



ESP8266EX Datasheet

Version 4.4

Espressif Systems IOT Team

<http://bbs.espressif.com/>

Copyright © 2015



免责声明和版权公告

本文中的信息，包括供参考的 URL 地址，如有变更，恕不另行通知。

文档“按现状”提供，不负任何担保责任，包括对适销性、适用于特定用途或非侵权性的任何担保，和任何提案、规格或样品在他处提到的任何担保。本文档不负任何责任，包括使用本文档内信息产生的侵犯任何专利权行为的责任。本文档在此未以禁止反言或其他方式授予任何知识产权使用许可，不管是明示许可还是暗示许可。

Wi-Fi 联盟成员标志归 Wi-Fi 联盟所有。

文中提到的所有商标名称、商标和注册商标均属其各自所有者的财产，特此声明。

版权归 © 2015 乐鑫信息科技（上海）有限公司所有。保留所有权利。



Table of Contents

1. 产品概述	5
1.1. 特点	6
1.2. 芯片参数	7
1.3. 超低功耗技术	8
1.4. 主要应用领域	8
2. 硬件介绍	9
2.1. 芯片管脚定义	9
2.2. 电气特性	11
2.3. 功耗	11
2.4. 接收灵敏度	12
2.5. MCU	13
2.6. 存储描述	13
2.6.1. 内置 SRAM 与 ROM	13
2.6.2. 外置 SPI Flash	13
2.7. AHB 和 AHB 模块	13
3. 接口介绍及定义	14
3.1. GPIO	14
3.2. SDIO	15
3.3. SPI / HSPI	15
3.3.1. General SPI (Master/Slave)	15
3.3.2. SDIO / SPI (Slave)	16
3.3.3. HSPI (Master/Slave)	16



3.4.	I2C.....	16
3.5.	I2S.....	17
3.6.	UART	17
3.7.	PWM	18
3.8.	Infrared Remote Control.....	18
3.9.	ADC.....	19
3.9.1.	应用场景 1：测量 VDD3P3 管脚 3 和 4 的电源电压.....	19
3.9.2.	应用场景 2：测量 TOUT 管脚 6 的输入电压.....	19
3.10.	LED 与 Button	21
4.	固件和软件工具开发包	21
4.1.	特征	21
5.	电源管理	22
6.	时钟管理	24
6.1.	高频时钟.....	24
6.2.	外部参考要求.....	24
7.	无线接收器	24
7.1.	频道频率.....	25
7.2.	2.4 GHz 接收器	25
7.3.	2.4 GHz 发射器	25
7.4.	时钟生成器	26
8.	附录：QFN32 封装尺寸图.....	26



1. 产品概述

乐鑫智能互联平台 ESP8266EX 拥有高性能无线 SOC，给移动平台设计师带来福音，它以最低成本提供最大实用性，为 WiFi 功能嵌入其他系统提供无限可能。

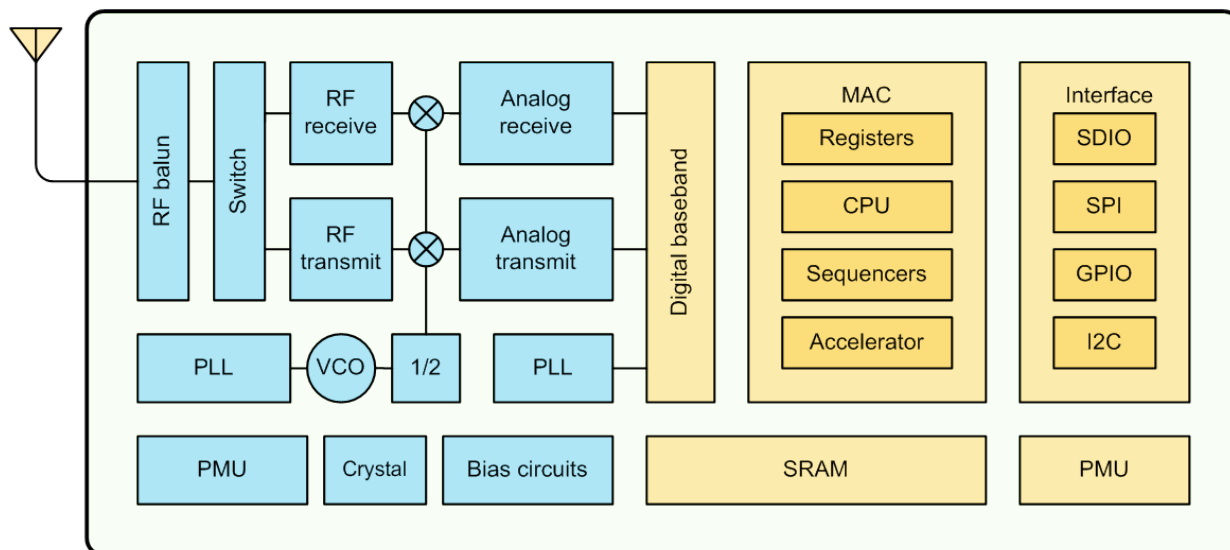


图1 ESP8266EX 结构图

ESP8266EX 是一个完整且自成体系的 WiFi 网络解决方案，能够独立运行，也可以作为从机搭载于其他主机 MCU 运行。ESP8266EX 在搭载应用并作为设备中唯一的应用处理器时，能够直接从外接闪存中启动。内置的高速缓冲存储器有利于提高系统性能，并减少内存需求。

另外一种情况是，ESP8266EX 负责无线上网接入承担 WiFi 适配器的任务时，可以将其添加到任何基于微控制器的设计中，连接简单易行，只需通过 SPI /SDIO 接口或 I2C/UART 口即可。

