

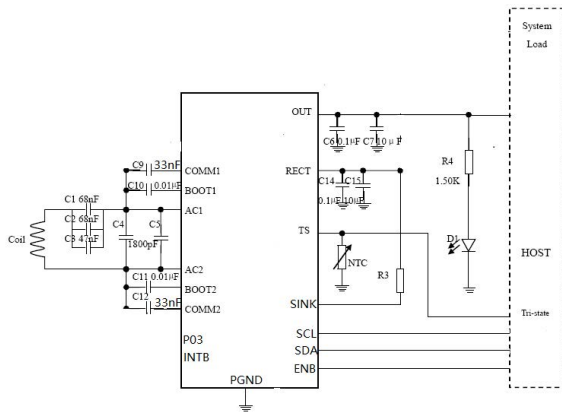
符合 Qi 标准的 5W 无线充电接收电路

概述

KF4991 是一颗单芯片无线充电接收电路，最大支持 7.2W (6V/1.2A) 无线功率传输。符合 WPC Qi V1.2.4 标准，集成高效全同步整流、高效线性稳压结构以及数字控制和通信模块，支持 ASK 及 FSK 双向通讯。

KF4991 作为无线充电接收电路，接收 AC 功率信号，通过芯片集成的高效率同步整流电路转换成直流电压，再经过 LDO 电路输出稳定的电压。接收电路根据负载的功率需求情况，向发送电路不断发送功率调整差、功率包等指示，从而调整接收到的 AC 功率，实现稳定的无线功率传输。

典型应用示意图



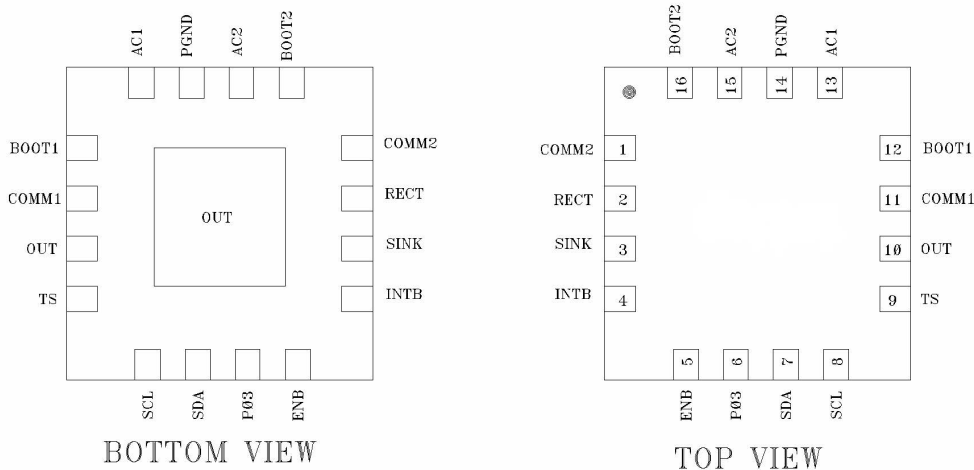
主要特性

- 支持 WPC Qi V1.2.4 标准
- 输出电压(3.5V~6.3V, 50mV/Step)
- 集成自驱动全同步整流，高效稳压输出
- 内置过压、过流、过温和欠压保护
- 支持电压、电流和温度检测功能
- 集成 12 位高精度 ADC/DAC
- 集成高性能 8 位微控制器
- 两路 8 位 Timer，一路 16 位 Timer(带捕获功能)，16 位 Watchdog 计数器
- ASK/FSK 硬件编解码，支持双向传输数据
- I2C Slave
- FOD 参数/限流参数外围可配置
- 8Kx16 Bits OTP Memory, 256 B SRAM
- PLPQFN16 (3mmX3mm,0.55mm)

主要用途

- 智能手机；
- 数码设备；
- 小家电；
- TWS 耳机；
- 兼容 WPC 协议的接收器；

引脚分配图





目 录

1. 引脚标号	4
2. 引脚说明	4
3. 极限参数	5
4. 电气特性	5
5. 工作原理	6
5.1. 功能描述	6
5.2. WPC 协议工作特性	7
5.3. 模块功能	8
5.3.1. 同步整流	8
5.3.2. 过压	8
5.3.3. 过流	8
5.3.4. 过温	9
5.3.5. 芯片使能	9
5.3.6. 输出稳压模块	9
6. 应用信息	10
6.1. RX 无线功率线圈	10
6.2. 谐振电容	10
6.3. 输入电容 (RECT 电容)	10
6.4. 输出电容 (OUT 电容)	10
6.5. SINK 连接	10
6.6. FOD 参数配置	10
6.7. 应用原理图 A	11
6.8. 应用原理图 B	12
6.9. PCB 板布局注意事项	12
7. 特性曲线	13
8. 封装尺寸与外形图 (单位: mm)	14

