

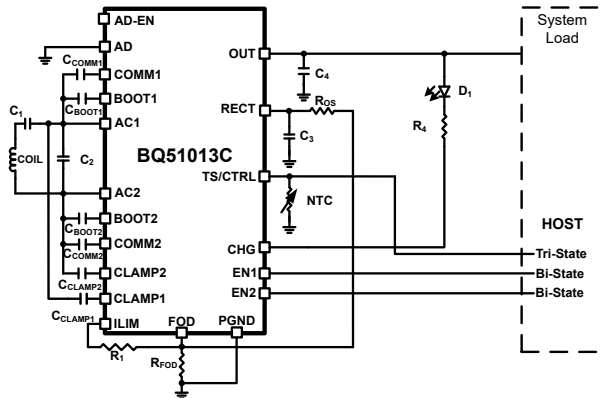
BQ51013C: 符合 Qi (WPC v1.3) 标准的高度集成式无线接收器电源

1 特性

- 集成无线电源接收器解决方案
 - 93% 的整体峰值交流/直流转换效率
 - 完全同步整流器
 - 符合 WPC v1.3 标准的通信控制
 - 输出电压调节
 - 仅在 Rx 线圈和输出之间需要 IC
- 符合无线电源联盟 (WPC) v1.3 标准 (启用 FOD) 的高精度电流检测
- 自适应通信限制功能, 可实现可靠的通信
- 支持 20V 最大输入电压
- 低功率耗散整流器过压钳位 ($V_{OVP} = 15V$)
- 热关断
- 用于温度监控、充电完成和故障主机控制的多功能 NTC 和控制引脚

2 应用

- 符合 WPC v1.3 标准的接收器
- 超声波智能探头
- 耳麦/耳机和耳塞
- 手机和智能电话
- 耳机
- 手持设备



简化版原理图

3 说明

BQ51013C 器件是一款灵活、高级的单芯片次级侧器件, 适用于便携式应用中的无线电源传输, 可提供高达 5W 功率。BQ51013C 器件在集成符合无线电源联盟 (WPC) Qi v1.3 通信协议所需的数字控制的同时提供接收器 (RX) 交流/直流电源转换和调节。BQ51013C 与 BQ500212A 初级侧控制器 (或其他 Qi 发送器) 相结合, 可为无线电源解决方案实现完整的非接触式电源传输系统。使用 Qi v1.3 协议, 在次级侧与初级侧之间建立全局反馈, 从而控制电源传输过程。

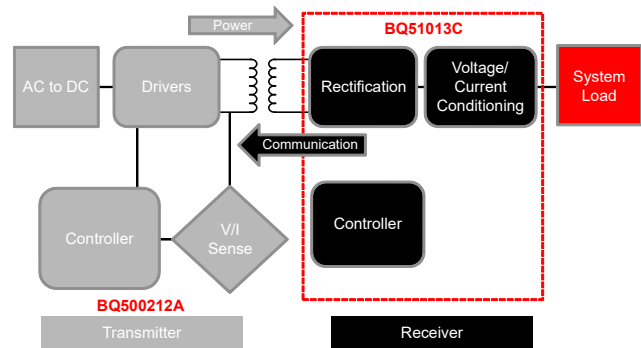
BQ51013C 集成了一个低电阻同步整流器、低压降稳压器 (LDO)、数字控制以及精确的电压和电流环路, 可确保高效率和低功率耗散。

封装信息

器件型号	封装 ⁽¹⁾	封装尺寸 ⁽²⁾	本体尺寸 (标称值)
BQ51013C	RHL (VQFN 20)	4.50mm × 3.50mm	4.50mm × 3.50mm

(1) 有关所有可用封装, 请参阅节 14。

(2) 封装尺寸 (长 × 宽) 为标称值, 并包括引脚 (如适用)。



无线电源系统概述



内容

1 特性	1	8.4 器件功能模式	27
2 应用	1	9 应用和实施	28
3 说明	1	9.1 应用信息.....	28
4 说明 (续)	3	9.2 典型应用.....	28
5 器件比较表	4	10 电源相关建议	36
6 引脚配置和功能	5	11 布局	36
7 规格	7	11.1 布局指南.....	36
7.1 绝对最大额定值.....	7	11.2 布局示例.....	37
7.2 ESD 等级.....	7	12 器件和文档支持	38
7.3 建议运行条件.....	7	12.1 器件支持.....	38
7.4 热性能信息.....	7	12.2 接收文档更新通知.....	38
7.5 电气特性.....	8	12.3 支持资源.....	38
7.6 典型特性.....	11	12.4 商标.....	38
8 详细说明	15	12.5 静电放电警告.....	38
8.1 概述.....	15	12.6 术语表.....	38
8.2 功能方框图.....	16	13 修订历史记录	38
8.3 特性说明.....	16	14 机械、封装和可订购信息	39

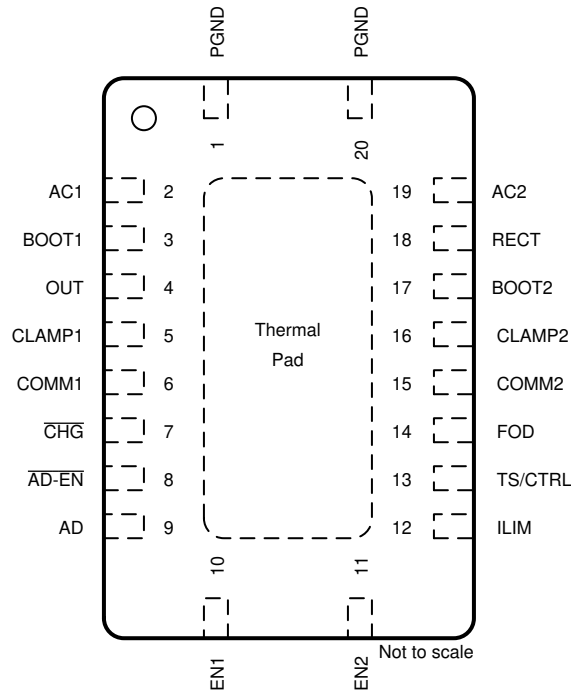
4 说明 (续)

BQ51013C 还包括一个数字控制器，用于计算移动设备接收的电量 (不超过 WPC v1.3 标准设定的限值)。然后，控制器将该信息传输至发送器 (TX)，以便 TX 能够确定磁性界面内是否存在异物以及是否需要提升磁场内的安全级别。该异物检测 (FOD) 方法属于 WPC v1.3 规范中要求的一部分。

5 器件比较表

器件	功能	V _{OUT} (V _{BAT-REG})	最大 P _{OUT}	I ² C
BQ51003	无线接收器	5V	2.5W	否
BQ51013B	无线接收器	5V	5W	否
BQ51013B-Q1	汽车无线接收器	5V	5W	否
BQ51013C-Q1	汽车无线接收器	5V	5W	否
BQ51013C	无线接收器	5V	5W	否
BQ51020	无线接收器	4.5 至 8V	5W	否
BQ51021	无线接收器	4.5 至 8V	5W	是
BQ51050B	无线接收器和直接充电器	4.2V	5W	否
BQ51051B	无线接收器和直接充电器	4.35V	5W	否
BQ51052B	无线接收器和直接充电器	4.4V	5W	否

6 引脚配置和功能



A. 外露散热焊盘应连接到地。

图 6-1. RHL 封装 20 引脚 VQFN 顶视图

表 6-1. 引脚功能

引脚		I/O	说明
名称	编号		
AC1	2	I	来自接收器线圈的交流输入。
AC2	19	I	
AD	9	I	如果使用 AD 功能,则将此引脚连接到有线适配器输入端。当对此引脚施加 $V_{AD-Pres}$ 时,禁用无线充电,且 $\overline{AD_EN}$ 驱动为低电平。在 AD 至 PGND 之间连接一个 $1\mu F$ 电容器。如果未使用,则不需要该电容器,AD 应直接连接到 PGND。
$\overline{AD_EN}$	8	O	当有线充电激活时,用于外部 PFET 的推挽驱动器。未使用时保持悬空。
BOOT1	3	O	用于驱动同步整流器的高侧 FET 的自举电容器。在 BOOT1 和 AC1 之间以及 BOOT2 和 AC2 之间各连接一个 $10nF$ 陶瓷电容器。
BOOT2	17	O	
\overline{CHG}	7	O	开漏输出 - 启用 OUT 时激活。如果未使用,则悬空或连接到 PGND。
CLAMP2	16	O	开漏 FET,用于非功率耗散过压交流钳位保护。当 RECT 电压高于 $15V$ 时,两个开关都将打开且电容器将充当低阻抗来保护器件免受损坏。如果已使用,则使用电容器将 CLAMP1 连接到 AC1,将 CLAMP2 连接到 AC2。建议连接 $0.47\mu F$ 电容器。
CLAMP1	5	O	
COMM1	6	O	开漏输出用于通过改变反射阻抗与主器件进行通信。在 COMM1 和 AC1 之间连接一个电容器并在 COMM2 和 AC2 之间连接一个电容器,以便进行容性负载调制。对于电阻调制,请通过单个电阻器将 COMM1 和 COMM2 连接至 RECT。有关更多信息,请参阅节 8.3.8。
COMM2	15	O	
EN1	10	I	允许用户启用和禁用无线和有线充电 $\langle EN1\ EN2 \rangle$ 的输入: $\langle 00 \rangle$ 除非 AD 电压 $> V_{AD_Pres}$, 否则将启用无线充电。 $\langle 01 \rangle$ 禁用动态通信电流限制。 $\langle 10 \rangle$ $\overline{AD_EN}$ 拉至低电平,禁用无线充电。 $\langle 11 \rangle$ 禁用有线和无线充电。
EN2	11	I	
FOD	14	I	

表 6-1. 引脚功能 (续)

引脚		I/O	说明
名称	编号		
ILIM	12	I/O	用于过流限制的编程引脚。ILIM 到 GND 的总电阻 (R_{ILIM}) 设置电流限制。图 9-1 中显示的原理图将 R_{ILIM} 显示为 $R_1 + R_{FOD}$ 。节 7.5 和图 9-1 提供了详细信息。
OUT	4	O	输出引脚，向负载供电。
PGND	1, 20		电源地
RECT	18	O	用于内部同步整流器的滤波电容器。将一个陶瓷电容器连接到 PGND。根据功率级别，值可能为 $4.7\ \mu F$ 至 $22\ \mu F$ 。
TS/CTRL	13	I	双功能引脚：温度检测 (TS) 和控制 (CTRL) 引脚功能。 要实现 TS 功能，请通过负温度系数 (NTC) 电阻将 TS/CTRL 接地。如果不需要 NTC 功能，请将 $10k\ \Omega$ 电阻器连接到 PGND。有关更多详细信息，请参阅节 8.3.11。 对于 CTRL 功能，拉至低于 $V_{CTRL-Low}$ 或拉至高于 $V_{CTRL-High}$ ，以便发送结束电源传输数据包。有关更多详细信息，请参阅表 8-3。
—	PAD	—	外露散热焊盘应接地 (PGND)

7 规格

7.1 绝对最大额定值

在自然通风条件下的工作温度范围内测得 (除非另有说明) ⁽¹⁾ ⁽²⁾

		最小值	最大值	单位
输入电压	AC1、AC2	-0.8	20	V
	RECT、COMM1、COMM2、OUT、CHG、CLAMP1、CLAMP2	-0.3	20	
	AD、AD-EN	-0.3	30	
	BOOT1、BOOT2	-0.3	26	
	EN1、EN2 ⁽³⁾ 、FOD、TS/CTRL、ILIM	-0.3	7	
输入电流	AC1、AC2		2	A(RMS)
输出电流	OUT		1.5	A
输出灌电流	CHG		15	mA
	COMM1、COMM2		1	A
结温, T _J		-40	150	°C
贮存温度, T _{stg}		-65	150	°C

- (1) 除非另有说明, 否则所有电压均以 VSS 端子为基准。
- (2) 应力超出绝对最大额定值下面列出的值可能会对器件造成永久损坏。这些仅为应力等级, 并不表示器件在这些条件下以及在建议运行条件以外的任何其他条件下能够正常运行。长时间处于绝对最大额定条件下可能会影响器件的可靠性。
- (3) 如果 EN1 或 EN2 受到快速瞬态 (>10V/10ns) 的影响, 则应添加限流电阻 (1kΩ 至 10kΩ)。

7.2 ESD 等级

		值	单位
V _(ESD) 静电放电	人体放电模型 (HBM), 符合 AEC Q100-002 标准 ⁽¹⁾	±2000	V
	充电器件模型 (CDM), 符合 AEC Q100-011 标准	±500	

- (1) AEC Q100-002 指示必须按照 ANSI/ESDA/JEDEC JS-001 规范执行 HBM 应力测试。

7.3 建议运行条件

在自然通风条件下的工作温度范围内测得 (除非另有说明)

			最小值	最大值	单位
V _{RECT} 电压	RECT		4	7	V
I _{RECT} 通过内部整流器的电流	RECT			1.5	A
I _{OUT} 输出电流	OUT			1.5	A
V _{AD} 适配器电压	AD			15	V
I _{AD-EN} 灌电流	AD-EN			1	mA
I _{COMM} COMMx 灌电流	COMM1、COMM2			500	mA
T _J 结温			0	125	°C

7.4 热性能信息

热指标 ⁽¹⁾		BQ51013C	单位
		RHL (VQFN)	
		20 引脚	
R _{θJA} 结至环境热阻		37.2	°C/W
R _{θJC(top)} 结至外壳 (顶部) 热阻		30.0	°C/W

7.4 热性能信息 (续)

热指标 ⁽¹⁾		BQ51013C	单位
		RHL (VQFN)	
		20 引脚	
$R_{\theta JB}$	结至电路板热阻	14.0	°C/W
ψ_{JT}	结至顶部特征参数	0.4	°C/W
ψ_{JB}	结至电路板特征参数	13.9	°C/W
$R_{\theta JC(bot)}$	结至外壳 (底部) 热阻	3.3	°C/W

(1) 有关新旧热指标的更多信息, 请参阅 [半导体和 IC 封装热指标](#) 应用报告。

7.5 电气特性

在自然通风条件下的工作温度范围内 (- 40°C 至 125°C) 测得 (除非另有说明)

