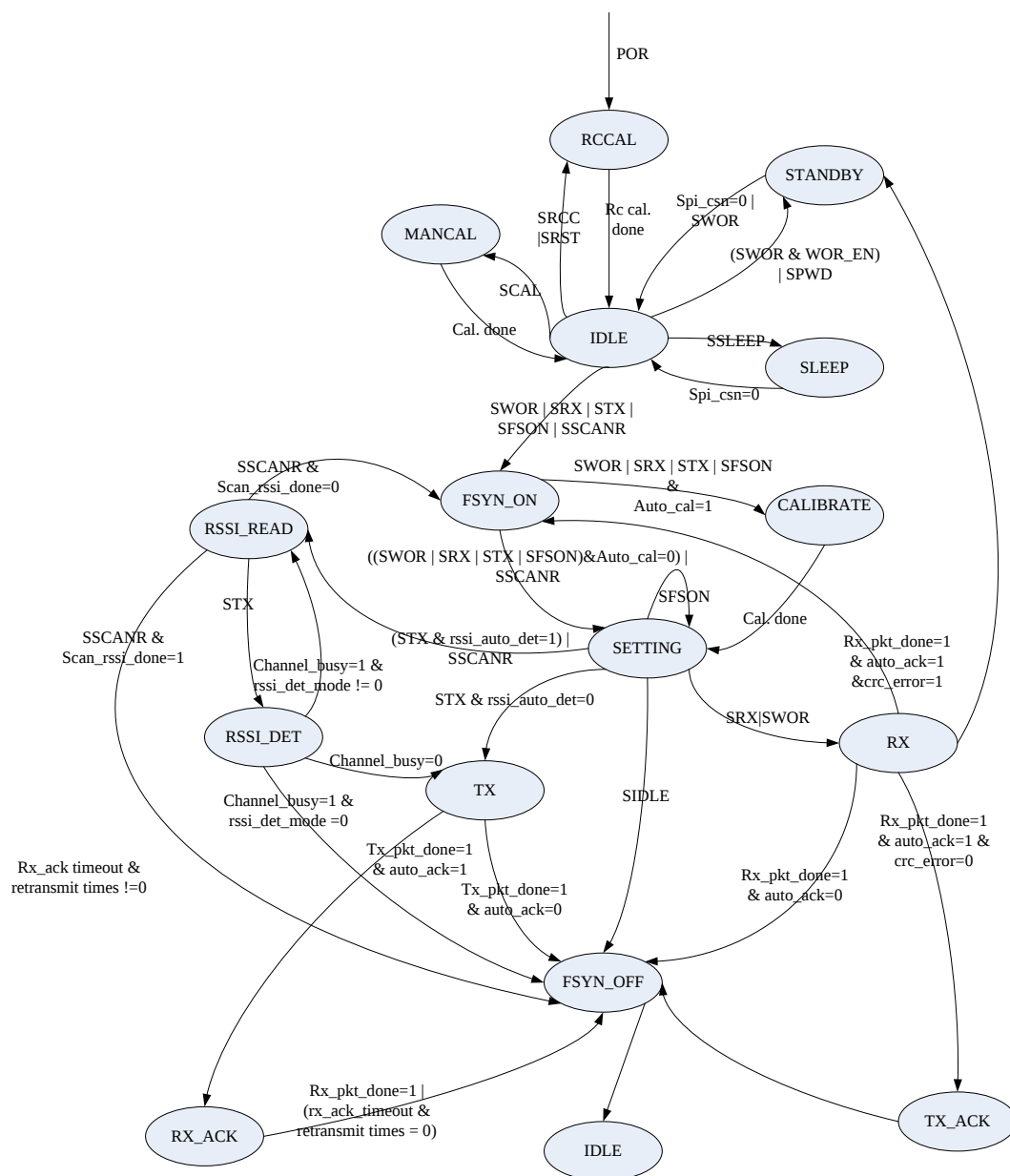


图 7.1 芯片状态转换图

7.2 工作模式

芯片的主要工作模式（shutdown 模式未包含在内）如下表所示：

State/mode	Description	Command	状态转换时间
IDLE State	空闲状态，复位后进入此状态	SIDLE	
SLEEP state	睡眠状态，除 STANDBY 状态 外电流消耗最低状态	SSLEEP	SLEEP => IDLE 2ms
STANDBY state	关机状态，电流消耗最低状态	SPWD/SWOR	STANDBY => IDLE 2ms
FSON state	频综打开状态，可快速进入接 收或发送状态	SFSON	FSON => RX Less than 5us
RX state	接收数据状态	SRX	IDLE => RX Less than 250us
TX state	发送数据状态	STX	IDLE => TX Less than 250us