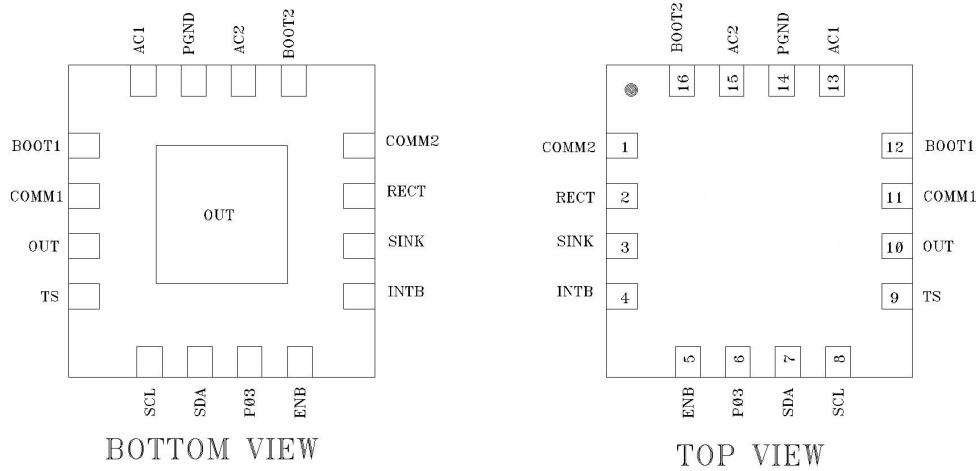


图表目录

图 1. KF4991 引脚分配图	4
图 2. 内部功能框图	8
图 3. WPC 系统功能框图	9
图 4. TS 管脚功能框图	11
图 5. TS 管脚逻辑框图	11
图 6. 典型 Rx 应用原理图	14
图 7. Rx+Adapter 应用原理图	15
图 8. 系统效曲线图	17
图 9. 5W 满载热成像图	17
图 10. 5W (5V/1A) 满载启动波形图	17
图 11. 封装外形图	18
表 1. 引脚说明	4
表 2. 极限参数表	6
表 3. 电气特性参数表	6
表 4. EPT 条件表	9
表 5. 限流硬件配置表	10
表 6. TS 管脚状态表	11
表 7. 推荐工作参数表	12
表 8. FOD 硬件配置表	13

1. 引脚标号

图 1. KF4991 引脚分配图



2. 引脚说明

表 1. 引脚说明

管脚号	管脚名	I/O	功能描述
1	COMM2	O	开漏输出，接电容到 AC2 进行 ASK 调制
2	RECT	O	整流输出，外部接电容到地
3	SINK	O	RECT 过压保护引脚，开漏输出，接电阻到 RECT 进行过压下拉
4	P02/INTB	I/O	通用输入输出引脚，开漏输出，带模拟输入输出；复用为 FOD 参数配置，外接电阻配置 PowerLoss 增益
5	ENB	I	电路使能，内置下拉电阻 500K，低电平有效；高电平电路复位进入待机模式，INTB 管脚拉低
6	P03/ILIM	I/O	通用输入输出引脚，开漏输出，带模拟输入输出；复用为 ILIM 参数配置，外接电阻配置 OUT 输出限流
7	P01/SDA	I/O	通用输入输出引脚，开漏输出，带模拟输入输出；默认作为 SDA 引脚
8	P00/SCL	I/O	通用输入输出引脚，开漏输出，带模拟输入输出；默认作为 SCL 引脚
9	TS	O	外接 NTC 电阻到地，用于外部温度检测，不用外部测温时接 10K 电阻到地。TS 电压 > 1.7V 表示充满电，TS 电压 < 0.2V 表示过温，TS 管脚也可以由其他主机进行三态驱动，具体见文档中过温部分。
10	OUT	O	稳压输出；芯片底部散热焊盘
11	COMM1	O	开漏输出，接电容到 AC1 进行 ASK 调制
12	BOOT1	O	外接 10nf 电容到 AC1，升压驱动整流器高端 NMOS 管
13	AC1	I	AC1 POWER 输入
14	PGND	G	地
15	AC2	I	AC2 POWER 输入
16	BOOT2	O	外接 10nf 电容到 AC2，升压驱动整流器高端 NMOS 管

[a]注：“I” = 输入（模拟或数字），“O” = 输出（数字）



3. 极限参数 表 2. 极限参数表

参数说明	引脚	最小值	最大值	单位
输入电压	AC1, AC2	-0.8	18	V
	RECT, OUT, SINK, COMM1, COMM2, SCL/WPG, SDA, INTB, ILIM, ENB, TS	-0.3	18	V
	BOOT1, BOOT2	-0.3	23	V
输入电流	AC1, AC2		2	A(RMS)
输出电流	OUT		1.2	A
输出灌电流	SCL/WPG,SDA,INTB		15	mA
	COMM1,COMM2,SINK		1	A
结温		-40	150	°C
存储温度		-65	150	°C
ESD (HBM) (100pF, 1.5KΩ)	All	2		KV