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
V_{UVLO}	欠压锁定	$V_{RECT} : 0V \rightarrow 3V$	2.5	2.7	2.8	V
$V_{HYS-UVLO}$	UVLO 的迟滞	$V_{RECT} : 3V \rightarrow 2V$		0.25		V
$V_{RECT-OVP}$	输入过压阈值	$V_{RECT} : 5V \rightarrow 16V$	14.5	15	15.5	V
$V_{HYS-OVP}$	OVP 的迟滞	$V_{RECT} : 16V \rightarrow 5V$		0.15		V
$V_{RECT-Th4}$	动态 V_{RECT} 阈值 4	$I_{LOAD} > 0.4 \times I_{MAX}$ (I_{LOAD} 上升)		5.11		V
$V_{RECT-DPM}$	整流器欠压保护, 在 $V_{RECT-DPM}$ 处限制 I_{OUT}		3	3.1	3.2	V
$V_{RECT-REV}$	输出端的整流器反向电压保护	$V_{RECT-REV} = V_{OUT} - V_{RECT}$, $V_{OUT} = 10V$	7	8	9	V
静态电流						
I_{RECT}	来自 RECT 的有源芯片静态电流消耗	$I_{LOAD} = 0mA, 0^\circ C \leq T_J \leq 85^\circ C$		8	10	mA
		$I_{LOAD} = 300mA, 0^\circ C \leq T_J \leq 85^\circ C$		2	3	mA
I_{OUT}	禁用无线电源 (待机) 时输出端的静态电流	$V_{OUT} = 5V, 0^\circ C \leq T_J \leq 85^\circ C$		20	35	μA
I_{LIM} 短路						
$R_{ILIM-SHORT}$	I_{LIM} 对地电阻的最大值 (R_{ILIM}) 视为故障 (短路)。监测 $I_{OUT} > 100mA$	$R_{ILIM} : 200\Omega \rightarrow 50\Omega$ 。 I_{out} 会锁闭, 进行上电下来复位			120	Ω
$t_{DGL-Short}$	从 I_{LIM} 短路转换到 I_{OUT} 禁用的抗尖峰脉冲时间			1		ms
$I_{LIM_SHORT,OK}$	当 I_{OUT} 大于此值时, $I_{LIM-SHORT,OK}$ 会启用 I_{LIM} 短路比较器	$I_{LOAD} : 0mA \rightarrow 200mA$	116	145	165	mA
$I_{LIM_SHORT,OK HYST}$	$I_{LIM-SHORT,OK}$ 比较器的迟滞	$I_{LOAD} : 0mA \rightarrow 200mA$		30		mA
I_{OUT}	最大输出电流限制, C_L	当 I_{LIM} 短接时将在 1ms 内提供的最大 I_{LOAD}			2450	mA
输出						
$V_{OUT-REG}$	经稳压调节的输出电压	$I_{LOAD} = 1000mA$	4.92	5.00	5.04	V
		$I_{LOAD} = 10mA$	4.94	5.01	5.06	
K_{ILIM}	用于硬件保护的电流编程系数	$R_{ILIM} = K_{ILIM} / I_{ILIM}$, 其中 I_{ILIM} 是硬件电流限制。 $I_{OUT} = 1A$	285	314	321	A Ω
K_{IMAX}	标称工作电流的电流编程系数	$I_{IMAX} = K_{IMAX} / R_{ILIM}$, 其中 I_{MAX} 是最大正常工作电流。 $I_{OUT} = 1A$		262		A Ω

7.5 电气特性 (续)

在自然通风条件下的工作温度范围内 (- 40°C 至 125°C) 测得 (除非另有说明)

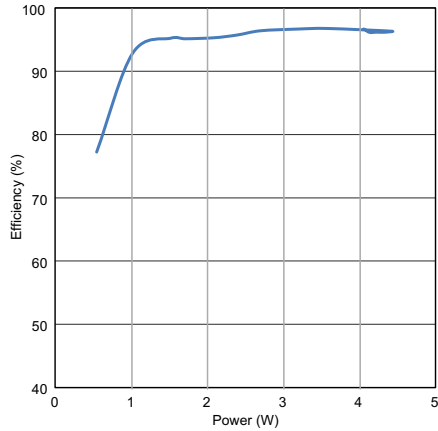
参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
I _{OUT}	电流限制编程范围				1500	mA
I _{COMM}	WPC 通信期间的电流限制	I _{OUT} > 300mA		I _{OUT} + 50		mA
		I _{OUT} < 300mA	320	380	440	mA
t _{HOLD}	启动期间通信电流限制的延缓时间			1		s
TS/CTRL 功能						
V _{TS-Bias}	内部 TS 偏置电压 (V _{TS} 是 TS/CTRL 引脚上的电压, V _{TS-Bias} 是内部偏置电压)	I _{TS-Bias} < 100μA (定期驱动, 请参阅 t _{TS/CTRL})	2	2.2	2.4	V
V _{COLD}	上升阈值	V _{TS-Bias} : 50% → 60%	56.5	58.7	60.8	%V _{TS-Bias}
V _{COLD-Hyst}	下降迟滞	V _{TS-Bias} : 60% → 50%		2		%V _{TS-Bias}
V _{HOT}	下降阈值	V _{TS-Bias} : 20% → 15%	18.5	19.6	20.7	%V _{TS-Bias}
V _{HOT-Hyst}	上升迟滞	V _{TS-Bias} : 15% → 20%		3		%V _{TS-Bias}
V _{CTRL-High}	CTRL 引脚上的高电平电压		0.2		5	V
V _{CTRL-Low}	CTRL 引脚上的低电平电压		0		0.05	mV
t _{TS/CTRL-Meas}	TS/CTRL 测量的时间周期 (在内部驱动 V _{TS-Bias} 时)	与通信周期同步		24		ms
t _{TS-Deglintch}	所有 TS 比较器的抗尖峰脉冲时间			10		ms
R _{TS}	NTC 网络的上拉电阻。上拉至 V _{TS-Bias}		18	20	22	kΩ
热保护						
T _{J-SD}	热关断温度			155		°C
T _{J-Hys}	热关断迟滞			20		°C
CHG 上的输出逻辑电平						
V _{OL}	开漏 CHG 引脚	I _{SINK} = 5mA			500	mV
I _{OFF}	禁用时的 CHG 漏电流	V _{CHG} = 20V			1	μA
COMM 引脚						
R _{DS(ON)}	COMM1 和 COMM2	V _{RECT} = 2.6V		1.5		Ω
I _{OFF}	COMMx 引脚漏电流	V _{COMM1} = 20V, V _{COMM2} = 20V			1	μA
钳位引脚						
R _{DS(ON)}	CLAMP1 和 CLAMP2			0.8		Ω
适配器使能						
V _{AD-Pres}	V _{AD} 上升阈值电压	V _{AD} 0V → 5V	3.5	3.6	3.8	V
V _{AD-PresH}	V _{AD} 迟滞	V _{AD} 5V → 0V		400		mV
I _{AD}	输入漏电流	V _{RECT} = 0V, V _{AD} = 5V			60	μA
R _{AD}	禁用适配器模式且 V _{OUT} > V _{AD} 、EN-OUT 时从 AD-EN 到 OUT 的上拉电阻	V _{AD} = 0V, V _{OUT} = 5V		200	350	Ω
V _{AD-Diff}	启用适配器模式时, V _{AD} 和 V _{AD-EN} 之间的电压差	V _{AD} = 5V, 0°C ≤ T _J ≤ 85°C	3	4.5	5	V
同步整流器						
I _{OUT-SR}	同步整流器进入半同步模式 SYNC_EN 时的 I _{OUT}	I _{LOAD} 200mA → 0mA	80	100	135	mA
I _{OUT-SRH}	I _{OUT,SR} 的迟滞 (启用完全同步模式)	I _{LOAD} 0mA → 200mA		30		mA
V _{HS-DIODE}	整流器处于半同步模式时的高侧二极管压降	I _{AC-VRECT} = 250mA 且 T _J = 25°C		0.7		V
EN1 和 EN2						

7.5 电气特性 (续)

在自然通风条件下的工作温度范围内 (- 40℃ 至 125℃) 测得 (除非另有说明)

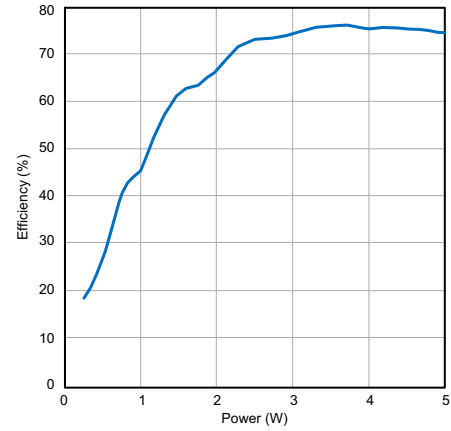
参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
V _{IL}	EN1 和 EN2 的输入低电平阈值				0.4	V
V _{IH}	EN1 和 EN2 的输入高电平阈值		1.3			V
R _{PD}	EN1 和 EN2 下拉电阻			200		kΩ
ADC (与 WPC 相关的测量值和系数)						
IOUT 检测	负载范围内的电流检测精度	IOUT = 750mA - 1000mA	-1.5%	0%	0.9%	

7.6 典型特性



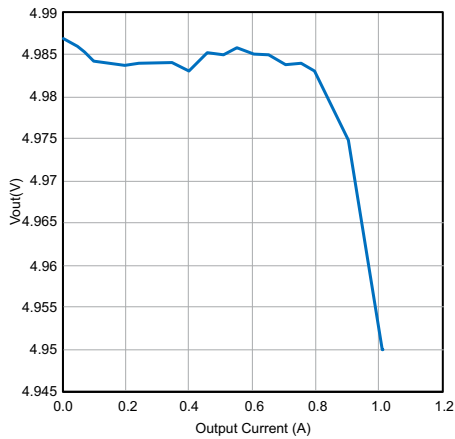
输入：RX 交流电源 输出：RX RECT 电源
效率：输出功率/输入功率

图 7-1. 整流器效率



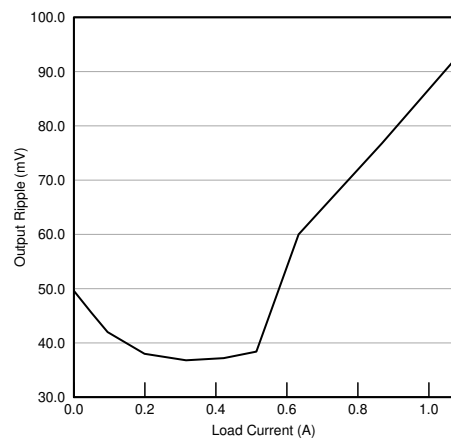
输入：TX 直流电源 输出：RX RECT 电源
效率：输出功率/输入功率

图 7-2. 从直流输入到直流输出的系统效率



最大电流 = 1A

图 7-3. 负载电流对输出电压的影响



$C_{OUT} = 1\mu f$

不进行通信

图 7-4. 负载电流对输出纹波的影响

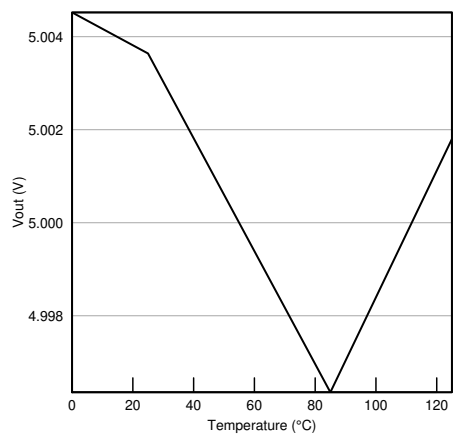


图 7-5. V_{OUT} 与温度间的关系

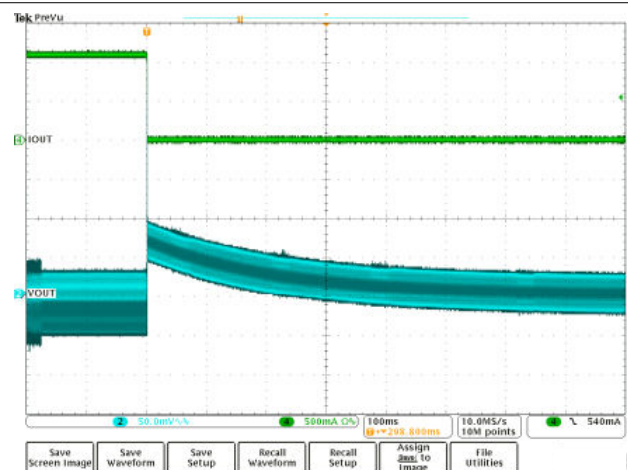


图 7-6. 1A 瞬时负载突降 (2)

7.6 典型特性 (续)