ESP8266EX 强大的片上处理和存储能力，使其可通过 GPIO 口集成传感器及其他应用的特定设备，实现了最低前期的开发和运行中最少地占用系统资源。

ESP8266EX 高度片内集成，包括天线开关 balun、电源管理转换器，因此仅需极少的外部电路，且包括前端模组在内的整个解决方案在设计时将所占 PCB 空间降到最低。

装有 ESP8266EX 的系统表现出来的领先特征有：节能在睡眠/唤醒模式之间的快速切换、配合低功率操作的自适应无线电偏置、前端信号的处理功能、故障排除和无线电系统共存特性为消除蜂窝/蓝牙/DDR/LVDS/LCD 干扰。



1.1. 特点

- 802.11 b/g/n
- 内置低功耗 32 位 CPU：可以兼作应用处理器
- 内置 10 bit 高精度 ADC
- 内置 TCP/IP 协议栈
- 内置 TR 开关、balun、LNA、功率放大器和匹配网络
- 内置 PLL、稳压器和电源管理组件
- 支持天线分集
- STBC、1x1 MIMO、2x1 MIMO
- A-MPDU、A-MSDU 的聚合和 0.4 s 的保护间隔
- WiFi @ 2.4 GHz，支持 WPA/WPA2 安全模式
- 支持 STA/AP/STA+AP 工作模式
- 支持 Smart Config 功能（包括 Android 和 iOS 设备）
- SDIO 2.0、(H) SPI、UART、I2C、I2S、IR Remote Control、PWM、GPIO
- 深度睡眠保持电流为 10 μ A，关断电流小于 5 μ A
- 2 ms 之内唤醒、连接并传递数据包
- 802.11b 模式下+ 20 dBm 的输出功率
- 待机状态消耗功率小于1.0 mW (DTIM3)
- 工作温度范围： -40°C - 125°C
- 通过 FCC, CE, TELEC, WiFi Alliance 及 SRRC 认证



1.2. 芯片参数

表1 芯片参数表

分类	参数	数值
无线参数	标准认证	FCC/CE/TELEC/SRRC
	无线标准	802.11 b/g/n
	频率范围	2.4G-2.5G (2400M-2483.5M)
	发射功率	802.11 b: +20 dBm
		802.11 g: +17 dBm
		802.11 n: +14 dBm
	接收灵敏度	802.11 b: -91 dbm (11 Mbps)
		802.11 g: -75 dbm (54 Mbps)
		802.11 n: -72 dbm (MCS7)
	天线选项	PCB 板载天线, 外置天线, IPEX 接口天线, 陶瓷贴片天线
硬件参数	数据接口	UART/SDIO/SPI/I2C/I2S/IR Remote Control
		GPIO/PWM
	工作电压	3.0V - 3.6 V
	工作电流	平均电流 80 mA
	工作温度	-40 °C - 125 °C
	存储温度	-40°C - 125°C
	芯片封装	QFN32-pin (package size: 5mmx5mm)
	外部接口	N/A
软件参数	无线网络模式	station/softAP/SoftAP+station
	安全机制	WPA/WPA2
	加密类型	WEP/TKIP/AES
	升级固件	本地串口烧录 / 云端升级 / 主机下载烧录
	软件开发	支持客户自定义服务器 提供 SDK 给客户二次开发
	网络协议	IPv4, TCP/UDP/HTTP/FTP
	用户配置	AT+ 指令集, 云端服务器, Android/iOS APP



1.3. 超低功耗技术

ESP8266EX 专为移动设备、可穿戴电子产品和物联网应用设计，并与其他几项专利技术一起使机器实现最低能耗。这种节能的构造以三种模式运行：激活模式、睡眠模式和深度睡眠模式。

ESP8266EX 使用高端电源管理技术和逻辑系统调低非必需功能的功率，调控睡眠模式与工作模式之间的转换，在睡眠模式下，其消耗的电流小于12 μ A，处于连接状态时，其消耗的功率少于1.0 mW (DTIM=3) 或 0.5 mW (DTIM=10)。

睡眠模式下，只有校准的实时时钟和 watchdog 处于工作状态。可以通过编程使实时时钟在特定的时间内唤醒 ESP8266EX。

通过编程，ESP8266EX 会在检测到某种特定情况发生的时候自动唤醒。ESP8266EX 在最短时间内自动唤醒，这一特征可以应用到移动设备的SOC上，这样SOC在开启Wi-Fi之前均处于低功耗待机状态。

为满足移动设备和可穿戴性电子产品的功率需求，ESP8266EX 在近距离时可以通过软件编程减少PA的输出功率来降低整体功耗，以适应不同的应用方案。

1.4. 主要应用领域

- 智能家居
- 家庭自动化
- 智能插座、智能灯
- 网状网络
- 工业无线控制
- 婴儿监控器
- 网络摄像机
- 传感器网络
- 可穿戴电子产品
- 无线位置感知设备
- 安全 ID 标签
- 无线定位系统信号