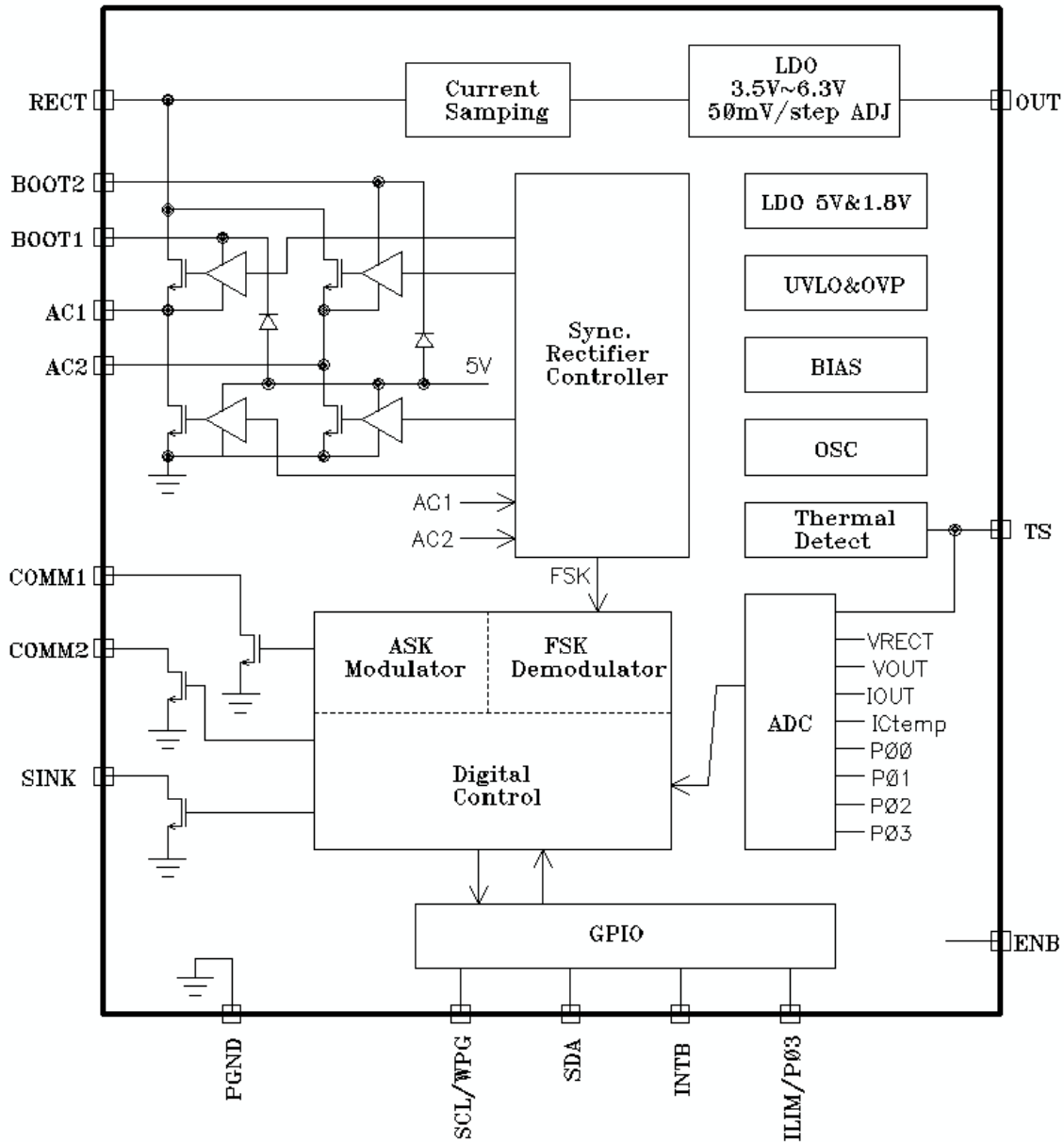
4. 电气特性 表 3. 电气特性参数表

参数		测试条件	最小	典型	最大	单位
V _{UVLO}	欠压	V _{RECT} :0V→3V	2.5	2.6	2.7	V
V _{HYS-UVLO}	欠压迟滞	V _{RECT} :3V→2V		200		mV
V _{RECT}	过压门槛 (OVP)		14.5	15	15.5	V
V _{RECT-DPM}	输出欠压保护		2.8	3	3.1	V
V _{RECT(REG)}	V _{RECT} 目标电压		V _{OUT} +0.12		V _{OUT} +2	V
V _{RECT-REV}	输出反向保护	V _{OUT} 和V _{RECT} 压差, V _{OUT} =10V		9	10	V
I _{OUT}	静态电流 (无线充电不工作)	V _{OUT} =5V			1	μA
V _{OUT-REG}	输出电压管理	输出电压可调 调整台阶	3.5		6.3	V
				0.05		V
K _{ILIMIT}	电流采样比例	K _{ILIMIT} = I _{OUT} / I _{LIMIT} I _{OUT} =0.5A		250		
I _{OUT}	电流限制可编程范围				1.2	A
t _{HOLD-OFF}	启动通讯限流延迟时间			1		s
V _{TS-Bias}	TS基准电压			1.8		V
T _J	热关断温度			150		°C
	热关断迟滞			20		°C
R _{DS(ON)}	COMM1 and COMM2	V _{RECT} =2.6V		1.0		Ω
R _{DS(ON)}	SINK			0.5		Ω
I _{OUT}	半同步整流进入全同步整流 输出电流I _{OUT}	I _{LOAD} 0→200 mA		180		mA
	迟滞电流	I _{LOAD} 200→0mA		100		mA
V _I L	SDA, SCL, ENB输入低电压 门槛				0.4	V
V _I H	SDA, SCL, ENB输入高电压 门槛		1.5			V
f _{i2c}	I ² C速度	典型		100	400	KHz
I _{OUTSense}	采样电流精度	I _{OUT} =750 ~1200 mA	-0.5	0	0.5	%

5. 工作原理

KF4991 是一款为移动终端设计的高集成度无线充电接收电路。搭配了本电路的设备可在符合 WPC Qi 标准的无线充电发送端上实现稳定的无线电能传输。

图 2. 内部功能框图



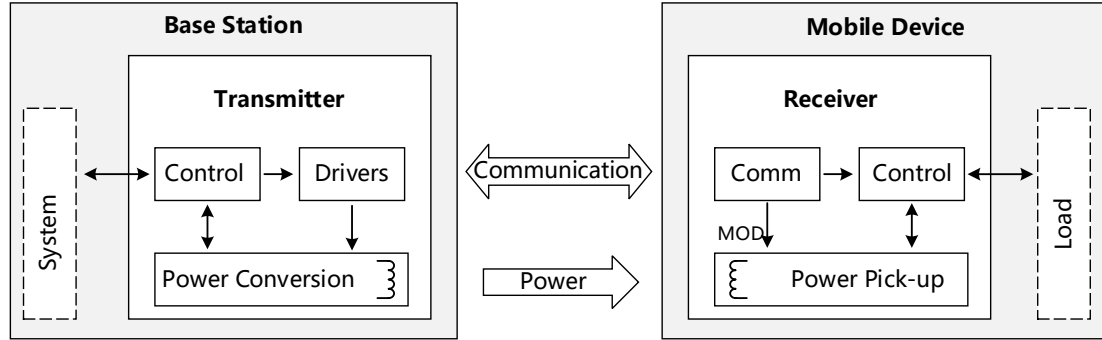
5.1. 功能描述

KF4991 电路框图如图 2 所示。当无线充电系统建通讯后，电路接收的能量被存储在 RECT 引脚电容中，当 RECT 电压超过 V_{UVLO} 阈值电压时，电路启动进入正常工作状态，全同步整流管根据不同电流负载进入相应的同步整流模式，兼顾通讯的稳定性和 AC->DC 转换的效率。电路采集 RECT 电压和负载电流，计算接收功率。然后根据当前计算的功率发送误差功率包（CEP）数据让发送设备增大或减少发送功