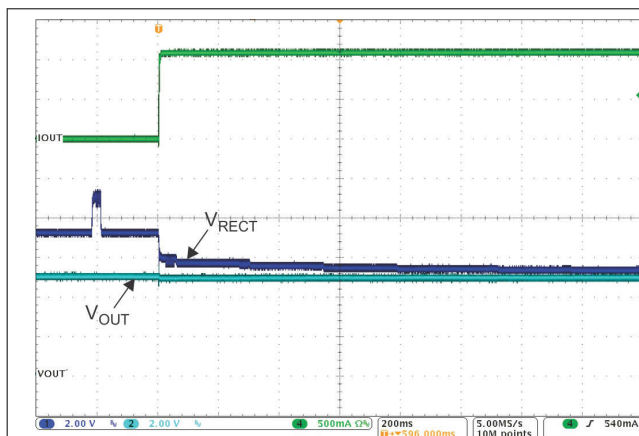


图 7-7. 1A 负载阶跃完整系统响应

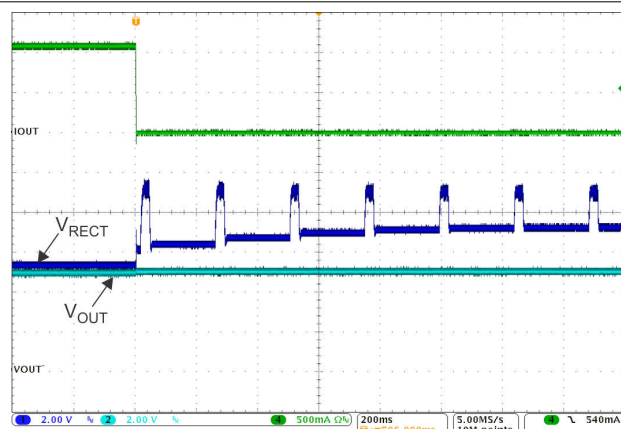


图 7-8. 1A 负载突降完整系统响应

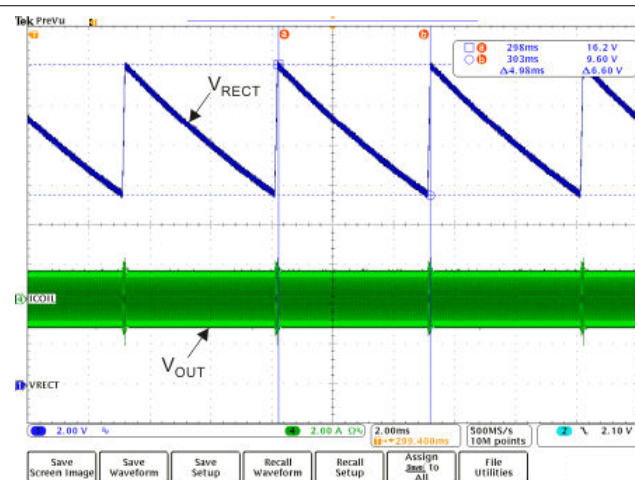
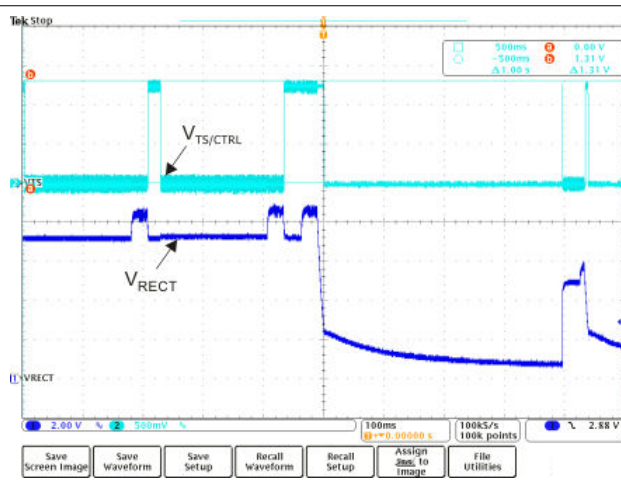
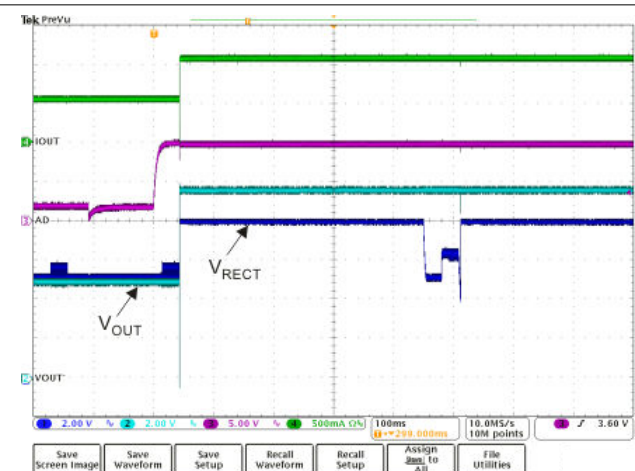
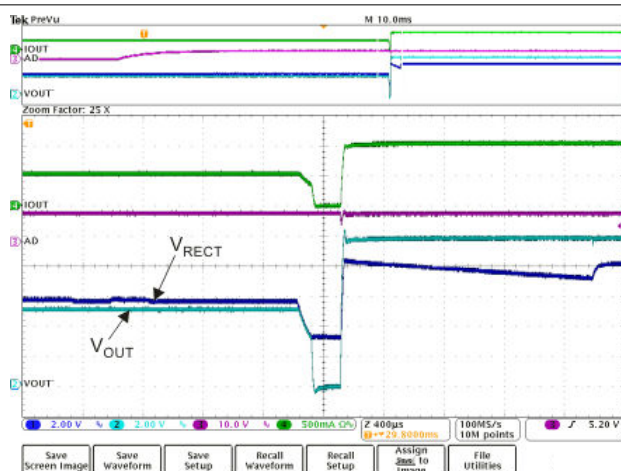
图 7-9. 整流器过压钳位 ($f_{op} = 110\text{kHz}$)

图 7-10. TS 故障

图 7-11. 适配器插入 ($V_{AD} = 10\text{V}$)图 7-12. 适配器插入 ($V_{AD} = 10\text{V}$) 说明了先断后合操作

7.6 典型特性 (续)

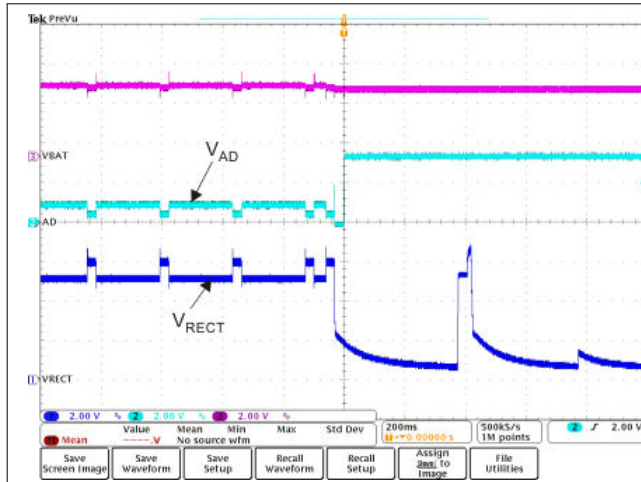


图 7-13. 启用 On-the-Go ($V_{OTG} = 3.5V$) ⁽³⁾

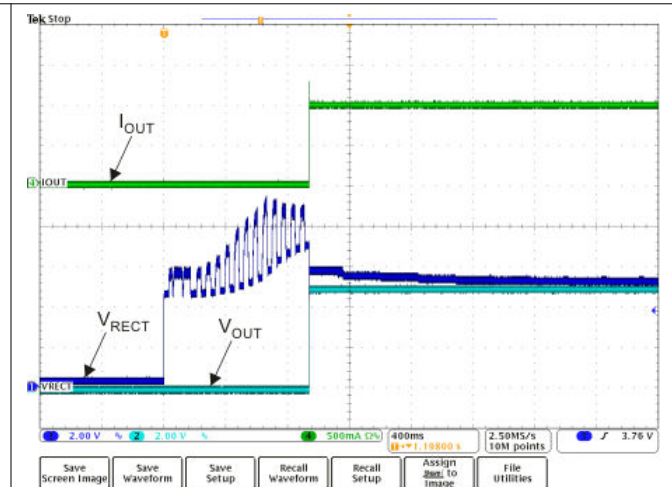


图 7-14. BQ51013C 在 1A 系统负载下的典型启动

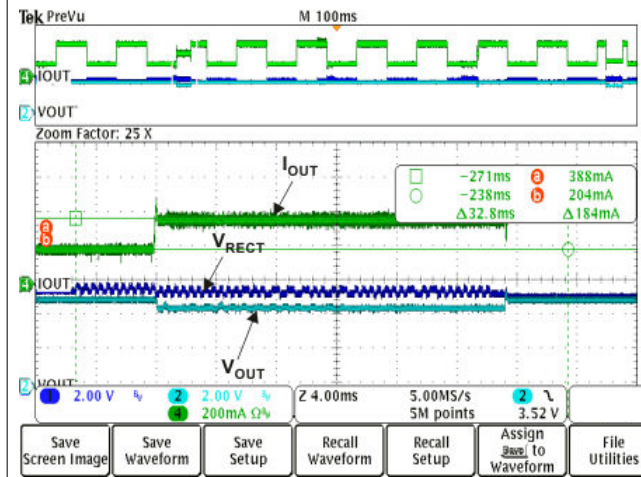


图 7-15. 启用 400mA 电流限制 ($I_{OUT-DC} < 300mA$) 时的自适应通信限制事件

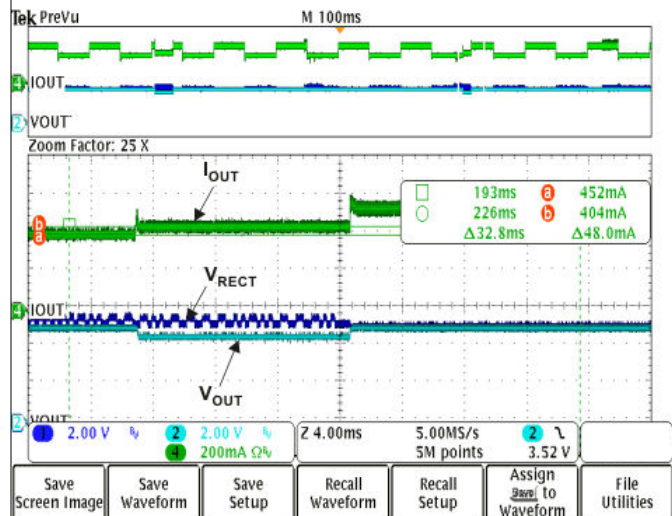
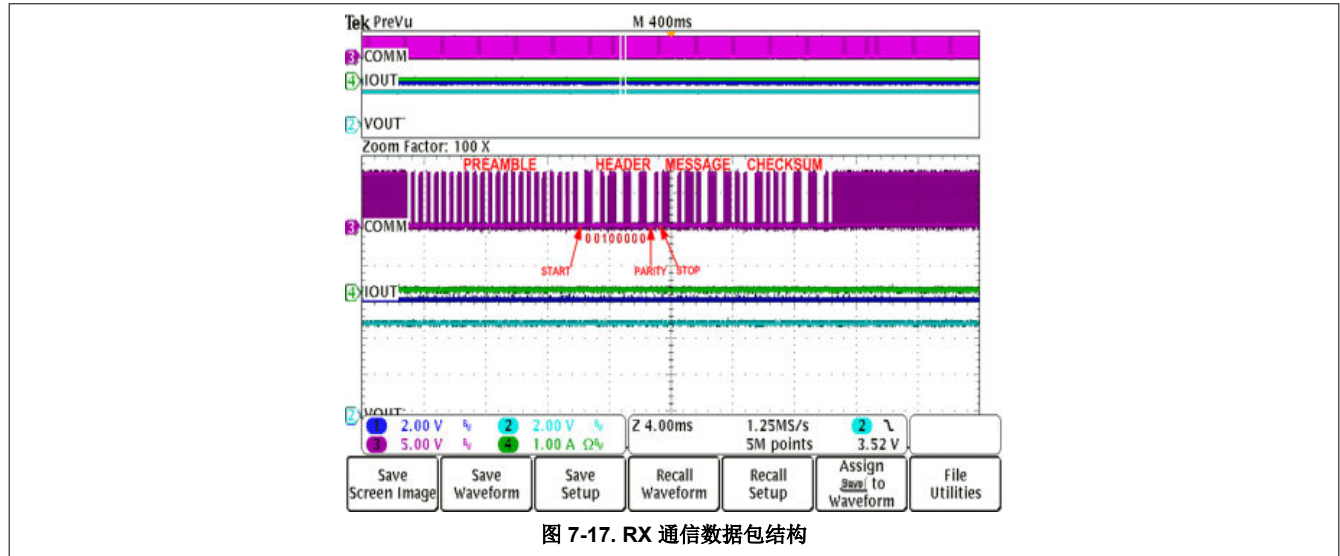


图 7-16. 电流限制为 $I_{OUT} + 50mA$ ($I_{OUT-DC} > 300mA$) 时的自适应通信限制事件

7.6 典型特性 (续)



1. 从发送器的直流输入到接收器的直流输出测得的效率。这些测量值均使用 BQ500210EVM-689 TX 测得。如果使用了备用 TX，测量值可能会发生变化。
2. 输出端的总压降取决于接收器线圈设计。输出阻抗必须足够低（在该特定工作频率下），以免整流器的电压降到 5V 以下。
3. 通过将 EN1 驱动为高电平来启用 On-the-Go 模式。在此测试中，外部 PMOS 连接在 BQ51013C 器件的输出与 AD 引脚之间；因此，输出端的任何电压源都会供应到 AD 引脚。

8 详细说明

8.1 概述

无线系统包括充电板（发送器、TX 或初级侧）和次级侧设备（接收器、RX 或次级侧）。充电板和次级侧设备中各有一个线圈，当次级侧放置在初级侧之上时，这两个线圈通过磁性耦合连接。电源通过耦合的电感器（实际上是一个空气磁芯变压器）从发送器传输至接收器。通过向初级侧发送反馈（错误信号）通信（来提高或降低电量），从而实现对传输电量的控制。

接收器通过改变发送器所感知的负载来与发送器通信。这个负载变化会导致发送器线圈电流发生变化，而发送器线圈电流由充电板中的处理器进行测量和解读。通信以数字方式进行；数据包从接收器传输到发送器。数据包采用差分双相编码。位速率为 2kbps。

定义的通信数据包有多种类型，其中包括识别和认证数据包、错误数据包、控制数据包、结束电源数据包和电源使用数据包。

发送器线圈在大部分时间内保持断电状态。它偶尔会被唤醒以查看是否有接收器。当接收器向发送器验证自己的身份时，发送器会保持通电状态。接收器使用通信数据包保持对电源传输的完全控制。

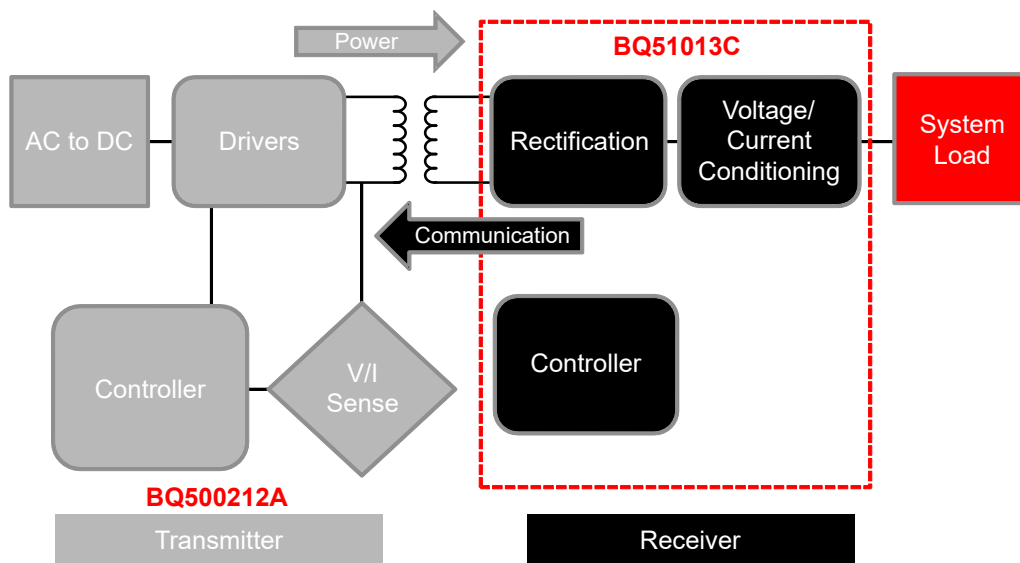
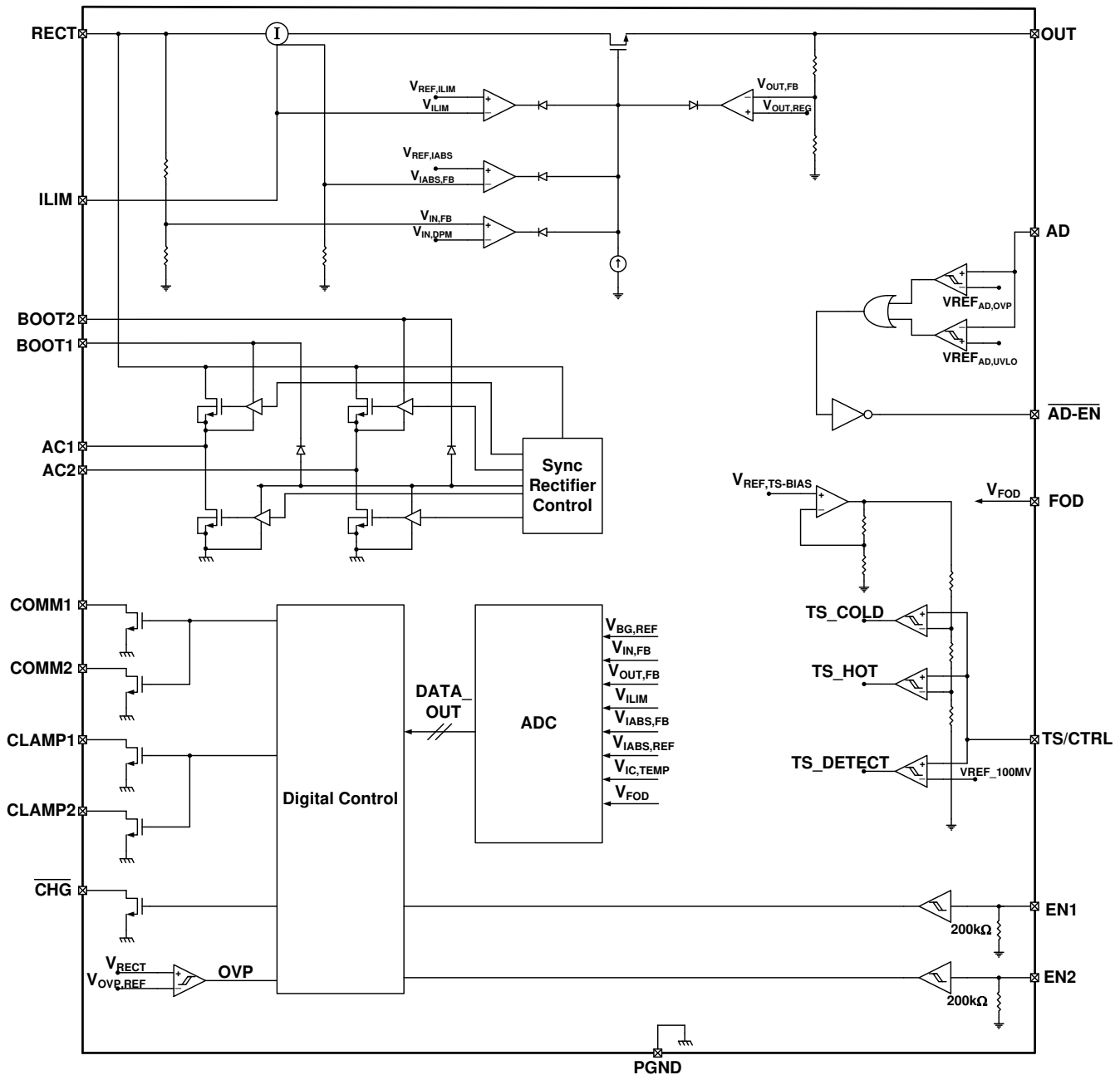