2. 硬件介绍

2.1. 芯片管脚定义

ESP8266EX 的封装方式是 QFN32-pin，管脚定义如下图所示。

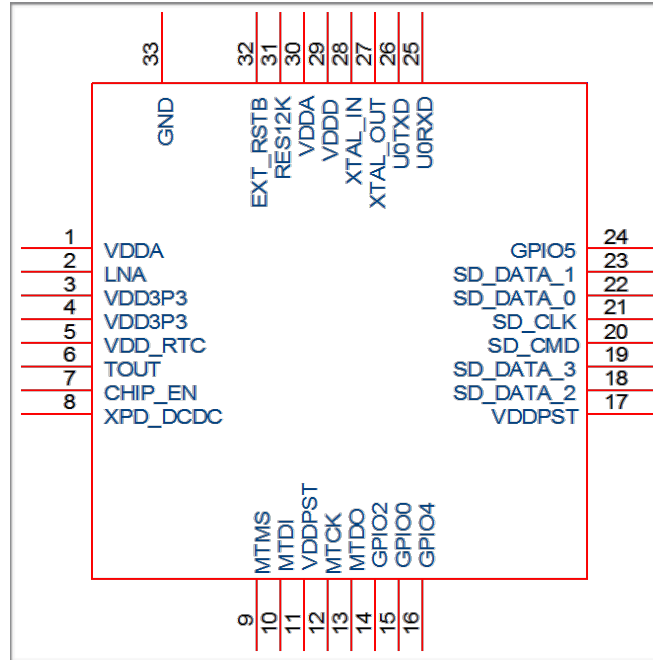


图2 ESP8266EX 管脚定义图

表 2 ESP8266EX 管脚功能定义

Pin	Name	Type	Function
1	VDDA	P	模拟电源 3.0 - 3.6V
2	LNA	I/O	射频天线接口，芯片输出阻抗为 50 Ω ，无需对芯片进行匹配，但建议保留 π 型匹配网络对天线进行匹配
3	VDD3P3	P	功放电源 3.0 - 3.6V
4	VDD3P3	P	功放电源 3.0 - 3.6V
5	VDD_RTC	P	NC(1.1V)
6	TOUT	I	ADC 端口（注：芯片内部 ADC 端口），可用于检测 VDD3P3 (Pin3, Pin4) 电源电压和 TOUT (Pin6) 的输入电压 (二者不可同时使用)
7	CHIP_EN	I	芯片使能端。高电平：有效，芯片正常工作; 低电平：芯片关闭，电流很小



Pin	Name	Type	Function
8	XPD_DCDC	I/O	Deep-Sleep 唤醒(需连接到 EXT_RSTB); GPIO16
9	MTMS	I/O	GPIO14; HSPI_CLK
10	MTDI	I/O	GPIO12; HSPI_MISO
11	VDDPST	P	数字和 IO 电源 1.8V - 3.3V
12	MTCK	I/O	GPIO13; HSPI_MOSI; UART0_CTS
13	MTDO	I/O	GPIO15; HSPI_CS; UART0_RTS
14	GPIO2	I/O	可用作烧写 Flash 时 UART1_TX; GPIO2
15	GPIO0	I/O	GPIO0; SPI_CS2
16	GPIO4	I/O	GPIO4
17	VDDPST	P	数字和 IO 电源 1.8V - 3.3V
18	SDIO_DATA_2	I/O	连接到 SD_D2 (串联 200 Ω) ; SPIHD; HSPiHD; GPIO9
19	SDIO_DATA_3	I/O	连接到 SD_D3(串联 200 Ω) ; SPIWP; HSPiWP; GPIO10
20	SDIO_CMD	I/O	连接到 SD_D3(串联 200 Ω) ; SPI_CS0; GPIO11
21	SDIO_CLK	I/O	连接到 SD_D3(串联 200 Ω) ; SPI_CLK; GPIO6
22	SDIO_DATA_0	I/O	连接到 SD_D3(串联 200 Ω) ; SPI_MISO; GPIO7
23	SDIO_DATA_1	I/O	连接到 SD_D3(串联 200 Ω) ; SPI_MOSI; GPIO8
24	GPIO5	I/O	GPIO5
25	U0RXD	I/O	可用作烧写 Flash 时 UART0_RX; GPIO3
26	U0TXD	I/O	可用作烧写 Flash 时 UART0_TX; GPIO1; SPI_CS1
27	XTAL_OUT	I/O	连接晶振输出端，也可用于提供 BT 的时钟输入
28	XTAL_IN	I/O	连接晶振输入端
29	VDDD	P	模拟电源 3.0V - 3.6V
30	VDDA	P	模拟电源 3.0V - 3.6V
31	RES12K	I	串联 12k Ω 电阻到地
32	EXT_RSTB	I	外部 reset 信号（低电平有效）

注意：MTDO、GPIO0、GPIO2 构成 3bit 可进行 Boot strap 模式的选择。



2.2. 电气特性

表 3 ESP8266EX 电气特性

参数		条件	最小值	典型值	最大值	单位
存储温度范围			-40	常温	125	°C
最大焊接温度		IPC/JEDEC J-STD-020			260	°C
工作电压			3.0	3.3	3.6	V
任意I/O	V_{IL}/V_{IH}		-0.3/0.75 V_{IO}		0.25 $V_{IO}/3.6$	V
	V_{OL}/V_{OH}		N/0.8 V_{IO}		0.1 V_{IO}/N	
	I_{MAX}				12	mA
静电释放量（人体模型）		TAMB=25°C			2	KV
静电释放量（机器模型）		TAMB=25°C			0.5	KV

2.3. 功耗

下列功耗数据是基于3.3V 的电源、25°C 的周围温度，并使用内部稳压器测得。

[1] 所有测量均在没有 SAW 滤波器的情况下，于天线接口处完成。

[2] 所有发射数据是基于 90% 的占空比，在持续发射的模式下测得的。

表 4 ESP8266EX 功耗

模式	最小值	典型值	最大值	单位
传送802.11b, CCK 11Mbps, P _{OUT} =+17dBm		170		mA
传送802.11g, OFDM 54Mbps, P _{OUT} =+15dBm		140		mA
传送 802.11n, MCS7, P _{OUT} =+13dBm		120		mA
接收 802.11b, 包长 1024 字节, -80dBm		50		mA
接收802.11g, 包长 1024 字节, -70dBm		56		mA
接收802.11n, 包长 1024 字节, -65dBm		56		mA
Modem-Sleep①		15		mA
Light-Sleep②		0.9		mA
Deep-Sleep③		10		uA
Power Off		0.5		uA