率，或者根据电路异常状态发送异常状态信息中断功率传输进程,同时电路实时监控内部温度以保证系统安全的工作。

5.2. WPC 协议工作特性

图 3. WPC 系统功能框图



WPC 协议的无线充电系统工作分为 **Selection, Ping, Identification & Configuration, Power transfer** 四个阶段，各自功能如下：

Selection：通过检测发送端电流变化情况来判断该线圈上是否存在待充电设备。如果在某个线圈上检测到有充电设备存在，发送端将进入 PING 阶段。

Ping：在 PING 阶段，发送设备打开一定频率和占空比的 PWM 波，如果在 90ms 时间内收到接收 (RX)反馈的信号强度数据包，进入下一阶段。

Identification & Configuration：接收端发送设备配置相关信息。如果在该阶段发送端 TX 在规定的时间限制范围内正确接收到了相关配置信息，则系统将进入下一阶段执行。

Power Transfer：进入正式充电过程，接收(RX)必须每隔一段时间向发送器反馈一个控制误差包和一个 Rectified Power 数据包，发送端通过 Control Error 计算 PID 值，调整 PWM 波来调整电能的大小。如果检测到电压小于芯片工作电压的极限值，发送端将进入到 DPM（动态调整）状态，这时将增加 PWM 频率，使得芯片稳定在正常工作的电压。当电压达到比较高时，将退出 DPM 状态。如果电池充电完成，则发送一个充电结束数据包，发送端停止向接收(RX)供电。发送端重新进入 Selection 阶段。

WPC 允许接收端发送一个特殊的命令来终止动力传输，这个命令称为终端功率传输(EPT)包。

表 4. EPT 条件表

原因	值	条件
Unknown	0x00	Not Use
Charge Complete	0x01	TS 管脚电压 > 1.7V
Internal Fault	0x02	输出短路
Over Temperature	0x03	芯片内部温度超过 150°C；TS 管脚电压 < 0.2V(对应 B3380 10K NTC 电阻 65°C)
Over Voltage	0x04	RECT 电压 > 15v



5.3. 模块功能

当 KF4991 主控的设备被置于充电板上时，次级线圈就会与发送端的初级线圈耦合产生一个交流电压，内部的整流器将这个交流电压转换成直流电压，提供到 RECT 引脚，RECT 再通过 LDO 模块输出稳定电压。

RX 通过 ASK 调制与 TX 通信，通过打开、关断电路内置 NMOS 管，接通或断开 COMM1、COMM2 管脚外接 COMM 电容，使得次级线圈电压产生波动，该电压波动被 TX 侧的初级线圈感应到，TX 对该电压波动进行解调实现和 RX 的单向通信，TX 端识别 RX 成功后保持充电。RX 测量 RECT 管脚的电压，计算真实电压与预期电压 V_{RECT} (REG) 之间的差值，发送误差数据包 (CEP) 给 TX 端。这个过程将一直持续直到整流电压达到 V_{RECT} 的目标值。

RX 还可以接收 TX 端发送的 FSK 调制信号，实现 RX、TX 的双向通信。

5.3.1. 同步整流

包含自驱动全同步整流器，可以高效率实现 AC->DC 转换。整流器为 NMOS 组成的全桥结构，在禁止同步整流模式时，由 NMOS 管寄生的背栅二极管完成整流。当系统首次启动时，整流器为二极管整流。当 RECT 电压高于 V_{UVLO} 时电路自动转换为半同步整流模式。如果负载电流超过 160mA，则启用全同步整流，提高整流效率。如果负载电流小于 100mA，则返回到半同步整流模式，提高通讯稳定性。

5.3.2. 过压

当 V_{RECT} 超过 OVP 电压设定值时，电路启动钳位功能，并向 TX 发送 CEP 包或者频率增加指令，使 V_{RECT} 重新回到安全的工作电压，固定时间后检测 RECT 电压，若 V_{RECT} 降低到安全工作电压范围后，钳位自动释放，电路恢复正常工作状态。如果仍然过压，KF4991 关闭 OUT，向 TX 发送 EPT，中断功率传输。

5.3.3. 过流

KF4991 的限流值由软件配置或者 ILIM 管脚设置，ILIM 外接电阻到地，电路在上电启动阶段，ILIM 管脚为 10uA 基准电流输出，在外接电阻上产生电压；ADC 测量引脚电压，根据测量值配置限流值。配置完成后，ILIM 引脚可以用作其它功能，如果需要上拉电阻作输出功能，在电路上电阶段需要断开上拉电源。建议最大输出电流低于限流值，通常 $I_{MAX}:I_{LIMIT}=1:1.2$ 。如果 KF4991 输出电流超过设定限流值，则触发过流 (OC) 中断，电路将降低输出电压，告知后接负载减少电流需求。如果维持过流状态，将导致 V_{OUT} 电压降低，增大 RECT 和 OUT 之间电压差，导致芯片温度升高。

表 5. 限流硬件配置表

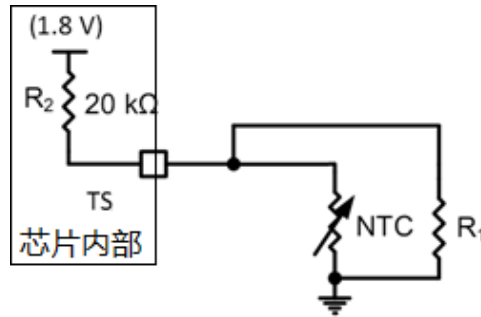
档位	外接电阻	管脚电压范围	限流值
ILIM0	悬空	>1.1V	1200ma
ILIM1	100K	0.9V~1.1V	1000ma
ILIM2	82K	0.72V~0.9V	800ma
ILIM3	62K	0.54V~0.72V	600ma
ILIM4	47K	0.37V~0.54V	400ma
ILIM5	30K	<0.37V	200ma