图 8-1. 指示 BQ51013C 功能集成的 WPC 无线电源系统

8.2 功能方框图



8.3 特性说明

8.3.1 Qi 无线电源系统详细信息和 BQ51013C 电源传输流程图

为了简化接收器设计，BQ51013C 集成了完全符合 WPC v1.3 的通信算法（无需额外的软件开发）。本节举例说明从启动到活动运行的无线电源传输流程图，简要概述了这些特性。

在启动运行期间，无线电源接收器必须遵循适当的握手协议，才能从 TX 获得电源合约。TX 将通过发送扩展数字 ping 来启动握手过程。如果 TX 表面上存在 RX，则 RX 将向 TX 提供信号强度、配置和识别数据包（有关每个数据包的详细信息，请参阅 WPC 规范的第 1 卷）。这些是发送到 TX 的前三个数据包。唯一的例外是，如果在 EN1/EN2、AD 或 TS/CTRL 引脚上存在真正的关断条件，RX 将立即关闭 TX。有关详细信息，请参阅表 8-3。

TX 成功接收到信号强度、配置和识别数据包后，将向 RX 授予电源合约，然后允许 RX 控制电源传输的工作点。有关启动流程图的详细信息，请参阅图 8-2。

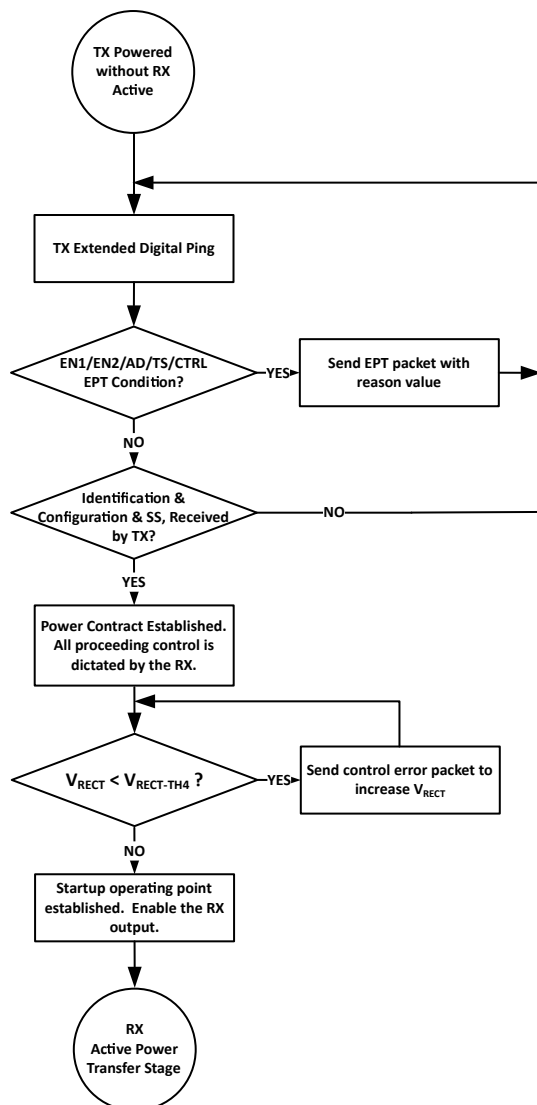


图 8-2. 无线电源启动流程图

确立启动程序后，RX 进入活动电源传输阶段。这被视为运行的“主环路”。RX 会发送控制错误数据包，以便收敛于这些目标。随着输出电流变化，整流器电压目标会动态变化。WPC 系统的反馈环路相对较慢，收敛到新的整流器电压目标需要长达 90ms 的时间。应该理解的是，系统的瞬时瞬态响应是开环的，并且取决于在该工作点上 RX 线圈的输出阻抗。“主环路”还确定表 8-3 中的任何条件是否为真，以便停止电源传输。请参阅图 8-3，其中说明了活跃电源传输环路。

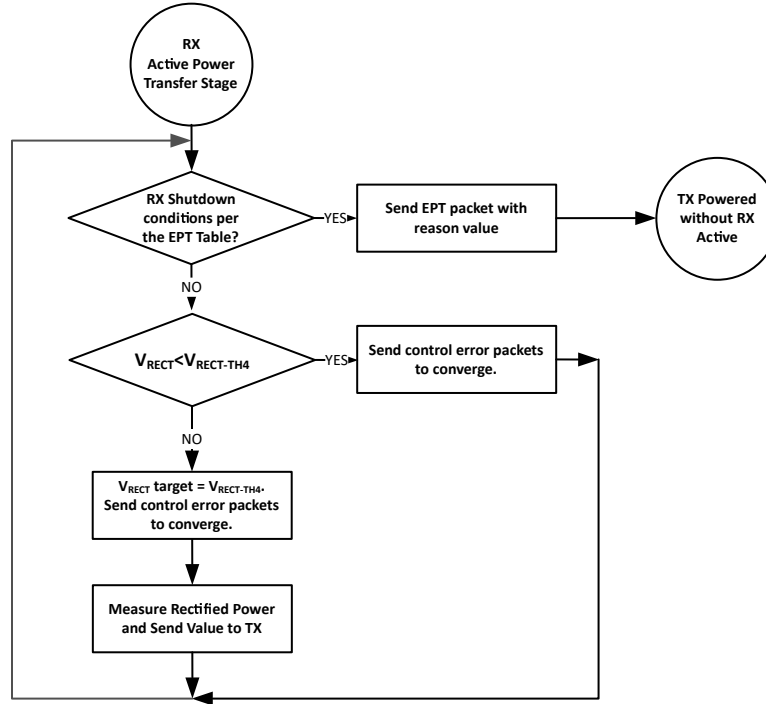


图 8-3. 活跃电源传输流程图

WPC v1.3 规范的另一项要求是发送测得的接收功率。在器件上启用此任务，测量 FOD 引脚上的电压（与输出电流成正比），并且可以根据 FOD 引脚上接地电阻选择进行调节。

8.3.2 R_{ILIM} 计算

BQ51013C 包括一种通过模拟电流调节环路提供硬件过流保护的方法。硬件电流限制通过钳制允许的最大输出电流（电流合规性），提供了额外一层安全性。总 R_{ILIM} 电阻的计算公式如下：

$$R_{ILIM} = \frac{K_{IMAX}}{I_{MAX}}$$

$$I_{ILIM} = 1.2 \times I_{MAX} = \frac{K_{ILIM}}{R_{ILIM}}$$

$$R_{ILIM} = R_1 + R_{FOD} \quad (1)$$

其中

- I_{MAX} 是正常运行期间的预期最大输出电流。
- I_{ILIM} 是硬件过流限制。

参考图 9-1 中所示的应用图时， R_{ILIM} 是 R_{FOD} 和 R_1 的总和（ $ILIM$ 引脚到 GND 的总电阻）。

8.3.3 输入过压

如果输入电压的电势突然增加（例如，由于充电板上设备的位置发生变化），BQ51013C 内的电压控制环路会激活，防止输出超过 $V_{OUT-REG}$ 。然后，接收器开始每 30ms 向发送器发送一次错误数据包，直到输入电压回到 $V_{RECT-REG}$ 目标，然后每 250ms 保持一次错误通信。

如果输入电压的电势增大至超过 $V_{RECT-OVP}$ ，则器件会关闭 LDO 并传达至主器件，以使电压恢复到 $V_{RECT-REG}$ 。此外，通过 C_{CLAMP1} 和 C_{CLAMP2} 激活的专有电压保护电路可保护器件免受超过器件最大额定值的电压影响。

8.3.4 适配器使能功能和 EN1/EN2 控制

图 9-4 是一个示例应用，展示了用作无线电源接收器的 BQ51013C，此接收器可以在有线电源和无线电源之间进行切换，为下游电子设备供电。在默认工作模式下，引脚 EN1 和 EN2 为低电平，这会激活适配器使能功能。在此模式下，如果不存在适配器，则 AD 引脚将处于低电平，并且 AD-EN 引脚会拉至 OUT 和 AD 引脚中的较高者，以便关闭 OUT 和 AD 之间的 PMOS。如果插入了适配器，且 AD 引脚上的电压高于 V_{AD-EN} ，则会禁用无线充电，并且 AD-EN 引脚将拉至比 AD 引脚低大约 V_{AD} ，以便将 AD 连接至辅助充电器。将 AD 和 AD-EN 之间的差值调节为 $V_{AD-Diff}$ 的最大值，以便确保外部 PMOS 的 V_{GS} 受到保护。

EN1 和 EN2 引脚包括内部下拉电阻器 (R_{PD})，因此如果未连接这些引脚，BQ51013C 默认为 AD-EN 控制模式。但这些引脚可以拉高以启用其他工作模式。如果引脚拉高或由驱动器控制，并且受到高于 ~8V 的快速瞬态 (>10V/10ns) 影响，则建议添加与引脚串联的限流电阻 (1k Ω 至 10k Ω)。请参阅表 8-1：

表 8-1. 适配器使能功能

EN1	EN2	结果
0	0	启用适配器控制。如果存在适配器，则辅助充电器由适配器供电，否则当无线电源可用时会启用无线充电。启用通信电流限制。
0	1	禁用通信电流限制。
1	0	无论是否存在适配器电压，AD-EN 都会拉至低电平。此特性可用于 USB OTG 应用。
1	1	禁用适配器和无线充电，在此模式下 OUT 引脚不会供电。

表 8-2. EN1/EN2 控制

EN1	EN2	无线电源	有线电源	OTG 模式	自适应通信限制	EPT
0	0	启用	优先级 ⁽¹⁾	禁用	启用	未发送到 TX
0	1	优先级 ⁽¹⁾	启用	禁用	禁用	未发送到 TX
1	0	禁用	启用	启用 ⁽²⁾	不适用	EPT 0x00，未知
1	1	禁用	禁用	禁用	不适用	EPT 0x01，充电完成

- (1) 如果同时存在有线电源和无线电源，则根据 EN2 设定有线或无线的优先级。
(2) 允许通过外部背对背 PMOS FET 将升压回升电源从 RX 的输出端子驱动到适配器端口。

如表 8-2 所述，当 EN1 为低电平时，有线电源和无线电源均可用。如果两者都存在，则通过 EN2 设定有线和无线的优先级。当 EN1 为高电平时，禁用无线电源，通过 EN2 设置有线电源功能。当 EN1 为高电平但 EN2 为低电平时，启用有线电源 (如果存在)。此外，USB OTG 模式激活。在 USB OTG 模式下，连接到 OUT 引脚的充电器可为 AD 引脚供电。请注意，必须从有效源 (微控制器) 将 EN1 拉至高电平。最后，将 EN1 和 EN2 拉至高电平会禁用有线和无线充电。

备注

需要在 AD 和 OUT 之间连接一个背对背 PMOS，以便在两个方向上阻断电压。此外，启用 AD 模式时，不能从 RECT 引脚拉取任何负载，因为这可能会导致 BQ51013C 内部器件过压。

8.3.5 结束电源传输数据包 (WPC 标头 0x02)

WPC 允许接收器使用一条特殊命令来终止来自发送器的电源传输，这称为结束电源传输 (EPT) 数据包。表 8-3 列出了 v1.3 消息列及其对应的数据字段值。条件列对应于 BQ51013C 发送等效消息所用的方法。

表 8-3. 结束电源传输数据包

消息	值	条件
未知	0x00	$AD > V_{AD-Pres}$ ，或 $\langle EN1\ EN2 \rangle = \langle 10 \rangle$ ，或 $TS/CTRL > V_{CTRL-High}$ ，或 $TS > V_{COLD}$
充电完成	0x01	$\langle EN1\ EN2 \rangle = \langle 11 \rangle$
内部故障	0x02	$T_J > 150^{\circ}\text{C}$ 或 $R_{ILIM} < 100\Omega$
过热	0x03	$TS < V_{HOT}$ 或 $TS/CTRL < V_{CTRL-Low}$
过压	0x04	V_{RECT} 目标不收敛
过流	0x05	未发送
电池故障	0x06	未发送
Reconfigure	0x07	未发送
无响应	0x08	未发送

8.3.6 状态输出

BQ51013C 有一个状态输出 $\overline{\text{CHG}}$ 。此输出是额定电压为 20V 的开漏 NMOS 器件。只要启用电源的输出，连接到 $\overline{\text{CHG}}$ 引脚的开漏 FET 就会导通。如果 $V_{RECT-REG}$ 在空载目标电压下不收敛，则不会启用电源的输出。

8.3.7 WPC 通信方案

WPC 通信使用一种称为“反向散射调制”的调制技术，接收器线圈动态加载，来实现对发送器线圈电压和电流的振幅调制。这一方案之所以可行，是因为两个松散耦合的电感器之间的基本行为（此处指的是 TX 线圈和 RX 线圈之间的关系）。可以通过在整流器的输出端接入和断开电阻器，或通过在 AC1/AC2 网络上接入和断开电容器来实现这种类型的调制。图 8-4 展示了如何实现电阻调制。