注①：Modem-Sleep 用于需要 CPU 一直处于工作状态 如 PWM 或 I2S 应用等。在保持 WiFi 连接时，如果没有数据传输，可根据 802.11标准 (如 U-APSD)，关闭WiFi Modem电路来省电。例如，在 DTIM3 时，每 sleep 300ms，醒来3ms 接收AP 的Beacon包等，则整体平均电流约 15mA。

注②：Light-Sleep 用于 CPU 可暂停的应用，如 WiFi 开关。在保持 WiFi 连接时，如果没有数据传输，可根据 802.11标准 (如 U-APSD)，关闭WiFi Modem电路并 暂停 CPU 来省电。例如，在 DTIM3 时，每 sleep 300 ms，醒来 3ms 接收 AP 的 Beacon包等，则整体平均电流约 0.9 mA。

注③：Deep-Sleep 不需一直保持WiFi连接，很长时间才发送一次 数据包的 应用，如每100 秒测量一次温度的传感器。例如，每 300 s 醒来后需 0.3 - 1s 连上 AP 发送数据,则整体平均电流可远小于 1 mA。

2.4. 接收灵明度

以下数据是在室内温度下，电压为3.3V和1.1V时分别测得。

表 5 接收灵敏度

参数	最小值	典型值	最大值	单位
输入频率	2412		2484	MHz
输入电阻		50		Ω
输入反射			-10	dB
72.2 Mbps下，PA 的输出功率	14	15	16	dBm
11b 模式下，PA 的输出功率	17.5	18.5	19.5	dBm
灵敏度				
DSSS, 1 Mbps		-98		dBm
CCK, 11 Mbps		-91		dBm
6 Mbps (1/2 BPSK)		-93		dBm
54 Mbps (3/4 64-QAM)		-75		dBm
HT20, MCS7 (65 Mbps, 72.2 Mbps)		-72		dBm
邻频抑制				
OFDM, 6 Mbps		37		dB
OFDM, 54 Mbps		21		dB
HT20, MCS0		37		dB
HT20, MCS7		20		dB



2.5. MCU

ESP8266EX 内置 Tensilica L106 超低功耗 32 位微型 MCU，带有 16 位精简模式，主频支持 80 MHz 和 160 MHz，支持 RTOS。目前 WiFi 协议栈只用了 20% 的 MIPS，其他的都可以用来做应用开发。MCU 可通过以下接口和芯片其他部分协同工作：

- 连接存储控制器、也可以用来访问外接闪存的编码 RAM/ROM 接口 (iBus)
- 同样连接存储控制器的数据 RAM 接口 (dBus)
- 访问寄存器的 AHB 接口

2.6. 存储描述

2.6.1. 内置 SRAM 与 ROM

ESP8266EX 芯片自身内置了存储控制器，包含 ROM 和 SRAM。MCU 可以通过 iBus、dBus 和 AHB 接口访问存储控制器。这些接口都可以访问 ROM 或 RAM 单元，存储仲裁器以到达顺序确定运行顺序。

基于目前我司 Demo SDK 的使用 SRAM 情况，用户可用剩余 SRAM 空间为：

RAM size 约 50 KB (station 模式下，连上路由后，heap+data 区大致可用 50KB 左右。)

目前 ESP8266EX 片上没有 programmable ROM，用户程序存放在外部的 SPI Flash 中。

2.6.2. 外置 SPI Flash

当前 ESP8266EX 芯片支持使用 SPI 接口的外置 Flash，理论上最大可支持到 16 MByte 的 SPI flash。

建议 Flash 容量：

- 不支持云端升级：512 KB
- 可支持云端升级：1 MB

支持的 SPI 模式：支持 Standard SPI、Dual SPI、DIO SPI、QIO SPI，以及 Quad SPI。

注意，在下载固件时需要在下载工具中选择对应模式，否则下载后程序将无法得到正确的运行。

2.7. AHB 和 APB 模块

AHB 模块充当仲裁器，通过 MAC、主机的 SDIO 和 CPU 控制 AHB 接口。由于发送地址不同，AHB 数据请求可能到达以下两个从机中的一个：

- APB 模块，或
- 闪存控制器（通常在脱机应用的情况下）

闪存控制器接收到的请求往往是高速请求，而 APB 模块接收到的往往是访问寄存器的请求。

APB 模块充当解码器，但只可以访问 ESP8266EX 主模块内可编程的寄存器。由于发送地址不同，APB 请求可能到达无线电接收器、SI/SPI、主机 SDIO、GPIO、UART、实时时钟 (RTC)、MAC 或数字基带。



3. 接口介绍及定义

ESP8266EX 包含多个模拟和数字接口，详情如下。

3.1. GPIO

总共有多达 17 个 GPIO 管脚。固件可以给它们分配不同的功能。每个 GPIO 都可以配置内部上拉电阻(除了 XPD_DCDC 为下拉电阻)、可供软件寄存器取样的输入、边沿或电平引发 CPU 中断的输入、电平引发唤醒中断的输入、开漏或互补推挽输出驱动、软件寄存器的输出源或 sigma-delta PWM DAC。

这些管脚与其他功能复用,如 I2C, I2S, UART, PWM, IR 红外控制等。

数字 IO 焊盘是双向、三态的。它包括输入和输出的三态控制缓冲器。此外，对于低功耗的运算，IO 还能被设定为保持状态。比如说，当我们降低芯片的功耗，所有输出使能信号可以被设定为保持低功耗状态。

选择性的保持功能可以按需植入 IO 中。当 IO 不由内外部电路驱动时，保持功能可以被用于保持上次状态。保持功能给管脚引入一些正反馈。因此，管脚的外部驱动必须强于正反馈。然而，所需驱动力大小仍然很小，在 5uA 之内。