5.3.4. 过温

芯片内部集成温度检测模块，温度超过 150°C 时，芯片进入高温保护，关闭 OUT 输出，2s 后若温度仍大于 150°C，则发过温 EPT，TX 中断能量传输。若温度小于 150°C，则重新打开 OUT 输出。

另外，电路 TS 管脚内部集成一个 1.8V 电源和 20KΩ 电阻，可外接 NTC 电阻进行测温，用于监控 PCB 板或者线圈表面温度。NTC 电阻串联或并联一个电阻可调节温度跳变点。

图 4. TS 管脚功能框图

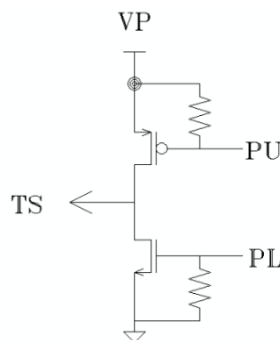


另外，电路 TS 管脚为三态复用管脚，外围可用下图进行接收电路状态设置。

表 6. TS 管脚状态表

PU	PL	TS
1	0	正常测温功能
0	0	TS 拉高超过 1.7V, Charge Complete
1	1	TS 拉低, 指示系统错误

图 5. TS 管脚逻辑框图



5.3.5. 芯片使能

当 ENB 引脚输入高电平，电路复位进入待机模式，INTB 管脚拉低，可用于关闭输出指示信号。电路内部 ENB 下拉到地，悬空或者接地电路正常工作。

5.3.6. 输出稳压模块

KF4991 的稳压模块实现 RECT->OUT 电压的稳定输出，输出电压软件可配，实现 3.5V-6.3V、50mV/步进的电压输出。必须在 OUT 引脚处就近放置 0.1uF 旁路电容。

6. 应用信息

表 7. 推荐工作参数表

符号	参数说明	条件	最小	最大	单位
V_{RECT}	整流电压范围	RECT	3.5	12	V
V_{OUT}	输出电压	OUT	3.5	6	V
I_{OUT}	输出电流			1	A
T_J	芯片温度			125	°C

6.1. RX 无线功率线圈

RX 线圈取决于客户的需求，大多数都是定制设计。以下推荐测量值仅适用于 RX 线圈。

- ◆ $L_s = 11 - 15\mu\text{H}$
- ◆ $\text{DCR} \leq 0.3\Omega$
- ◆ $\text{ACR} \leq 0.4\Omega$

6.2. 谐振电容

串联谐振电容器 (CS1 和 CS2) 是关键器件，必须谨慎选择。所有经过负载的电流加上在 AC-DC 进行整流转换时所损耗的电流都会流过这些器件。推荐的电容是 Murata 的 68nF，在工作频率为 100kHz 时建议 $\text{ESR} < 0.1\Omega$ 。如果选择了其他厂家的电容，是有必要检查这个厂家电容的数据手册中的 ESR 与频率曲线，不仅需要比较 ESR 特性而且还需要关注电容值的直流偏置。建议增加一个额外的未焊接器件的位置 (CS3)，因为某些特殊的线圈可能需要额外的电容。

6.3. 输入电容 (RECT 电容)

RECT 作为 KF4991 主 LDO 的输入端，输入电容 (V_{RECT} 电容) 应尽可能靠近芯片的 RECT 引和 PGND 引脚放置。推荐使用陶瓷电容，因为此类电容的体积更小并且 ESR 可以做的更低。

6.4. 输出电容 (OUT 电容)

为了 KF4991 的输出能够保证最好性能，输出电容对 PGND 引脚的连接应该尽可能的短。因为主 LDO 的输出需要非常低 ESR 的电容来滤波稳压，所以和 RECT 端一样，输出电容推荐使用陶瓷电容，以获得最好的性能。为了更好的输出瞬态响应，可以增加输出电容的数量，以满足不同方案应用中的输出不断切换目标负载。(RECT 端的输入电容的数量相应也要同时增加)

6.5. SINK 连接

RECT 到 SINK 的引脚之间需串联一个 50-100 Ω 的电阻，这个电阻的功率需超过 1/4W；在 AC-DC 整流过程中出现 V_{RECT} 瞬态高压时，SINK 引脚内置开关导通接地，通过这个电阻泄放能量来降低 V_{RECT} 。

6.6. FOD 参数配置

INTB 外接电阻到地，电路在上电启动阶段，INTB 管脚为 10 μA 基准电流输出，在外接电阻上产生电压；ADC 测量 INTB 引脚电压，根据 ADC 测量值配置电路的 FOD 参数。配置完成后，INTB 引脚可以用作其它功能，如果需要上拉电阻作输出功能，电路上电阶段需要断开上拉电源。

表 8. FOD 硬件配置表

	外接电阻	管脚电压范围	Power Loss 增益系数
FOD0	悬空	>1.1V	1
FOD1	100K	0.9V~1.1V	1.03
FOD2	82K	0.72V~0.9V	1.06
FOD3	62K	0.54V~0.72V	1.10
FOD4	47K	0.37V~0.54V	1.20
FOD5	30K	<0.37V	1.50