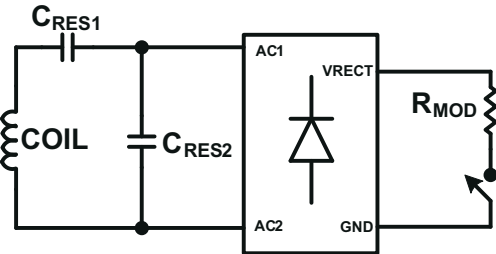


图 8-4. 电阻调制

图 8-5 展示了如何实现电容调制。

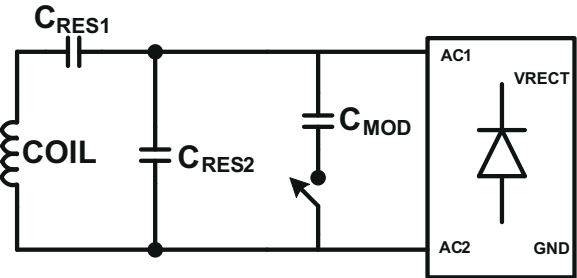


图 8-5. 电容调制

发送器的解码器可检测到 TX 线圈电压或电流的幅度变化。图 8-6 展示了 TX 观察到的生成信号。

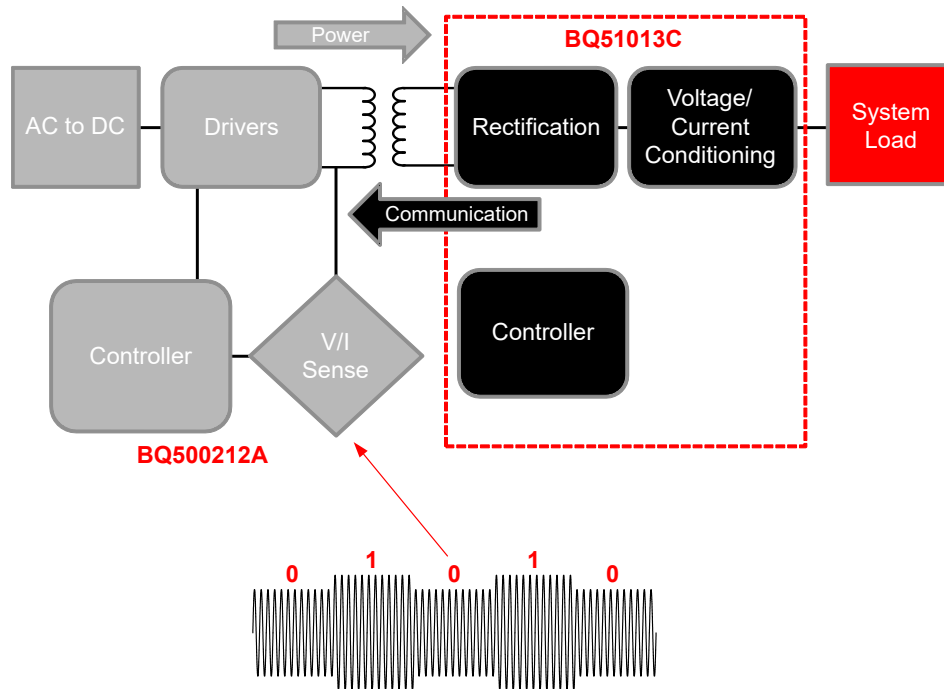


图 8-6. TX 线圈电压/电流

WPC 协议使用差分双相编码方案将数据位调制到 TX 线圈电压/电流。每个数据位以 0.5ms (t_{CLK}) 的完整周期对齐，或对应于 2kHz 的频率。已编码的一在位周期内引起两次转换，而已编码的零引起一次转换。有关差分双相编码的示例，请参阅图 8-7。

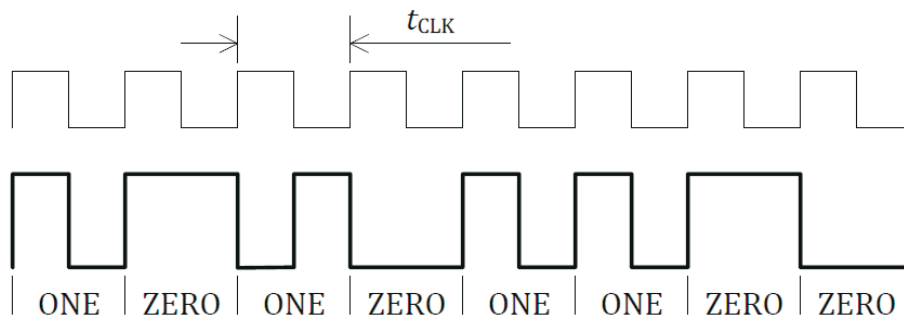


图 8-7. 差分双相编码方案 (WPC 第 1 卷：低功耗，第 1 部分“接口定义”)

这些位先发送 LSB，并对数据包的每个部分使用 11 位异步串行格式。这包括一个开始位、n 个数据字节、一个奇偶校验位和一个停止位。开始位始终为零，奇偶校验位为奇数。停止位始终为一。图 8-8 展示了异步串行格式的细节信息。

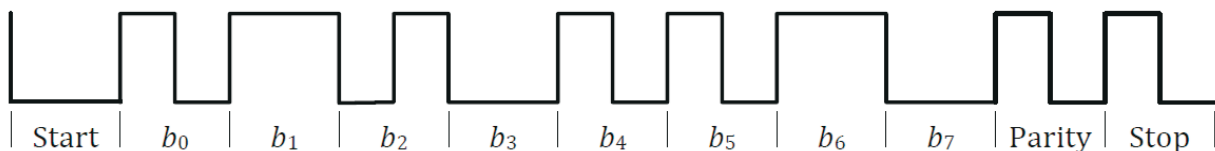


图 8-8. 异步串行格式 (WPC 第 1 卷：低功耗，第 1 部分“接口定义”)

每个数据包格式的组织方式如图 8-9 所示。



图 8-9. 数据包格式 (WPC 第 1 卷：低功耗，第 1 部分“接口定义”)

图 7-17 展示了接收器发送整流电源数据包 (标头 0x04) 的示例波形。

8.3.8 通信调制器

BQ51013C 器件提供两个相同的集成通信 FET，分别连接到引脚 COMM1 和 COMM2。这些 FET 用于调制次级负载电流，从而使 BQ51013C 能够向发送器传达错误控制和配置信息。图 8-10 展示了如何将 COMMx 引脚用于电阻负载调制。每个 COMMx 引脚最多可以处理一个 $24\ \Omega$ 通信电阻器。因此，如果需要 $12\ \Omega$ 和 $24\ \Omega$ 之间的 COMMx 电阻器，则 COMM1 和 COMM2 引脚必须并联。BQ51013C 器件不支持小于 $12\ \Omega$ 的 COMMx 电阻器。

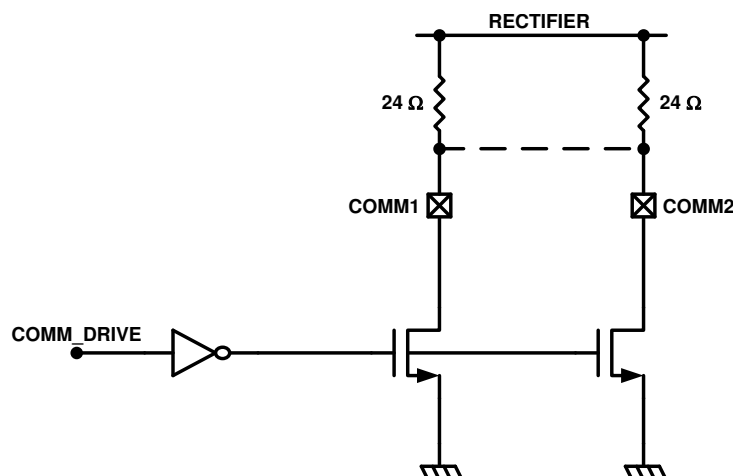


图 8-10. 电阻负载调制

除电阻负载调制外，BQ51013C 还能够进行容性负载调制，如图 8-11 所示。在这种情况下，在 COMM1 和 AC1 之间以及 COMM2 和 AC2 之间各连接一个电容器。当 COMMx 开关闭合时，AC1 和 AC2 之间实际上连接了一个 22nF 电容器。在 AC1 和 AC2 之间连接一个电容器来调制线圈看到的阻抗，这将在初级侧反映为电流的变化。

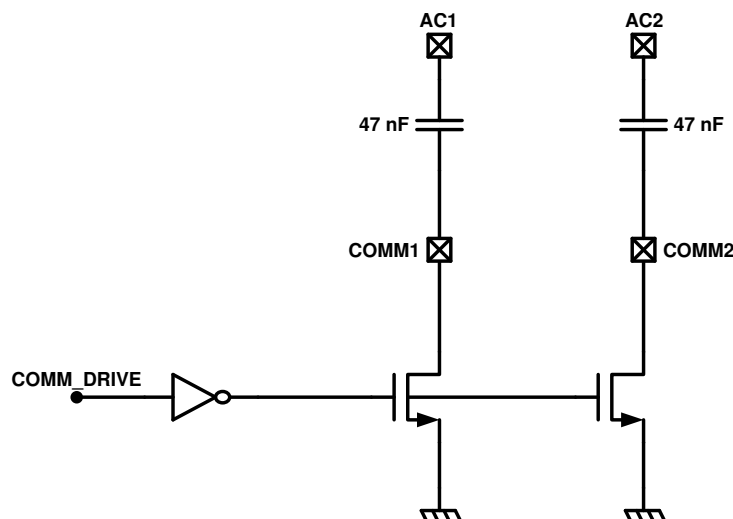


图 8-11. 容性负载调制

8.3.9 自适应通信限制

如前面几节所述，通过反向散射调制来建立 Q_i 通信通道。这种类型的调制利用了 RX 和 TX 线圈之间的松散耦合电感器关系。本质上，通信电容器或电阻器的接入和断开会向 RX 线圈增加瞬态负载，以便调制 TX 线圈电压和电流波形（振幅调制）。使用这一技术的结果是，来自移动设备的负载瞬态（负载电流噪声）具有相同的特征。为了让通信通道具备抗噪能力，输出负载瞬态必须与 RX 线圈隔离。专有功能 *自适应通信限制* 通过动态调整稳压器的电流限制来实现这一点。当稳压器处于电流限制状态时，任何负载瞬态都将转移到系统中的电池上。

请注意，这要求电池充电器器件具有输入电压调节功能（弱适配器模式）。如果发生的瞬态超过稳压器的电流限制，则 RX 的输出看起来就像是一个弱电源。

自适应通信限制功能有两种电流限制模式，详见表 8-4。

表 8-4. 自适应通信限制

I_{OUT}	通信电流限制
$< 300\text{mA}$	固定 400mA
$> 300\text{mA}$	$I_{OUT} + 50\text{mA}$

第一种模式如图 7-15 所示。在此图中，在 200mA 的直流电流电平上定期引入 300mA 的输出负载脉冲。因此，启用了 400mA 电流限制。 V_{RECT} 上的脉冲表示正在发生通信数据包事件。当发生输出负载脉冲时，稳压器将脉冲限制为恒定的 400mA，并因此保持通信。请注意， V_{OUT} 下降至 4.5V，而不是下降至 GND。输入电压调节设置为 4.5V 的充电器器件可通过将负载瞬态支持转移到移动器件的电池来实现这一点。

第二种模式如图 7-16 所示。在此图中，在 400mA 的直流电流电平上定期引入 200mA 的输出脉冲。因此，启用跟踪电流模式 ($I_{OUT} + 50\text{mA}$)。在此模式下，BQ51013C 会测量有效输出电流，并将稳压器的电流限制设置为比此测量值高出 50mA。如果在通信数据包事件期间发生负载脉冲，则输出电流调节至 450mA。随着通信数据包事件结束，可以增加输出负载。请注意，当稳压器处于电流限制状态时， V_{OUT} 降至 4.5V；当不处于电流限制状态时，该电压降至 5V。

8.3.10 同步整流

BQ51013C 提供了一个集成式自驱动同步整流器，可实现高效的交流/直流电源转换。整流器包含全 NMOS H 桥驱动器，当禁用同步整流器时，二极管的背栅配置为整流器。在 WPC 系统的初始启动期间，未启用同步整流器。在此工作点，直流整流器电压由二极管整流器提供。当 V_{RECT} 大于 V_{UVLO} 之后，会启用半同步模式，直至负载电流超过 I_{BAT-SR} 。高于 I_{BAT-SR} 时，完全同步整流器将保持启用状态，直至负载电流降回至低于迟滞电平 ($I_{BAT-SRH}$)，此时重新启用半同步模式。

8.3.11 温度检测电阻网络 (TS)

BQ51013C 包括比例式外部温度检测功能。温度检测功能有两个比例式阈值，分别表示高温和低温条件。建议使用外部温度传感器，以便为接收器产品提供安全的工作条件。此引脚很适合用于监测可能暴露给最终用户的表面（将 NTC 电阻器放置在最靠近用户接触最终产品的位置）。

图 8-12 允许使用任何 NTC 电阻器，前提是满足给定的 V_{HOT} 和 V_{COLD} 阈值。

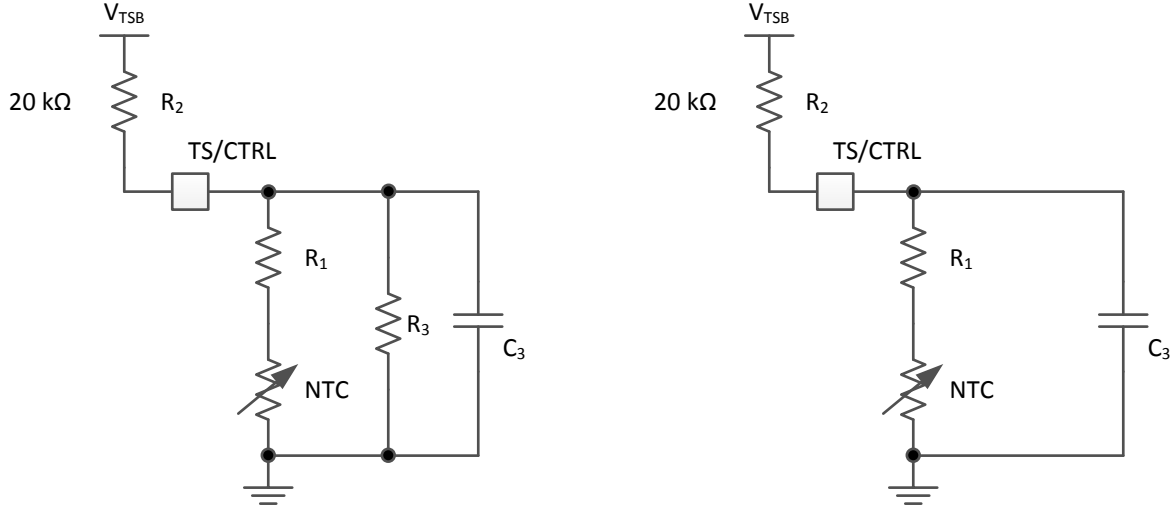


图 8-12. 用于让无线接收器电源安全运行的 NTC 电路选项

通过在预定的温度阈值下求解方程组来确定电阻器 R_1 和 R_3 。这两个方程是：

$$\begin{aligned} \%V_{\text{COLD}} &= \frac{\left(\frac{R_3 (R_{\text{NTC}|T_{\text{COLD}}} + R_1)}{R_3 + (R_{\text{NTC}|T_{\text{COLD}}} + R_1)} \right)}{\left(\frac{R_3 (R_{\text{NTC}|T_{\text{COLD}}} + R_1)}{R_3 + (R_{\text{NTC}|T_{\text{COLD}}} + R_1)} \right) + R_2} \times 100 \\ \%V_{\text{HOT}} &= \frac{\left(\frac{R_3 (R_{\text{NTC}|T_{\text{HOT}}} + R_1)}{R_3 + (R_{\text{NTC}|T_{\text{HOT}}} + R_1)} \right)}{\left(\frac{R_3 (R_{\text{NTC}|T_{\text{HOT}}} + R_1)}{R_3 + (R_{\text{NTC}|T_{\text{HOT}}} + R_1)} \right) + R_2} \times 100 \end{aligned} \quad (2)$$