表 6 GPIO 接口定义

变量	符号	最小值	最大值	单位
输入低电压	V_{IL}	-0.3	$0.25 \times V_{IO}$	V
输入高电压	V_{IH}	$0.75 \times V_{IO}$	3.3	V
输入漏电流	I_{IL}		50	nA
输出低电压	V_{OL}		$0.1 \times V_{IO}$	V
输出高电压	V_{OH}	$0.8 \times V_{IO}$		V
输入管脚电容	C_{pad}		2	pF
VDDIO	V_{IO}	1.8	3.3	V
最大驱动能	I_{MAX}		12	mA
温度	T_{amb}	-40	125	°C

所有的数字IO管脚都要在引脚和地之间加一个过压保护电路（snap back circuit）。通常回跳（snap back）电压大概是6V，而维持电压是5.8V。这就可以避免电压过高和产生ESD。二极管也使输出设备避免产生反向电压。



3.2. SDIO

ESP8266EX 芯片定义了 1 个 SDIO Slave 接口，接口管脚定义如下：

表 7 SDIO 接口定义

Pin Name	Pin Num	IO	Function Name
SDIO_CLK	21	IO6	SDIO_CLK
SDIO_DATA0	22	IO7	SDIO_DATA0
SDIO_DATA1	23	IO8	SDIO_DATA1
SDIO_DATA_2	18	IO9	SDIO_DATA_2
SDIO_DATA_3	19	IO10	SDIO_DATA_3
SDIO_CMD	20	IO11	SDIO_CMD

SDIO由硬件实现，支持 4 位 25 MHz SDIO v1.1 和 4 位 50 MHz SDIO v2.0。

3.3. SPI / HSPI

ESP8266EX 芯片定义了1 个通用 Slave/Master SPI，1 个 Slave SDID 标准中定义的 SPI 接口 (SDIO/ SPI) 和 1 个通用 Slave/Master HSPI 接口。上述接口均由硬件实现，接口定义如下：

3.3.1. General SPI (Master/Slave)

表 8 通用 SPI 接口定义

Pin Name	Pin Num	IO	Function Name
SDIO_CLK	21	IO6	SPICLK
SDIO_DATA0	22	IO7	SPIQ/MISO
SDIO_DATA1	23	IO8	SPID/MOSI
SDIO_DATA_2	18	IO9	SPIHD
SDIO_DATA_3	19	IO10	SPIWP
SDIO_CMD	20	IO11	SPICS0
U0TXD	26	IO1	SPICS1
GPIO0	15	IO0	SPICS2



3.3.2. SDIO / SPI (Slave)

表 9 SDIO / SPI (Slave) 接口定义

Pin Name	Pin Num	IO	Function Name
SDIO_CLK	21	IO6	SPI_SLAVE_CLK
SDIO_DATA0	22	IO7	SPI_SLAVE_MISO
SDIO_DATA1	23	IO8	SPI_SLAVE_INT
SDIO_DATA_2	18	IO9	NC
SDIO_DATA_3	19	IO10	SPI_SLAVE_CS
SDIO_CMD	20	IO11	SPI_SLAVE_MOSI

3.3.3. HSPI (Master/Slave)

表 10 HSPI (Master/Slave) 接口定义

Pin Name	Pin Num	IO	Function Name
MTMS	9	IO14	HSPICLK
MTDI	10	IO12	HSPIQ/MISO
MTCK	12	IO13	HSPID/MOSI
MTDO	13	IO15	HPSICS

注意：

- 通用 SPI 和 HSPI 为硬件实现，最高支持时钟速率可达到 80 MHz。
- SDIO Slave 标准定义中的 SPI Slave 接口由硬件实现，支持链表 DMA，软件开销小；通用 SPI 和 HSPI 上没有链表 DMA，软件开销大，所以数据传输受到处理速度的限制。

3.4. I2C

ESP8266EX 芯片目前定义了 1 个 I2C 的接口，主要用于连接微控制器以及外围设备，如 sensor 等；目前 I2C 接口定义如下：

表 11 I2C 接口定义

Pin Name	Pin Num	IO	Function Name
MTMS	9	IO14	I2C_SCL
GPIO2	14	IO2	I2C_SDA



ESP8266EX 既支持 I2C Master 也支持 I2C Slave 功能。

I2C 接口由软件实现，时钟频率最高100 KHZ 左右，需高于从设备最慢速要求。

3.5. I2S

ESP8266EX 芯片目前定义了1 个 I2S 输入接口和 1 个 I2S 输出接口，主要可用于音频数据采集、处理和传输，也可用于串行数据输入输出，如支持 LED 彩灯 (WS2812 系列)。I2S 接口定义如下：

表 12 I2S 接口定义

I2S 接口输入：			
Pin Name	Pin Num	IO	Function Name
MTDI	10	IO12	I2SI_DATA
MTCK	12	IO13	I2SI_BCK
MTMS	9	IO14	I2SI_WS
I2S 接口输出：			
Pin Name	Pin Num	IO	Function Name
MTDO	13	IO15	I2SO_BCK
U0RXD	25	IO3	I2SO_DATA
GPIO2	14	IO2	I2SO_WS

I2S 接口由硬件实现，全部复用的 GPIO 口，支持链表 DMA。

3.6. UART

ESP8266EX芯片目前定义了 2 个 UART，UART接口定义如下：

表 13 UART 接口定义

Pin Type	Pin Name	Pin Num	IO	Function Name
UART0	U0RXD	25	IO3	U0RXD
	U0TXD	26	IO1	U0TXD
	MTDO	13	IO15	U0RTS
	MTCK	12	IO13	U0CTS
UART1	GPIO2	14	IO2	U1TXD
	SD_D1	23	IO8	U1RXD