6.7. 应用原理图 A

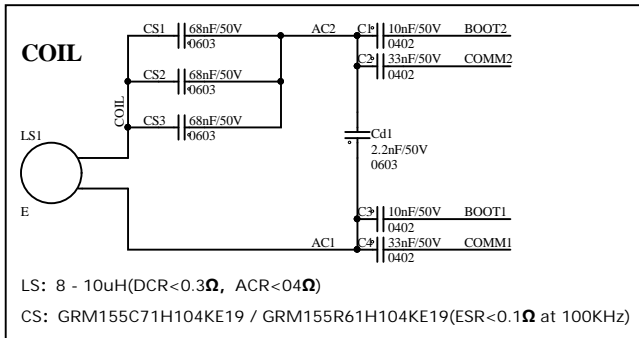
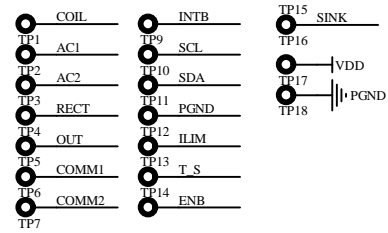
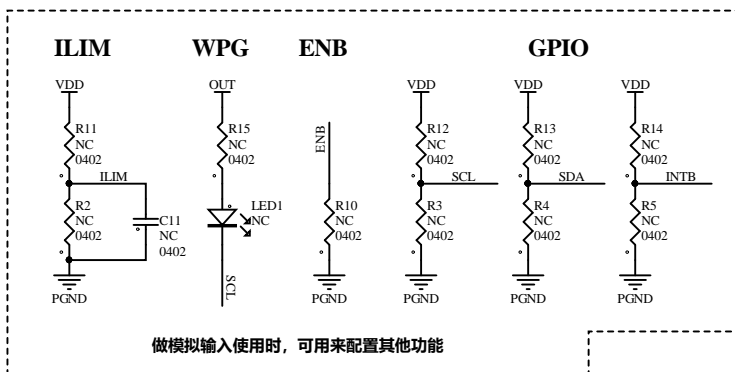
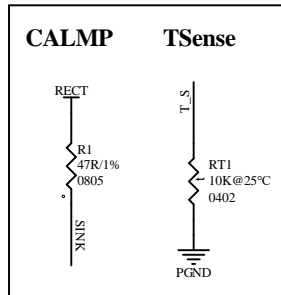
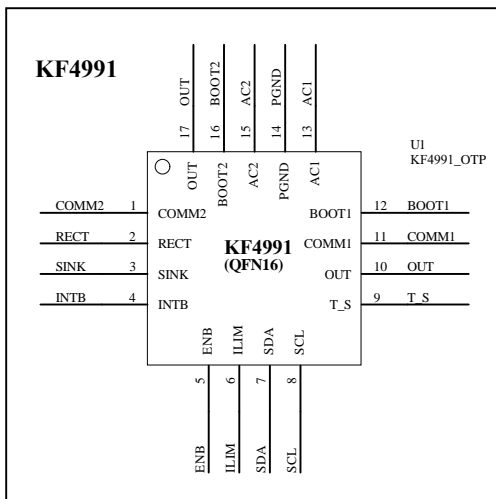
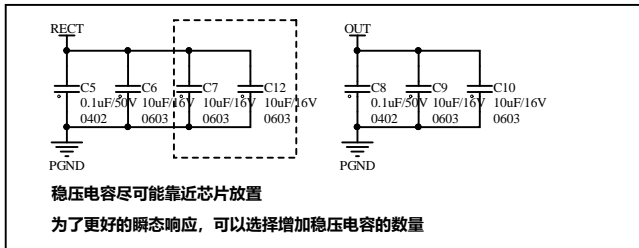


图 6. 典型 Rx 应用原理图



NOTE:

- 1、ENB: “0”: 电路使能
- 2、CLAMP: 钳位功率电阻可选择50-100Ω (功率大于1/4W)
- 3、Optional: 虚线框内器件可选择性删除, 精简BOM
- 4、INTB外部电阻可配置FOD参数
- 5、ILIM外部电阻可配置限流阈值
- 4、芯片底部散热焊盘为OUT网络



6.8. 应用原理图 B

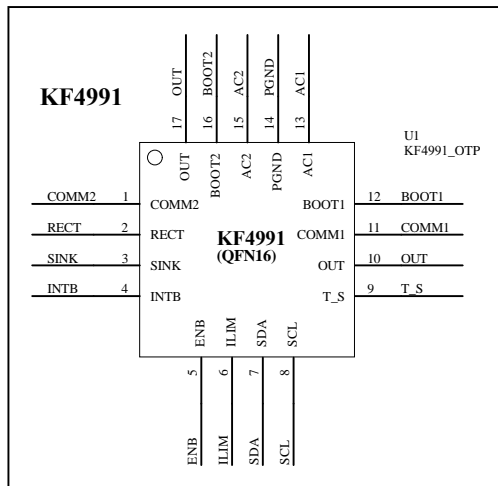
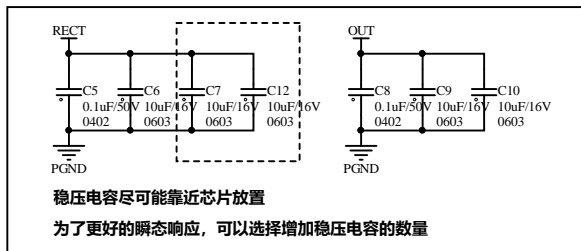
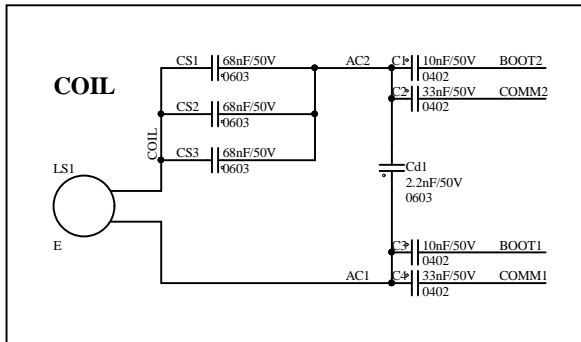
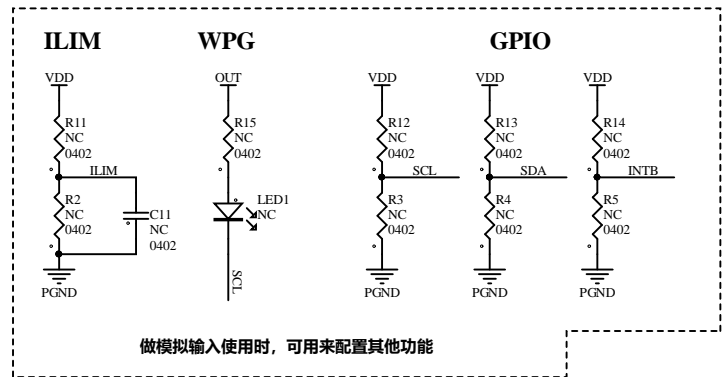
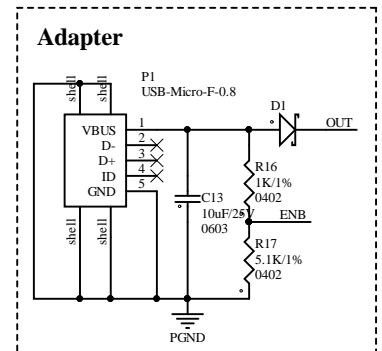
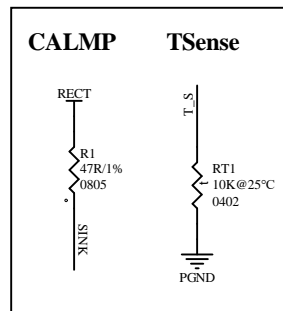
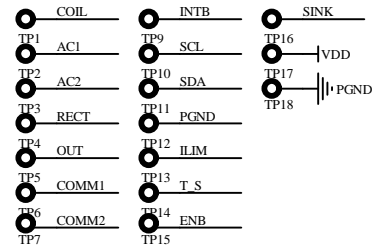