其中：

$$\begin{aligned} R_{\text{NTC}|T_{\text{COLD}}} &= R_0 e^{\beta \left(\frac{1}{T_{\text{COLD}}} - \frac{1}{T_0} \right)} \\ R_{\text{NTC}|T_{\text{HOT}}} &= R_0 e^{\beta \left(\frac{1}{T_{\text{HOT}}} - \frac{1}{T_0} \right)} \end{aligned} \quad (3)$$

其中

- T_{COLD} 和 T_{HOT} 是所需的温度阈值，以开尔文为单位。
- R_0 是标称电阻。
- β 是 NTC 电阻器的温度系数。

R_2 固定为 $20\text{k}\Omega$ 。下面提供了一个示例解答：

- $R_1 = 4.23\text{k}\Omega$
- $R_3 = 66.8\text{k}\Omega$

其中所选参数为：

- $\%V_{\text{HOT}} = 19.6\%$
- $\%V_{\text{COLD}} = 58.7\%$

- $T_{\text{COLD}} = -10^{\circ}\text{C}$
- $T_{\text{HOT}} = 100^{\circ}\text{C}$
- $\beta = 3380$
- $R_O = 10\text{k}\Omega$

V_{TSB} 百分比与温度的图形如图 8-13 所示：

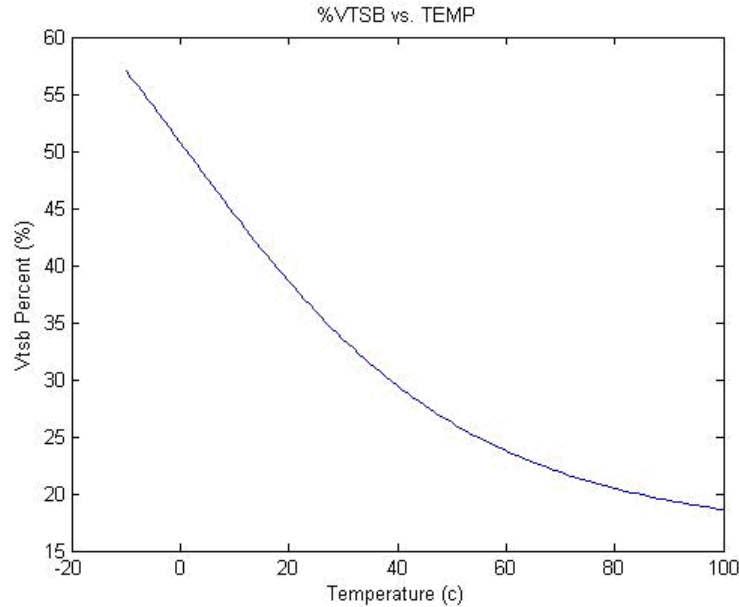


图 8-13. $R_O = 10\text{k}\Omega$ 且 $\beta = 3380$ 时的 NTC 电阻器示例解答

图 8-14 说明了用于测量 TS 状态的周期性偏置方案。内部 TS_READ 信号让 TS 偏置电压 ($V_{\text{TS-Bias}}$) 启用 24ms。在此期间，读取 TS 比较器（包括 t_{TS} 抗尖峰脉冲），并根据温度测量结果采取适当的措施。在这个 24ms 周期结束后，TS_READ 信号变为低电平，导致 TS/CTRL 引脚变为高阻抗。在接下来的 35ms（优先数据包周期）或 235ms（标准数据包周期）内，监测 TS 电压并与 $V_{\text{CTRL-HI}}$ 进行比较。如果 TS 电压大于 $V_{\text{CTRL-HI}}$ ，则辅助器件驱动 TS/CTRL 引脚，并检测到 CTRL = '1'。

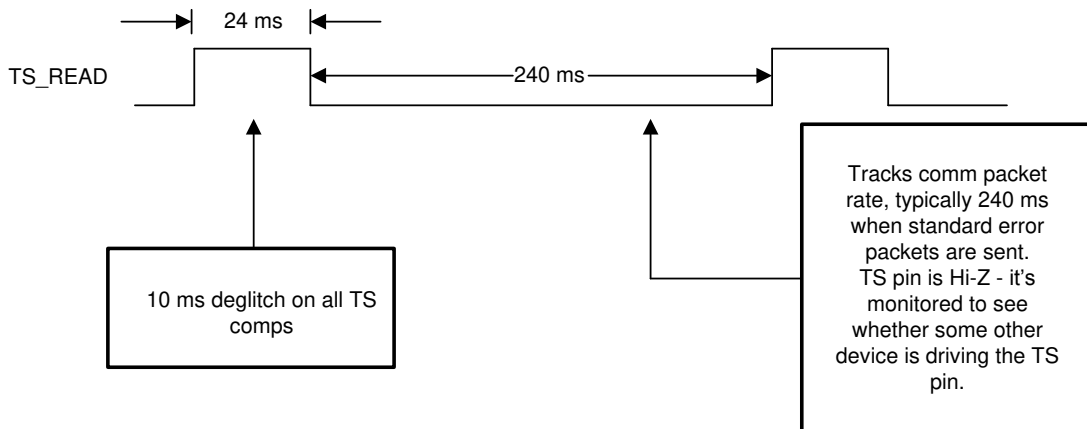


图 8-14. TS 检测电路的时序图

8.3.12 TS/CTRL 引脚的三态驱动器建议

TS/CTRL 引脚通过一个三态驱动器接口提供三种功能：

- NTC 温度监测

- 过热故障
- 结束电源传输 0x00 (EPT 未知)

可通过图 8-15 中的电路实现一个三态驱动器，并使用两个 GPIO 连接。M3 和 M4 以及两个电阻器都是外部元件。

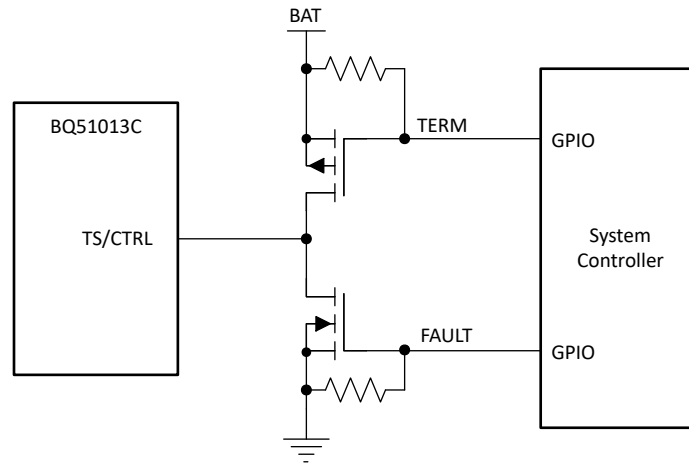


图 8-15. 用于 TS/CTRL 的三态驱动器

请注意，两个 GPIO 分别给出了信号 *TERM* 和 *FAULT*。此电路的真值表可在表 8-5 中找到：

表 8-5. 真值表

TERM	FAULT	F (结果)
1	0	高阻抗 (正常模式)
0	0	结束电源传输 0x00
1	1	结束电源传输 0x03

默认设置为 *TERM/FAULT* = 1/0。在这种情况下，TS-CTRL 网为高阻抗 (high-z)，NTC 功能可以正常运行。当 *TERM/FAULT* = 1/1 时，TS-CTRL 引脚拉至 GND，RX 会关断，并向 TX 发送结束电源传输过热信号。当 *TERM/FAULT* = 0/0 时，TS-CTRL 引脚拉至电池电平，RX 会关断，并向 TX 发送结束电源传输未知信号。

8.3.13 热保护

BQ51013C 包括热关断保护。如果芯片温度达到 T_{J-SD} ，LDO 会关断以防止任何进一步的功耗。在这种情况下，BQ51013C 会发送一条内部故障 (0x02) EPT 消息。一旦温度下降到比 T_{J-SD} 低 T_{J-Hys} ，就会继续运行。

8.3.14 WPC v1.3 合规性 - 异物检测

为了使电源发送器能够监测接口上的功率损耗，作为限制异物温度上升的其中一种可能方法，BQ51013C 将其接收到的功率报告给电源发送器。接收到的功率等于从电源接收器输出提供的功率加上在产生该输出功率时损失的任何功率（次级线圈和串联谐振电容器中的功率损耗、电源接收器屏蔽层中的功率损耗、整流器中的功率损耗）。这意味着 BQ51013C 将以已知的精度向发送器发送接收到的功率信息。

为了获得 WPC 认证，在一个基准发送器上测试了受测器件 (DUT)，此基准发送器的发送功率经过校准，接收器必须发送一个符合以下条件的接收功率：

$$0 > (TX\ PWR)_{REF} - (RX\ PWR\ out)_{DUT} > -375\ mW \quad (4)$$

这个 375mW 偏置确保系统仍然可以互操作。

测试 WPC 发送器以查看其是否可以使用基准接收器检测基准异物。

8.4 器件功能模式

节 8.3 说明了 BQ51013C 的工作模式。BQ51013C 有几种功能模式。启动是指接收器 (BQ51013C 电路) 和发送器之间的初始电源传输和通信。电源传输是指 TX 和 RX 之间进行通信并将电源从发送器传递到接收器的任何时刻。当从 TX 中移除 RX、从 TX 移除电源，或者 RX 请求电源传输终止时，会发生电源传输终止。

9 应用和实施

备注

以下应用部分中的信息不属于 TI 元件规格，TI 不担保其准确性和完整性。TI 的客户负责确定元件是否适合其用途，以及验证和测试其设计实现以确认系统功能。

9.1 应用信息

BQ51013C 是一款位于单个器件中的完全集成式无线电源接收器。该器件符合无线电源接收器的 WPC v1.3 规范。当与符合 WPC v1.3 标准的发送器配对使用时，它可以提供高达 5W 的功率。有几个工具可用于设计系统。可以通过查看 www.ti.com/product 上的产品页面来获得这些工具。

9.2 典型应用

9.2.1 BQ51013C 无线电源接收器用作电源

接下来的应用讨论将介绍在符合 Qi 标准的系统中设置 BQ51013C 作为电源的要求。

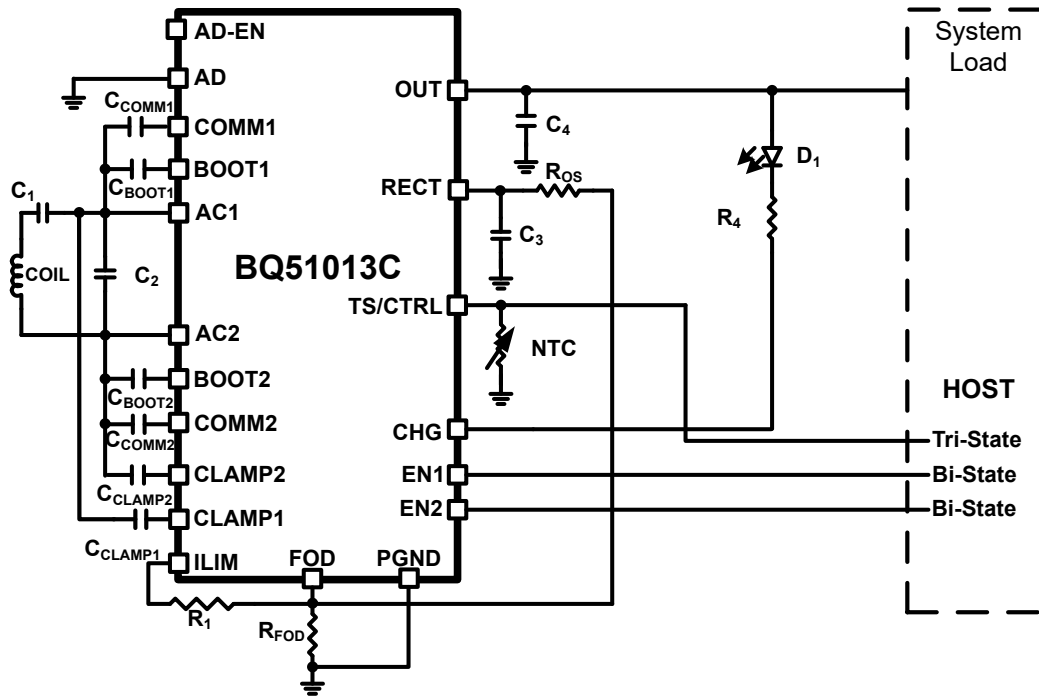


图 9-1. BQ51013C 用作系统负载的无线电源接收器和电源

9.2.1.1 设计要求

此应用适用于负载变化范围从小于 100mA 至高达 1A 的系统。它必须与任何符合 Qi 标准的发送器一起工作。无需进行任何外部热测量。需要通过 LED 指示来指示电源处于活动状态。我们将检查应用图中的每个元件。

9.2.1.2 详细设计过程

9.2.1.2.1 使用 BQ51013C 作为无线电源：(请参阅 图 9-1)

图 9-4 是一个系统的原理图，该系统使用 BQ51013C 作为电源，同时对有线（适配器）端口进行电源多路复用。

当图 9-1 所示的系统放置在充电板上时，接收器线圈与充电板中的线圈产生的磁通进行电感耦合，进而在接收器线圈中产生电压。内部同步整流器将此电压馈送到 RECT 引脚，该引脚有滤波电容器 C3。

BQ51013C 使用 COMM 引脚（通过导通和关断 COMM FET，由此接入和断开 C_{COMM} ）与初级侧通信，完成身份识别和验证。如果身份验证成功，发送器将保持通电状态。BQ51013C 测量 RECT 引脚处的电压，计算实际电压与所需电压 $V_{RECT-REG}$ 之间的差值，并将错误数据包发送回主器件。

在上电期间，LDO 将保持关闭，直至 $V_{RECT-REG}$ 阈值收敛。电压控制环路确保将输出电压保持在 $V_{OUT-REG}$ ，以便为系统供电。同时，BQ51013C 继续监控输入电压，并保持每 250ms 向主器件发送一次错误数据包。如果发生较大的过冲，则会加快到每 32ms 向主器件发送一次反馈，以便在更短的时间内收敛于工作点。

9.2.1.2.2 串联和并联谐振电容器选择

如图 9-1 所示，电容器 C1（串联）和 C2（并联）与接收器线圈构成双谐振电路。这两个电容器的大小必须符合 WPC v1.3 规范。图 9-2 展示了双谐振电路的等效电路：