2 个 UART 接口均由硬件实现。串口的速度可达 115200*40 (4.5 Mbps)。

UART0 可以用做通信接口，支持流控。由于 UART1 目前只有 TX 部分可用，所以一般 UART1 当做打印 log 信息用。

注意：UART0 默认情况会在上电启动期间输出一些打印，此期间打印内容的波特率与所用的外部晶振频率有关。使用 40M 晶振时，该段打印波特率为 115200。使用 26M 晶振时，该段打印波特率为 74880。如果对此敏感的应用，可以使用 UART 的内部引脚交换功能，在初始化的时候，将 U0TXD、U0RXD 分别与 U0RTS(MTDO)，U0CTS(MTCK) 交换，间接屏蔽上电时期的打印输出。

3.7. PWM

ESP8266EX 芯片目前定义了 4 个 PWM 输出接口，可自行扩展。目前 PWM 接口定义如下：

表 14 PWM 接口定义

Pin Name	Pin Num	IO	Function Name
MTDI	10	IO12	PWM0
MTDO	13	IO15	PWM1
MTMS	9	IO14	PWM2
GPIO4	16	IO4	PWM3

PWM 接口由软件实现。在 WiFi Light 的示例中，PWM 通过 timer 中断实现，最小分辨率可达 44 ns。频率在 1KHz 时，占空比最小可以达到 1/22727。

PWM 周期为 1000 us – 10000 us (100 HZ – 1 KHZ)。

3.8. Infrared Remote Control

ESP8266EX 芯片目前定义了 1 个 IR 红外遥控接口，该接口定义如下：

表 15 IR 红外遥控接口定义

Pin Name	Pin Num	IO	Function Name
MTMS	9	IO12	IR Tx
GPIO5	24	IO5	IR Rx

IR Remote Control 接口由软件实现，接口使用 NEC 编码及调制解调，采用 38KHz 的调制载波，占空比为 1/3 的方波。传输范围在 1m 左右，传输范围由 2 个因素决定，一个取决于 GPIO 口的最大额定电流，另一个则取决于采购的红外接收管内部的限流电阻 R 的大小，R 越大，电流越小，自然功率越小，相反则越大。传输半角度为 15° 到 30°，传输角度取决于采购的红外收发管的辐射方向性。



3.9. ADC

ESP8266EX 集成了一个通用的 10 bit 精度的 ADC。可检测的模拟输入电压范围在 0 - 1V。该 ADC 主要用于检测传感器输出或是电池电量等。在 EXP8266EX 发包时不可使用 ADC，否则将会导致电压值的不准确。

目前芯片定义 TOUT (Pin6) 为 ADC 端口，如下：

表 16 ADC 接口定义

Pin Name	Pin Num	Function Name
TOUT	6	ADC 端口

ADC 端口 (Pin6 TOUT) 可提供以下两种应用，但以下两种应用不可同时使用：

测量 VDD3P3 管脚 3 和 4 上的电源电压：

测量 PA_VDD 管脚电压的函数是： `uint16 system_get_vdd33(void)`

测量 TOUT 管脚 6 的输入电压：

测量 TOUT 管脚电压的函数是： `uint16 system_adc_read(void)`

后文描述的 RF_init 参数指的是： `esp_init_data_default.bin`

3.9.1. 应用场景 1：测量 VDD3P3 管脚 3 和 4 的电源电压

硬件设计：TOUT 管脚必须悬空。

RF_init 参数： `esp_init_data_default.bin`

(0 - 127byte) 中的第 107 byte 为 “vdd33_const”，必须设为 0xFF，即 255；

RF Calibration 工作过程：自测 VDD3P3 管脚 3 和管脚 4 上的电源电压，根据测量结果优化 RF 电路工作状态。

用户软件：可使用 `system_get_vdd33`；不可使用 `system_adc_read`。

3.9.2. 应用场景 2：测量 TOUT 管脚 6 的输入电压

硬件设计：TOUT 管脚接外部电路，输入电压范围限定为 0 - 1.0V。

RF_init 参数： `esp_init_data_default.bin`

(0 - 127byte) 中的第 107 byte 为 “vdd33_const”，必须设为真实的 VDD3P3 管脚 3 和管脚 4 上的电源电压。

ESP8266EX 的工作电压范围为 1.8V - 3.6V，“vdd33_const” 单位为 0.1V，因此 “vdd33_const” 有效取值范围为 18 - 36；

注意：标准情况下工作电压为 3V - 3.6V，2.7V 以下需要特殊的 Flash 支持，且需要同时修改软硬件设计，如无特殊需求请保证标准情况下的工作电压。

若电源电压不稳定，会动态变化，“vdd33_const” 应输入为电源电压变化的最小值 × 10。



RF Calibration 工作过程：根据 `RF_init` 第 107 byte “`vdd33_const`” 的值来优化 RF 电路工作状态，容许误差约为 $\pm 0.2V$ 。

用户软件：不可使用 `system_get_vdd33`；可使用 `system_adc_read`。

注意事项 1:

`RF_init` 参数，即 `esp_init_data_default.bin`

(0 - 127byte) 中的第 107 byte，命名为 “`vdd33_const`”，此参数的解释如下：

(1) 当 `vdd33_const` = 0xff，ESP8266 RF Calibration 内部自测 VDD3P3 管脚 3 和 管脚 4 上的电源电压，根据测量结果优化 RF 电路工作状态。

(2) 当 $18 \leq \text{vdd33_const} \leq 36$ ，ESP8266 RF Calibration 使用 (`vdd33_const`/10) 来优化 RF 电路工作状态。