图 7. Rx+Adapter 应用原理图



6.9. PCB 板布局注意事项

一个最优的布局有一点就是所有的器件都放置在板子的同一边, 并且将其他信号层的过孔数量减到最少。和 KF4991 无关的信号线应该尽可能远离芯片布局, 这样可以有效避免从芯片到 PCB 板的散热途径的堵塞, 提升 PCB 的散热性能。这些信号包括从 PCB 底层或者其他靠近地层走的一些信号线。

布局 and PCB 设计对电源管理芯片的功率损耗性能有着很重要的影响, 因为使用表面黏着方式封装的这类芯片很大程度上依赖热传导走线或热焊盘来从封装向外传递热量。因为存在芯片功率损耗的问题, 所以应该使用正确的 PCB 板布局技巧来移除热量。

下面几点常用指南对设计更低热阻的 PCB 会有所帮助:

- ◆ PCB 板上走粗线 (大截面积) 可以有效散热。为了得到更好的散热效果, 可以在板上 KF4991 主芯片一侧对主要功率信号使用大面积的覆铜来代替走线;
- ◆ 如果有区域需要得到最大程度的散热效果, 可以使用双面覆铜平面, 并且使用多个过孔将两个平面连接;
- ◆ 散热过孔是有必要的, 其可以在多层板的内层和底层提供一个散热途径, 可以有效移除芯片因为功率损耗产生的热量