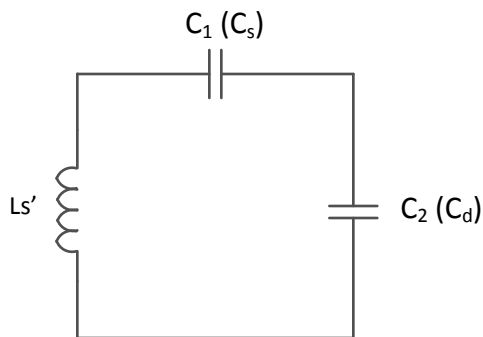


图 9-2. 带有接收器线圈的双谐振电路

WPC v1.3 规范第 1 卷中的电源接收器设计要求详细强调了尺寸要求。总之，接收器设计人员需要使用标准测试装置进行电感测量，如图 9-3 所示：

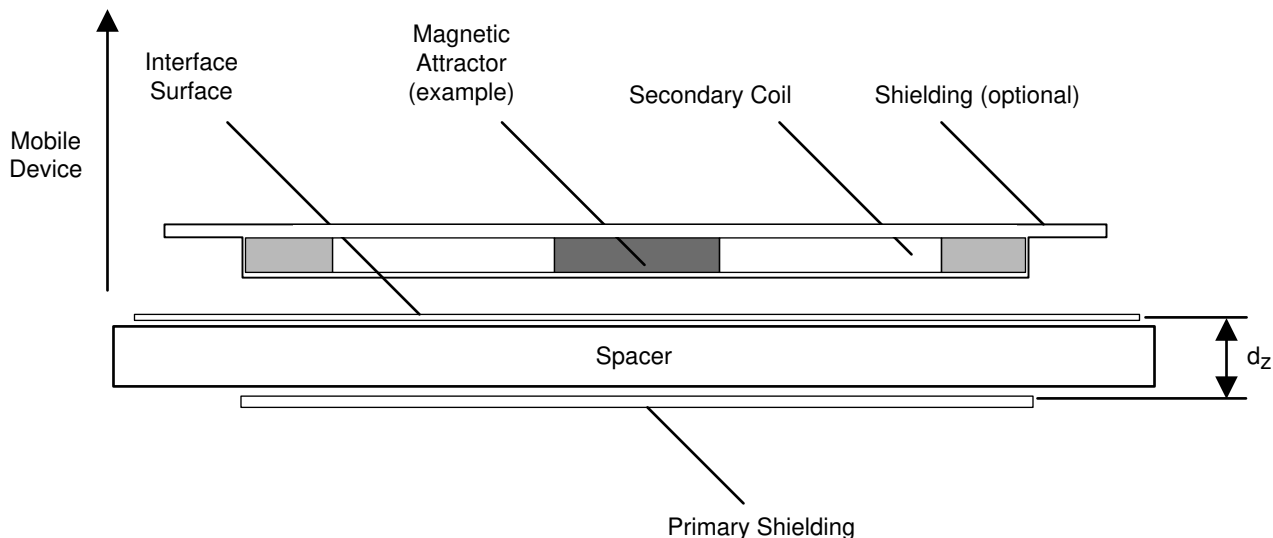


图 9-3. 用于电感测量 Ls' 的 WPC v1.3 接收器线圈测试装置（摘自《无线电源传输系统说明》第 1 卷：低功耗，第 1 部分“接口定义”，版本 1.1）

主屏蔽层为 TDK Corp. 的 50mm × 50mm × 1mm 铁氧体材料 PC44。间隙 d_z 为 3.4mm。由于接收器线圈将放入最终系统（例如，如果系统需要，必须包含后盖和电池），因此接收器线圈将放置在此表面之上，电感将在 1V RMS 和 100kHz 频率下进行测量。此测量称为 Ls' 。在不使用图 9-3 中所示测试装置的情况下重复相同的测量。此测量称为 Ls 或自由空间电感。然后可以使用方程式 5 计算每个电容器：

$$C_1 = \left[(f_S \times 2\pi)^2 \times L'_S \right]^{-1}$$

$$C_2 = \left[(f_D \times 2\pi)^2 \times L_S - \frac{1}{C_1} \right]^{-1} \quad (5)$$

其中

- f_S 为 100kHz +5/-10%。
- f_D 为 1MHz \pm 10%。

在计算 C_2 之前，必须先选择 C_1 。

品质因数必须大于 77，并且可以通过 [方程式 6](#) 来确定：

$$Q = \frac{2\pi \cdot f_D \cdot L_S}{R} \quad (6)$$

其中

- R 为接收器线圈的直流电阻。

所有其他常数在上文中已定义。

对于此应用，所选线圈电感 L_S 为 11 μ H，而 L_S' 为 16 μ H，直流电阻为 191m Ω 。使用 [方程式 5](#)， C_1 计算结果为 158.3nF（范围为 144nF 至 175nF）。要获得 3 个并联电容器的理想解决方案，所选电容器分别为 68nF、47nF 和 39nF，总电容为 154nF，完全在所需范围内。使用相同的公式（以及选定的 C_1 值）， C_2 计算结果为 2.3nF。使用 2.2nF 和 100pF 的电容器很容易满足要求。 C_1 和 C_2 电容器的最小额定电压必须为 25V。求解品质因数（[方程式 6](#) 中的 Q ），得到一个大于 500 的值。

[表 9-1](#) 列出了建议的 RX 线圈。

9.2.1.2.3 建议的 RX 线圈

表 9-1. 建议的 RX 线圈

制造商	器件型号	尺寸	L_S	输出电流范围	应用
Wurth Electronics	760308103215	48mm \times 32mm	14.3 μ H	50mA - 1000mA	通用 5V 电源
XFMRS	XFMCC483201-143	48mm \times 32mm	14.3 μ H	50mA - 1000mA	通用 5V 电源
TDK	WR483265-15F5-G	48mm \times 32mm	13.3 μ H	50mA - 1000mA	通用 5V 电源
TDK	WR222230-26M8-G	22mm 圆形	27 μ H	50mA - 500mA	通用 5V 电源

9.2.1.2.4 COMM、CLAMP 和 BOOT 电容器

对于大多数应用，选择 COMM、CLAMP 和 BOOT 电容值以匹配 BQ51013CEVM-764。

BOOT 电容器用于让内部整流器 FET 可以正确导通和关断。这些电容器连接在 AC1 和 BOOT1 之间以及 AC2 和 BOOT2 之间，并且必须具有最小 25V 的额定值。这里选择了额定电压为 25V 的 10nF 电容器。

CLAMP 电容器用于辅助完成钳位过程，以防止出现过压。这些电容器连接在 AC1 和 CLAMP1 之间以及 AC2 和 CLAMP2 之间，并且必须具有最小 25V 的额定值。这里选择了额定电压为 25V 的 0.47 μ F 电容器。

COMM 电容器用于促进从 RX 到 TX 的通信。选择此类电容器时，可能会比 BOOT 电容器和 CLAMP 电容器变化大一点。通常建议使用 22nF 电容器。根据最终解决方案中通信稳健性测试的结果，可能需要变为 47nF 电容器。

电容器越大，线圈上的偏差越大，因而向 TX 发送的信号就越强。这也会使效率有所降低。在这种情况下，选择了额定电压为 25V 的 22nF 电容器。

9.2.1.2.5 控制引脚和 $\overline{\text{CHG}}$

本节讨论了控制 BQ51013C 功能的引脚 (AD、 $\overline{\text{AD_EN}}$ 、EN1、EN2 和 TS/CTRL)。

此解决方案仅使用无线电源。AD 引脚接至低电平，以便禁用有线电源交互。输出引脚 $\overline{\text{AD_EN}}$ 保持悬空。

EN1 和 EN2 连接到系统控制器 GPIO 引脚。这使得系统能够控制无线电源传输。正常运行会使 EN1 和 EN2 保持低电平或悬空 (GPIO 低阻抗或高阻抗)。EN1 和 EN2 具有内部下拉电阻器。EN1 和 EN2 均为低电平时，启用无线电源，并且只要 RX 处于适合的 TX 上，就可以传输电源。RX 系统控制器可以通过设置 EN1=EN2=1 来终止电源传输并发送 EPT 0x01 (充电完成)。收到 EPT 0x01 时，TX 将终止供电。TX 将继续测试电源传输，但直到 RX 请求电源时才会启用。例如，如果 TX 是 BQ500212A，则 TX 将大约每 5 秒发送一次数字 Ping。在每次 ping 过程中，BQ51013C 将重新发送 EPT 0x01。在各个 ping 之间，BQ500212A 进入低功耗“睡眠”模式，从而降低功耗。当 RX 系统控制器确定需要恢复电源传输时 (例如，电池电压低于其充电阈值)，控制器只需将 EN1 和 EN2 恢复到低电平 (或悬空) 状态。BQ500212A 的下一个 ping 将为 BQ51013C 供电，BQ51013C 会传达现在是传输电源的时机。TX 和 RX 通信恢复并重新启动电源传输。

TS/CTRL 引脚将用作温度传感器 (具有 NTC)，并保持通过系统控制器终止电源传输的能力。在这种情况下，GPIO 将处于高阻抗状态，以实现正常 NTC (温度检测) 控制。

$\overline{\text{CHG}}$ 引脚用于指示电源传输。D₁ 使用的是 2.1V 正向偏置 LED，并且串联了一个 1.5k Ω 限流电阻。LED 和电阻器从 OUT 连接到 PGND，在电源传输期间 D₁ 会亮起。

9.2.1.2.6 电流限制和 FOD

电流限制和异物检测功能相关。电流限制通过 $R_1 + R_{\text{FOD}}$ 来设置。 R_{FOD} 和 R_{os} 通过 FOD 校正来确定。对于 R_{os} ，默认值为 20k Ω ，对于 R_{FOD} ，默认值为 196 Ω 。需要根据 FOD 校准确定最终值。可以在 BQ51013C web 文件夹 (位于“工具和软件”下) 找到用于 FOD 校准的工具。好的做法是设置这样一个布局， R_{os} 使用 2 个电阻器， R_{FOD} 也使用 2 个电阻器，以便在校准完成后获得精确的值。

设置 R_{FOD} 后，可以根据所需的电流限制来计算 R_1 。该解决方案在正常工作条件下的最大电流 (I_{MAX}) 为 1A。使用 [方程式 1](#) 计算最大电流可得出 R_{ILIM} 值为 262 Ω 。当 R_{FOD} 设置为 196 Ω 时， R_1 的剩余电阻为 66 Ω 。这样还会将硬件电流限制设置为 1.2A，以允许暂时的电流激增而不影响系统性能。

9.2.1.2.7 RECT 和 OUT 电容

RECT 电容用于使交流/直流转换变得平滑，并防止微小的电流瞬变传递到 OUT。对于这个 1A I_{MAX} ，选择两个 10 μF 电容器和一个 0.1 μF 电容器。这些电容器的额定电压应为 16V。

OUT 电容用于降低微小负载瞬变产生的任何纹波。对于此解决方案，使用了单个 10 μF 电容器和单个 0.1 μF 电容器。

9.2.2 双电源路径：无线电源和直流输入

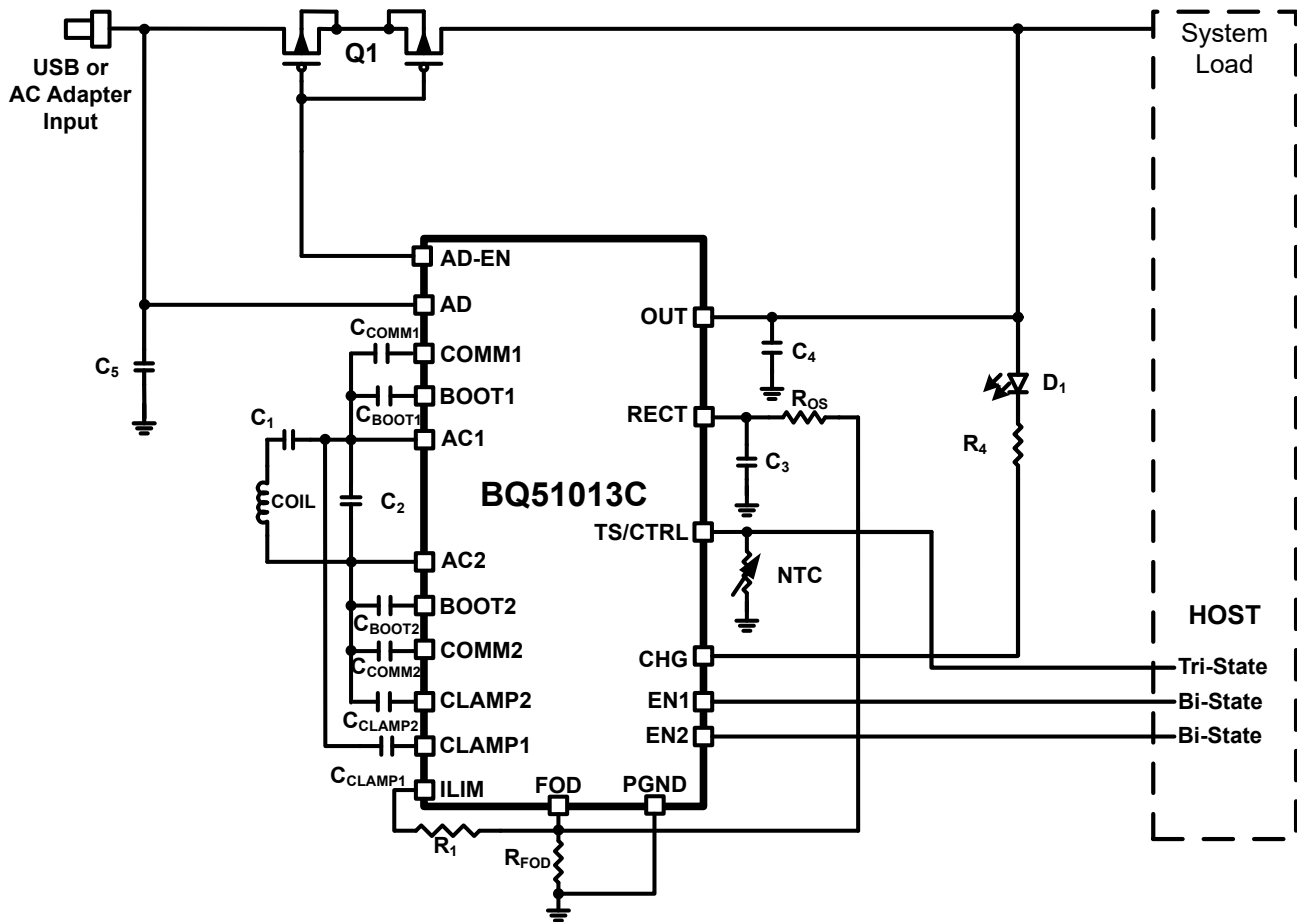


图 9-4. BQ51013C 用作具有适配器电源路径多路复用功能的系统负载的无线电源接收器和电源

9.2.2.1 设计要求

此解决方案增加了通过 AD 和 $\overline{\text{AD_EN}}$ 引脚禁用无线充电的功能。也可以使用直流电源（具有直流输出的 USB 或交流适配器）为子系统供电。这可以在无线电源传输期间或不进行无线电源传输时发生。系统必须在不发生任何回流或损坏电路的情况下进行电源传输。