(3) 当 `vdd33_const` < 18 或 $36 < \text{vdd33_const} < 255$ 时，ESP8266 RF Calibration 使用默认值 3.0V 来优化 RF 电路工作状态。

注意事项 2:

函数 `system_get_vdd33` 用于测量 VDD3P3 管脚 3 和管脚 4 上的电源电压：

(1) Tout 管脚必须悬空，且必须使 `RF_init` 参数第 107 byte `vdd33_const`=0xff。

(2) 若 `RF_init` 参数第 107 byte `vdd33_const` 等于 0xff，`system_get_vdd33` 函数返回值才为有效的测量值；否则 `system_get_vdd33` 函数返回 0xffff。

(3) 返回值单位：1/1024 V

注意事项 3:

函数 `system_adc_read` 用于测量 Tout 管脚 6 上的输入电压时：

(1) 必须将 `RF_init` 参数第 107 byte “`vdd33_const`” 设置为真实的电压电源。

(2) 若 `RF_init` 参数第 107 byte “`vdd33_const`” 不等于 0xff，`system_adc_read` 函数返回值才为有效的测量值；否则 `system_adc_read` 函数返回 0xffff。

(3) 返回值单位：1/1024 V

注意：上述 9 种接口定义中很多 GPIO 接口是复用的，目前我司暂只支持上述 9 种接口的定义，客户可以根据 ESP8266EX 在产品中实际应用来定义接口的功能。此部分功能均可由软/硬件实现切换。



3.10. LED 与 Button

ESP8266EX 拥有多达 17 个 GPIO 接口，这些数字 IO 均可定义作为 LED 与 Button 的控制接口。基于目前 ESP8266EX 一些 demo design 的应用，我们对如下 GPIO 接口进行 LED 与 Button 定义如下：

表 17 LED 与 Button 接口定义

Pin Name	Pin Num	IO	Function Name
MTCK	12	IO13	Button (Reset)
GPIO0	15	IO0	WiFi Light
MTDI	10	IO12	Link Light

上述共定义了一个 Button 和 2 个 LED 的接口，通用情况下，**MTCK** 作为复位按键的控制；**GPIO0** 用作 WiFi 工作状态指示灯；**MTDI** 用作与服务器通信的指示灯。

4. 固件和软件工具开发包

固件在芯片上的 ROM 和 SRAM 上运行，当设备处于唤醒状态时，固件通过 SDIO 界面从主机上下载指令。固件完全遵循 802.11 b/g/n/e/i WLAN MAC 协议和 Wi-Fi Direct 规格，不仅支持分散控制功能 (DCF) 下的基本服务单元 (BSS) 的操作，还遵循最新的 Wi-Fi P2P 协议，支持 P2P 团体操作 (P2P group operation)。底层通信协议功能自动由 ESP8266EX 运行，如

- RTS/CTS
- 确认
- 分片和重组
- 聚合
- 帧封装 (802.11h/RFC 1042)
- 自动信标监测/扫描
- P2P Wi-Fi direct

跟 P2P 发现程序一样，被动或主动扫描一旦在主机指令下启动，就会自动完成。执行电源管理时，与主机互动最少，如此一来，有效任务期达到最小化。

4.1. 特征

该软件工具开发包支持如下功能：

- 802.11 b/g/n/d/e/i/k/r 支持
- Wi-Fi Direct (P2P) 支持
- P2P 发现、P2P 群主模式 (Group Owner mode)、P2P 电源管理
- 基础结构型网络 (Infrastructure BSS) 工作站 (Station) 模式/P2P 模式/SoftAP 模式
- 硬件加速器



- ▶ CCMP (CBC-MAC, 计数模式)
- ▶ TKIP (MIC, RC4)
- ▶ WAPI (SMS4)
- ▶ WEP (RC4)
- ▶ CRC
- WPA/WPA2 和WPS支持
- 其他802.11i安全特征:
 - ▶ 预认证
 - ▶ TSN
- 为EAP多种上层认证方式准备的开放式接口，如:
 - ▶ TLS
 - ▶ PEAP
 - ▶ LEAP
 - ▶ SIM
 - ▶ AKA
 - ▶ 或视客户要求而定
- 802.11n支持 (2.4GHz)
- 支持MIMO 1×1 and 2×1、STBC、A-MPDU和A-MSDU 聚合、0.4μs的保护间隔
- WMM节能U-APSD
- 采用带QoS的多队列管理，实现符合802.11e标准的多媒体数据流量优化方式
- 遵循UMA，并通过UMA认证
- 802.11h/RFC1042 帧封装
- 散列DMA进行数据转移操作，使CPU占用率达到最小
- 天线分集与选择（由软件管理的硬件）
- 将时钟/电源门控与遵循802.11标准的功率管理结合起来，根据当前连接情况，进行动态调节，以实现最低能耗
- 可调节比率演算法则根据实际的SNR和信息包丢失数据设定最优传送率和Tx功率
- MAC层自动重传与自动回应，避免主机运行缓慢时发生丢包现象
- 无缝漫游支持
- 可配置的数据包交通仲裁与为其量身定做、基于从机处理器的设计结合，为一系列蓝牙芯片销售商提供灵活且精确的分时蓝牙共存支持
- 支持双 / 单天线蓝牙共存，具备同步接收 WiFi / 蓝牙的能力