1、关断模式（shutdown）

当 SDN 输入为高电平时，芯片进入关断模式，芯片内部所有电路进入关断模式，此时耗电约为 100nA。

2、空闲状态（IDLE）

当设备复位完成后或者发送 SIDLE 命令后，设备进入空闲状态，等待 SPI 接口命令再执行其它的动作。

3、睡眠状态（SLEEP）

收到 SSLEEP 命令，FSM 进入 SLEEP 状态，该状态关闭外部晶振，数字电源仍打开。

只能通过 SPI_CSN=0 来唤醒。电流消耗较低。

4、关机状态 (STANDBY)

收到 SWOR 命令且 WOR 功能使能或 SPWD 命令时,芯片进入 STANDBY 状态,关闭电源及外部晶振,进入最低功耗模式,寄存器值仍保持。通过 SPI_CSN=0 时或者 SWOR 事件触发时,系统被唤醒,状态机进入 IDLE 状态,寄存器值不丢失。

5、频综打开状态 (FSON)

让频综打开后保持在这个状态,在频综保持状态当收到 TX/RX 会马上进入 TX/RX 状态。

6、发送数据包状态 (TX)

收到发射数据包命令后,芯片先打开 PLL 及 VCO,进行校准,等待至 PLL 达到要求的发射频段,如果自动信道检测功能打开,则在进入发送包状态前先进行读该信道的 RSSI 值,如果空闲则进行发送数据包,如果信道忙,则下个动作可通过寄存器设置,是直接退出发送,还是继续检测 RSSI,直到把数据包发出。当数据包发出后,如果自动应答功能开启则切换到 RX_ACK 状态,以确定包有没有被接收方正确的接收,如果超出寄存器设定的时间没有收到应答包,则进行重发,重发最大次数可寄存器设置。

7、接收数据包状态 (RX)

收到接收数据命令后,芯片先打开 PLL 及 VCO,进行校准,等待至 PLL 达到要求接收的频率,启用接收器电路 (LNA, 混频器、及 ADC),再启用数字解调器的接收模式。直到收到接收到一包数据完成的指示信号或者是 SWOR 功能超时信号,如果是 SWOR 功能超时信号状态,则直接进入 STANDBY 模式;如果收到一包数据完成指示信号则会进入 IDLE 状态,当 AUTO_ACK 功能开启,先进行发送 ACK 包,发完后再退到 IDLE 状态。

8、中断

芯片能产生两个中断信号, pkt_flag 和 fifo_flag (通过 GPIO_1 配置出来),该两个中断信号标志位都可读。Pkt_flag 分为 4 个功能:前导匹配、同步字匹配、接收或发送包完成。在 pkt_length_en = 1 (payload 第 1 个字节为包长度)的情况下, pkt_flag 可设为同

步字匹配 或包完成状态，默认为包完成。在 pkt_length_en=0 时，pkt_flag 表示前导匹配或同步字匹配。在发送状态下表示包完成。

Fifo_flag 表示 FIFO full 或 empty，在发送模块时表示 fifo empty，在接收模式时表示 fifo full。

8.功能模块描述

以下部分对芯片内部关键模块的功能进行描述

8.1 频率综合器

芯片通过内部的频率综合器产生精准的载波频率。信道频率由两种方式设置：

- 1) 信道号和组号查表选出频率值。
- 2) 通过寄存器设置直接计算频率值，计算式：

$$f=f_0+N*\text{step}$$

$N=\{\text{reg0}[6:0]\}$ ；

$\text{step}=\{\text{reg1},\text{reg2},\text{reg3}\}$ ，其中低 20bit 为小数部分；

$f_0=\{\text{reg74},\text{reg75},\text{reg76},\text{reg77}\}$ ，其中低 20bit 为小数部分，单位是 MHz；

再根据是发送还是接收状态，若是接收状态再加或减上一个中频的频偏值。

参考频率也可以通过寄存器设置，默认为 16M, $\text{ref_freq}=\{\text{reg70}[6:0], \text{reg71}, \text{reg72}, \text{reg73}\}$ ，其中低 24 位为小数部分。并且不同晶振的偏差可通过设置参考频率来抵消。

8.2 自动增益控制 (AGC)

对 ADC 的信号峰值检测器可实现对 LNA 增益和 PGA 增益的最佳调整，以达到最优化的性能。

8.3 接收信号强度指示 (RSSI)

接收信号强度指示器 (RSSI) 是对接收器调谐信道中信号强度的估量。RSSI 测量必须是在进入 RX 状态下进行，RSSI 值可通过寄存器直接读取。

8.4 自动频率补偿 (AFC)