7. 特性曲线

图 8. 系统效曲线图

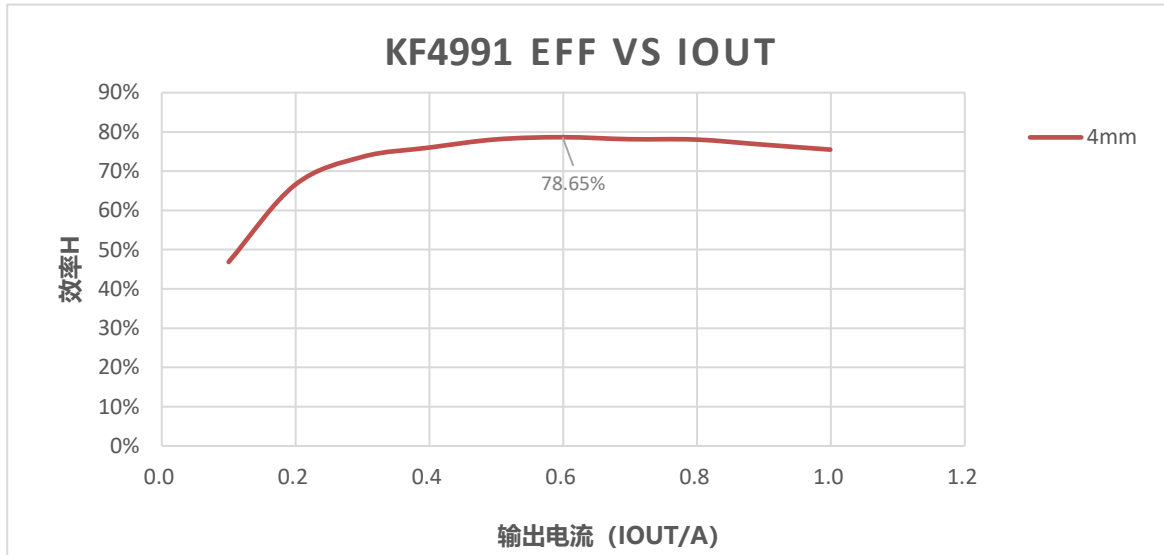


图 9. 5W 满载热成像图

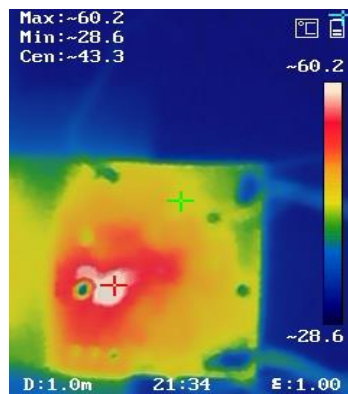
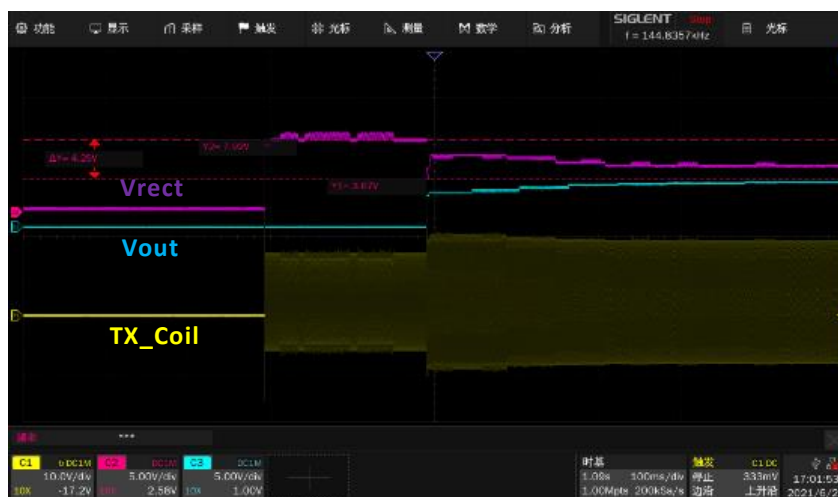
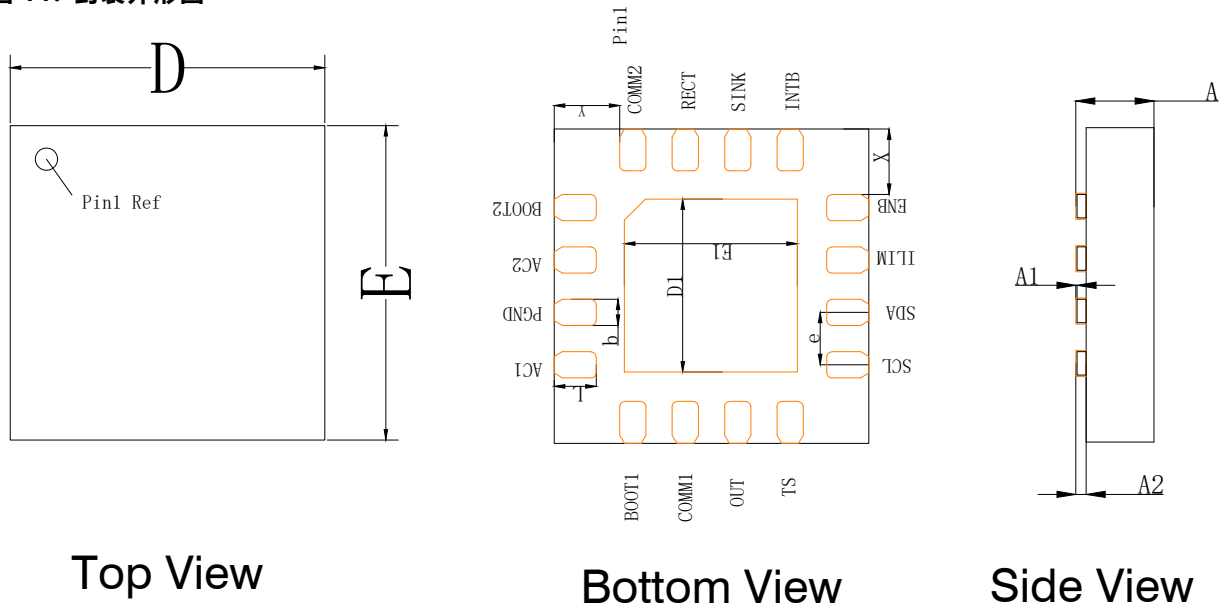


图 10. 5W (5V/1A) 满载启动波形图



8. 封装尺寸与外形图 (单位: mm)

图 11. 封装外形图



Top View

Bottom View

Side View

SYMBOLS	DIMENSION IN MM		
	MIN	NOM	MAX
A	0.500	0.550	0.600
A1	0.007	0.012	0.017
A2	-	0.045	-
D	2.900	3.000	3.100
E	2.900	3.000	3.100
D1	1.600	1.650	1.700
E1	1.600	1.650	1.700
b	0.200	0.250	0.300
e	0.450	0.500	0.550
L	0.350	0.400	0.450
X	0.575	0.625	0.675
Y	0.575	0.625	0.675

UNIT: mm

NOTE

CONTROLLING DIMENSION IS MILLIMETER.

CONVERTED INCH DIMENSIONS ARE NOT NECESSARILY EXACT.



责任及版权申明

深圳市科发鑫电子有限公司有权根据所提供的产品和服务进行更正、修改、增强、改进或其它更改，客户在下订单前应获取最新的相关信息，并验证这些信息是否完整且是最新的。所有产品的销售都遵循在订单确认时所提供的销售条款与条件。

深圳市科发鑫电子有限公司对应用帮助或客户产品设计不承担任何义务。客户应对其使用科发鑫的产品和应用自行负责。为尽量减小与客户产品和应用相关的风险，客户应提供充分的设计与操作安全验证。

客户认可并同意，尽管任何应用相关信息或支持仍可能由科发鑫提供，但他们将独力负责满足与其产品及在其应用中使用科发鑫产品相关的所有法律、法规和安全相关要求。客户声明并同意，他们具备制定与实施安全措施所需的全部专业技术和知识，可预见故障的危险后果、监测故障及其后果、降低有可能造成人身伤害的故障的发生机率并采取适当的补救措施。客户将全额赔偿因在此类关键应用中使用任何科发鑫产品而对科发鑫及其代理造成的任何损失。

对于科发鑫的产品手册或数据表，仅在没有对内容进行任何篡改且带有相关授权、条件、限制和声明的情况下才允许进行复制。科发鑫对此类篡改过的文件不承担任何责任或义务。复制第三方的信息可能需要服从额外的限制条件。

科发鑫会不定期更新本文档内容，产品实际参数可能因型号或者其他事项不同有所差异，本文档不作为任何明示或暗示的担保或授权

在转售科发鑫产品时，如果对该产品参数的陈述与科发鑫标明的参数相比存在差异或虚假成分，则会失去相关科发鑫产品的所有明示或暗示授权，且这是不正当的、欺诈性商业行为。科发鑫对任何此类虚假陈述均不承担任何责任或义务。