5. 电源管理

芯片可以调成以下状态：



- 关闭（OFF）：CHIP_PD管脚处于低功率状态。RTC失效。所有寄存器被清空。
- 深度睡眠（DEEP_SLEEP）：RTC开着，芯片的其他部分都是关着的。RTC内部recovery memory可保存基本的WiFi 连接信息。
- 睡眠（SLEEP）：只有RTC在运行。晶体振荡器停止。任何部位唤醒（MAC、主机、RTC计时器、外部中断）将使唤醒整个芯片。
- 唤醒（WAKEUP）：在这种状态下，系统从睡眠状态下转为起动（PWR）状态。晶体振荡器和PLL均转为使能状态。
- 开启状态（CPU ON）：高速时钟可以运行，并发送至各个被时钟控制寄存器使能的模块。各个模块，包括CPU在内，执行较低电平的时钟门控。系统运作时，可以通过WAITI指令关闭CPU内部时钟。
- 工作状态（RF WORK）：在开启状态的基础上打开 WiFi 功能。

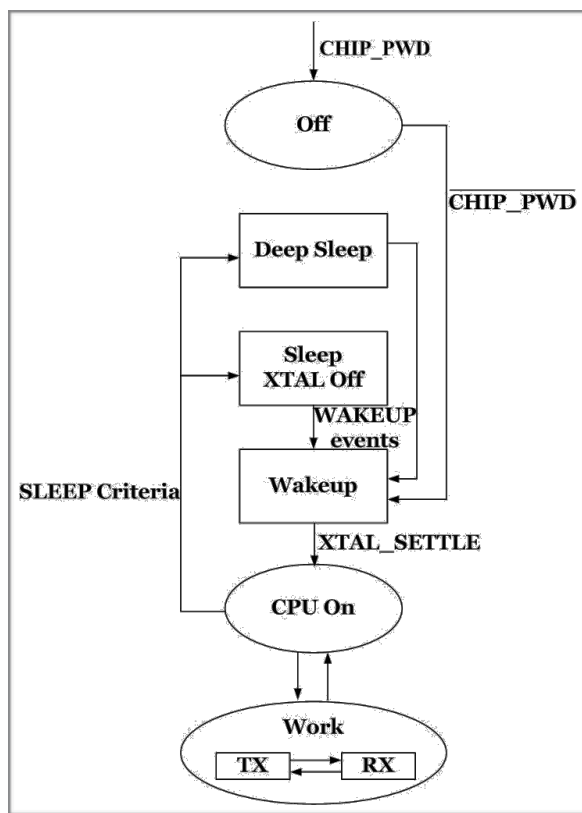


图 3 电源管理示意图



6. 时钟管理

6.1. 高频时钟

ESP8266EX 上的高频时钟是用来驱动 Tx 和 Rx 两种混频器的，它由内部晶振和外部晶振生成。晶振频率在 26MHz 到 52MHz 之间浮动。

尽管晶体振荡器的内部校准功能使得一系列的晶体满足时钟生成条件，但是一般来说，晶体的质量仍然是获得合适的相位噪声要考虑的因素。当使用的晶体由于频率偏移或质量问题而不是最佳选择时，WiFi 系统的最大数据处理能力和灵敏度就会降低。请参照如下操作说明来测量频率偏移。

表 18 高频时钟

变量	符号	最小值	最大值	单位
频率	FXO	26	52	MHz
装载电容	CL		32	pF
动态电容	CM	2	5	pF
串行电阻	RS	0	65	Ω
频率容限	Δ FXO	-15	15	PPM
频率vs温度 (-25°C ~ 75°C)	Δ FXO, Temp	-15	15	PPM

6.2. 外部参考要求

外部时钟的频率在 26 MHz 到 52 MHz 之间。为了使无线电接收器良好运作，时钟必须具备以下特点：

表 19 时钟外部参考要求

变量	符号	最小值	最大值	单位
时钟振幅	VXO	0.2	1	Vpp
外部时钟精准度	Δ FXO,EXT	-15	15	ppm
相位噪声@1kHz偏移, 40MHz时钟			-120	dBc/Hz
相位噪声@10kHz偏移, 40MHz 时钟			-130	dBc/Hz
相位噪声@100kHz偏移, 40MHz时钟			-138	dBc/Hz

7. 无线接收器

ESP8266EX 无线电接收器主要包含以下模块：

- 2.4 GHz 接收器
- 2.4 GHz 传送器
- 高速时钟生成器和晶体振荡器



- 实时时钟
- 偏压和稳压器
- 电源管理

7.1. 频道频率

根据 IEEE802.11b/g/n 标准，RF 收发器支持以下频道：

表 20 频道频率

频道编号	频率 (MHz)	频道编号	频率 (MHz)
1	2412	8	2447
2	2417	9	2452
3	2422	10	2457
4	2427	11	2462
5	2432	12	2467
6	2437	13	2472
7	2442	14	2484

7.2. 2.4 GHz 接收器

2.4 GHz 接收器把 RF 信号降频，变成正交基带信号，用2个高分辨率的高速 ADC 将后者转为数字信号。为了适应不同的信号频道，无线电接收器集成了RF滤波器、自动增益控制（AGC）、DC 偏移补偿电路和基带滤波器。

7.3. 2.4 GHz 发射器

2.4 GHz 发射器将正交基带信号升频到 2.4 GHz，使用大功率 CMOS 功率放大器驱动天线。数字校准的使用进一步地改善了功率放大器的线性，从而在 802.11b 传输中达到 +17dBm 的平均功率，在802.11n 传输中达到 +13dBm 的平均功率，功能超强。

为抵消无线电接收器的瑕疵，还另增了校准措施，例如：

- 载波泄露
- I/Q相位匹配，和
- 基带非线性

这样便减少了生产测试所需的时间和设备。



7.4. 时钟生成器

时钟生成器为接收器和发射器生成 2.4 GHz 时钟信号，其所有部件均集成于芯片上，包括：

- 电感器
- 变容二极管
- 闭环滤波器

时钟生成器含有内置校准电路和自测电路。正交时钟相位和相位噪声通过专利校准算法在芯片上进行最优处理，以确保接收器和发射器达到最佳性能。

8. 附录：QFN32 封装尺寸图