因晶体非精确性引起的频率失谐可通过启用接收模式中的数字自动频率控制 (AFC) 进行补偿。当 AFC 启用时，前导码长度需足够长以使 AFC 稳定。

8.5 数据处理

1、RX 和 TX FIFO

内部实现了两个 FIFO, 每个 FIFO 有 128 个字节, 分别作为接收和发送单独使用; 也可以用寄存器设置成两个 FIFO 连成一个 FIFO, 这样 FIFO 就有 256 个字节, 发送和接收共用这 256 个字节 FIFO, 但是仍读写指针仍是发送和接收分开控制。发送 FIFO 和接收 FIFO 都可以通过寄存器设置一个阈值。当触发到这相阈值时会产生 FIFO_FLAG 标志。

当 TX 时, TX FIFO 中数据达到空阈值时, 会产生 FIFO_FLAG 标志, 如果这时有更多数据写入到 TX FIFO, TX FIFO 中的数据多于阈值时, FIFO_FLAG 又会自动清除。当在 RX 时, 当收到的数据达到满阈值时, 也会产生 FIFO_FLAG 标志, MCU 这时需要从 RX FIFO 读取数据, 防止 FIFO 溢出。

发送和接收的读写指针都可通过对相应的寄存器写 '1' 进行清零。

接收写指针在接收一帧数据开始时自动清零。

发送读指针在发送一帧数据开始时自动清零。

2、数据模式

(a)、FIFO 数据模式

MCU 需要发送的数据都是通 SPI 接口写入到 TX FIFO 中, 在发送数据时会自动对 FIFO 数据进行打包处理, FIFO 中的数据只写 payload 部分。在 FIFO 数据模式下又分以下几种情况:

	pkt_length_en	hw_fw_en					
1	1	x	preamble	syncword	payload length	payload	crc
			1-255bytes	1-4bytes	1/2bytes	N bytes	2bytes
2	0	1	preamble	syncword	payload		

			1-255bytes	1-4bytes	N bytes		
3	0	0	preamble	syncword	Payload		
			1-255bytes	1-4bytes	N bytes		

- 1) 第一种方式最常用, payload 长度由 payload 中的第一个 byte 或第一个 WORD 控制, 当发送数据达到时, 状态机自动退出到 IDLE 状态, preamble 和 syncword 会自动添加。CRC 也可自动计算然后放在数据结尾。
- 2) 第二种方式, payload 中不包含数据长度, 当发送 FIFO 数据空时, 状态机退出到 IDLE 状态, 发送时, preamble 和 syncword 可由寄存器设置是否添加。
- 3) 第三种方式, payload 中不包含数据长度, 且 FIFO 为空时也不停止发送, 只能通过 MCU 发 SIDLE 命令退出到 IDLE 状态。发送时, preamble 和 syncword 可由寄存器设置是否添加。

Preamble 序列为 0101....0101 或 1010....1010。

Syncword 也可由寄存器设置。

除 preamble 外其它区域数据都是低位先发送。

Payload 中的数据支持数据白化、FEC、交织编码。

(b)、直接模式

直接模式即发送或接收的数据不经过 FIFO 及数据包处理系统, 直接通过芯片引脚输入或输出串行数据。

8.6 唤醒定时器

芯片包含一个集成唤醒定时器, 可用来定期从 standby 状态唤醒芯片。唤醒定时器使用内部 32K 时钟源运行。

芯片睡眠的时间和唤醒后执行命令的时间都可通过寄存器来设置定时器的值, 且定时器的时钟源设置成 32K 的 $2^{(0 \sim 15)}$ 分频时钟。唤醒后执行的命令可以设置成 RX 或 TX。

计数器可配置一个最大值 wortimer_set 和一个中间值 wor_rxtimer_set, 这样可以方

便的产生一个类似 PWM 信号输出。Wortimer_set 设置的整个的一个周期时间，wor_rxtimer_set 设置唤醒后接收的时间。

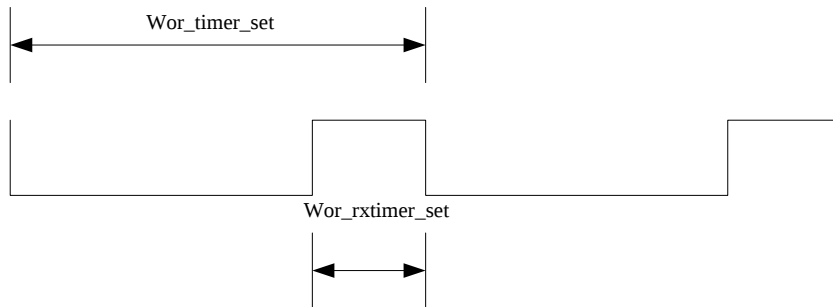


图 8.1 计数器时序图

当接收到一个有效的数据包后，芯片会退出自动唤醒状态，同时给出 PKT_FLAG 标志通知 MCU 处理数据。