9.2.2.2 详细设计过程

本设计选择的元件与为节 9.2.1 系统选择的元件相同。该电路唯一添加的部分是在使用 BQ51013C 进行控制时添加阻断 FET。AD 引脚将作为阈值检测器连接到直流输入端。 $\overline{\text{AD_EN}}$ 引脚用于启用或禁用阻断 FET。必须选择阻断 FET 来处理输入端提供的适当电流电平和直流电压电平。在本例中，期望的直流输入为 5V，最大电流为 1A（与无线电源的配置相同）。CSD75207W15 是一个采用 1.5mm^2 WCSP 封装的 P 沟道、-20V、3.9A FET 对，所以非常适合。

以下示波器图展示了不同条件下的行为。

图 9-5 展示了将电源添加到 AD 引脚时从无线电源到有线电源的转换。当两个电源均不供电时， V_{RECT} 下降，并且有一段很短的时间 I_{OUT} 会下降至零。启用 Q1（通过 $\overline{\text{AD_EN}}$ ）时，重新恢复输出电流。注意大约 500ms 后的 RECT 电压。这是 TX 发送一个 ping 来检查是否需要电源。BQ51013C 通知 TX，它不需要供电后，RECT 恢复为低电平（无需启用 OUT 引脚）。此时序基于 TX（此处使用了 BQ500212A）。

图 9-6 展示了移除 AD 电压时向无线电源的转换。请注意，移除有线电源后，(BQ500212A) 的下一个 ping 将为 BQ51013C 通电。整流器电压稳定后，输出将打开。

图 9-7 展示了在 AD 已通电的情况下放置在发送器上的系统。TX 发送一个 ping，RX 对此作出响应，并通知 TX 不需要电源。ping 将根据所用的 TX 继续该时序。

图 9-8 展示了当 RX 不在 TX 上时添加的 AD。这表示正常启动，不需要 TX。

9.2.2.3 应用曲线

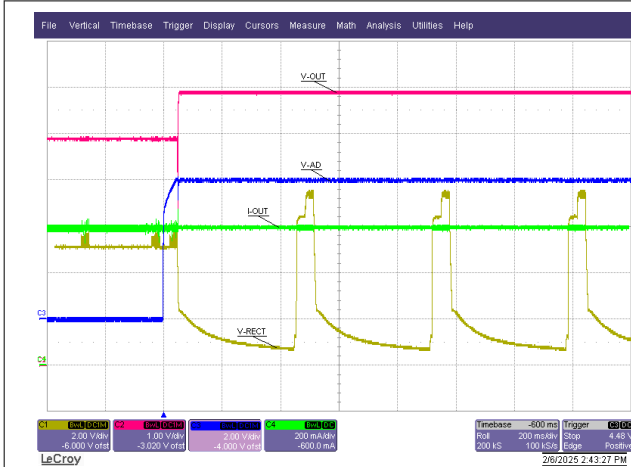


图 9-5. 在无线电源和有线电源之间转换 (EN1 = EN2 = 低电平)



图 9-6. 在有线电源和无线电源之间转换 (EN1 = EN2 = 低电平)

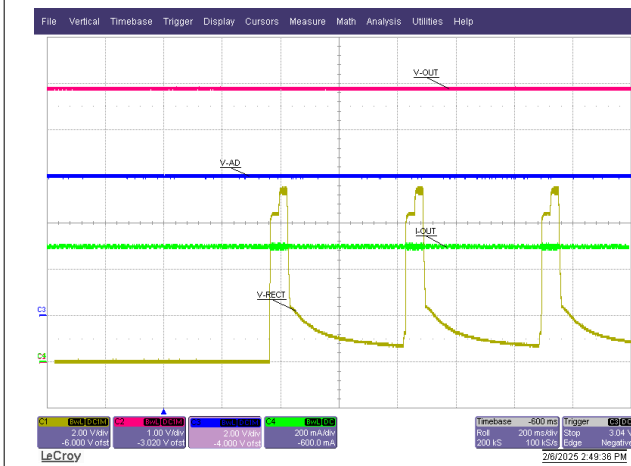


图 9-7. $V_{AD} = 5V$ 时的无线电源启动 (EN1 = EN2 = 低电平)

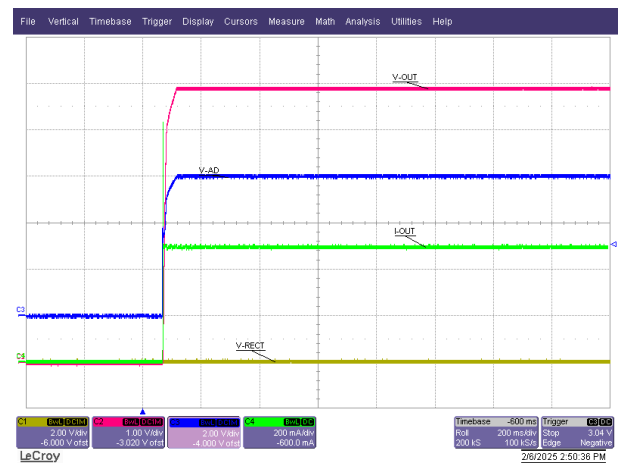


图 9-8. 无发送器时的 AD 电源启动 (EN1 = EN2 = 低电平)

9.2.3 400mA 锂离子电池的无线充电和直接充电

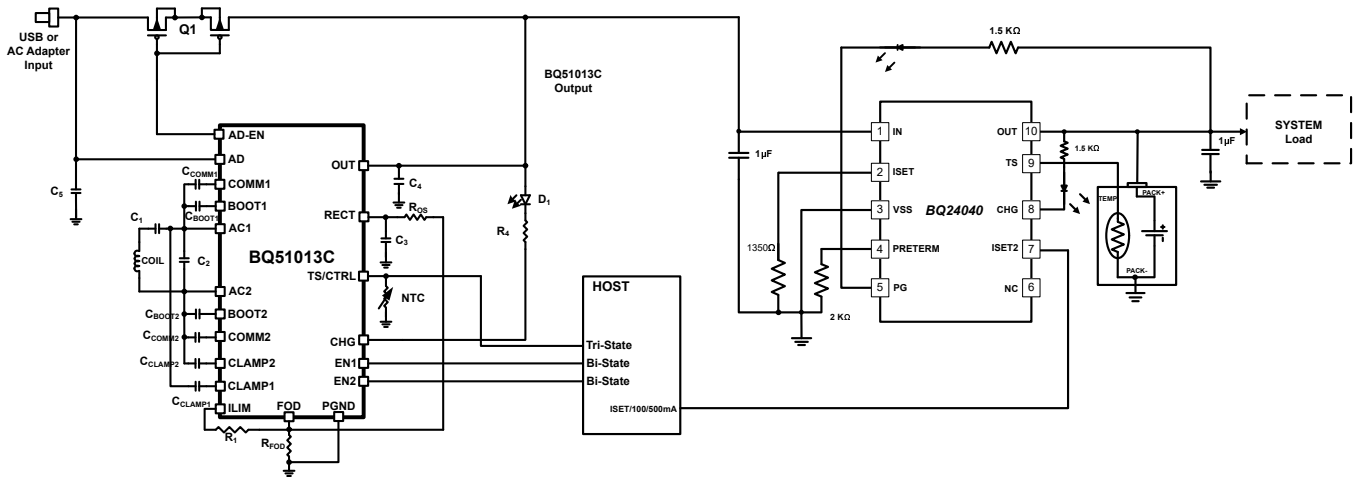


图 9-9. BQ51013C 用作无线电源，结合适配器多路复用功能用于线性充电器

9.2.3.1 设计要求

此设计的目标是以无线方式或通过 USB 直接有线输入在 400mA 电流下为 3.7V 锂离子电池充电。此设计将使用 BQ51013C 无线电源和 BQ24040 单节锂离子电池充电器。必须在 BQ51013C 的输出和 BQ24040 的输入之间创建一个低电阻路径。

9.2.3.2 详细设计过程

基本 BQ51013C 设计与节 9.2.2 相同。BQ51013C OUT 引脚连接到 Q1 的输出端，并直接连接到 BQ24040 的 IN 引脚。无需对 BQ51013C 电路进行任何其他更改。

为了使此充电器正常工作，需要对 BQ24040 设置一些参数。IN 和 OUT 引脚上需要使用陶瓷去耦电容器，其电容值如图 9-9 中所示。在实际系统运行条件下进行评估后，可以向上或向下调整最终值。在高振幅脉冲负载应用中，IN 和 OUT 电容器通常需要更大的值。下一步是设置快速充电电流、预充电电流和终止电流。

对快速充电电流 ISET 进行编程： $R_{ISET} = [K_{ISET}/I_{OUT}] = [540\Omega / 0.4A] = 1.350\Omega$ 。

对终止电流 ITERM 进行编程： $R_{PRE-TERM} = [K_{TERM}/\%OUT-FC] = 200\Omega / \% \times 10\% = 2k\Omega$ 。

TS 功能：要启用温度检测功能，应在电池包中从 TS 到 VSS 放置一个 10k Ω NTC 热敏电阻 (103AT)。要禁用温度检测功能，请在 TS 和 VSS 之间使用一个 10k Ω 的固定电阻器。

图 9-10 展示了在将整个 RX 系统放置在充电板上之后，当施加 TX 电源时，采用 BQ24040 充电器的无线系统的启动情况。通道 1 (黄色) 显示 BQ51013C 启动时的 RECT 引脚电压。BQ51013C 的 5V 输出可以在通道 2 (红色) 上看到。通道 3 (蓝色) 显示 BQ24040 的输出。通道 4 (绿色) 显示电池电流。

图 9-11 展示了一种类似情况，但在本例中，电池最初未连接，因此可以观察到电池检测例程。电池连接到充电器后，电量增加到 400mA。通道 4 (绿色) 显示电池电流。

9.2.3.3 应用曲线

以下各图展示了 BQ51013C + 充电器解决方案的性能。

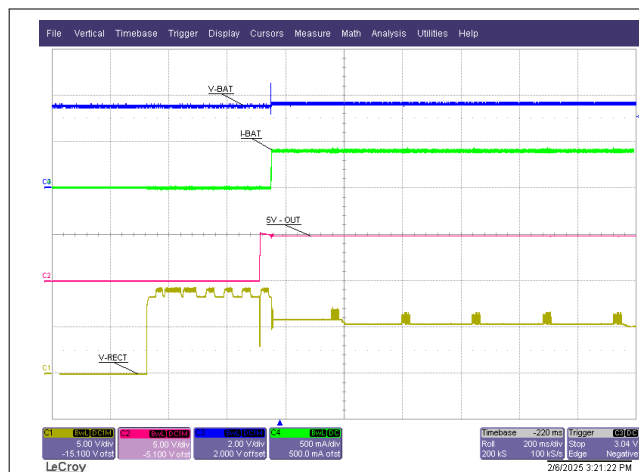


图 9-10. 系统启动

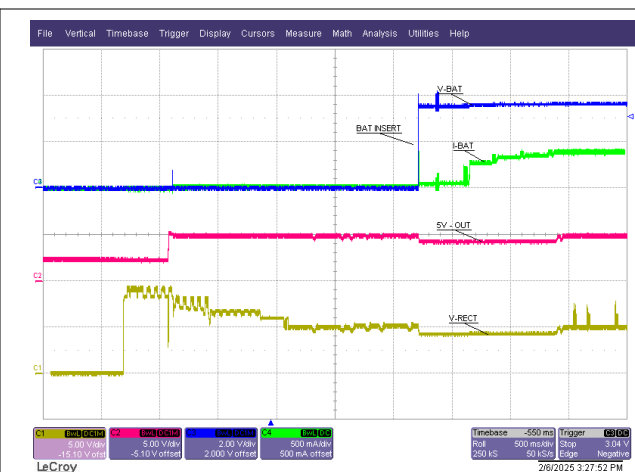


图 9-11. 启用无线电源后，插入电池情况下的系统启动

10 电源相关建议

BQ51013C 需要使用符合 Qi 标准的发送器作为其电源。

11 布局

11.1 布局指南

- 保持 AC1、AC2 和 BAT 上的布线电阻尽可能低。
- 必须将检测电容器和谐振电容器尽可能靠近器件放置。
- 必须将 COMM、CLAMP 和 BOOT 电容器尽可能靠近器件放置。
- PGND 网上的过孔互连对于保持适当的信号完整性和正常的热性能至关重要。
- 必须将高频旁路电容器放置在靠近 RECT 和 OUT 引脚的位置。
- ILIM 和 FOD 电阻器是重要的信号路径，因此必须更大程度地减小这些路径中到 PGND 的环路。

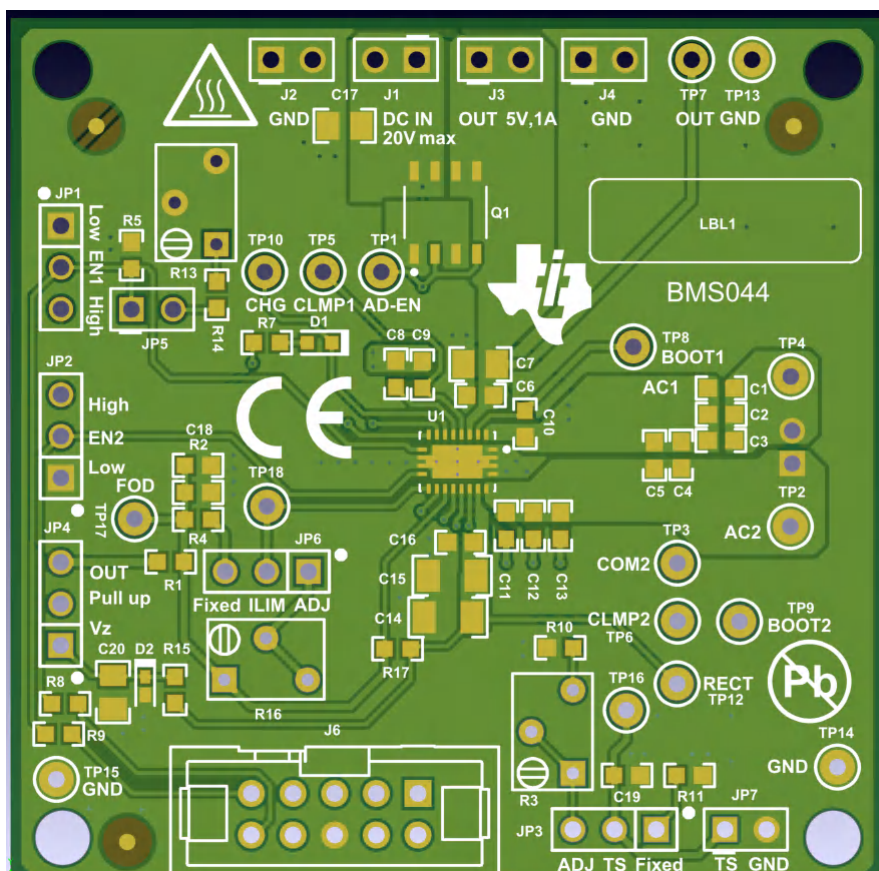
信号和检测布线对噪声很敏感；检测信号振幅通常以 mV 为单位进行测量，与噪声振幅相当。确保这些布线未被噪声和电源布线干扰。AC1、AC2、BOOT1、BOOT2、COMM1 和 COMM2 是电路板中的主要噪声源。这些布线应与电路板中的其他元件隔离开来。通常优先在这些布线下放置一个接地覆铜区，以实现额外的屏蔽。此外，确保它们不会干扰信号和检测布线。PCB 应具有一个接地层（回路），此接地层通过过孔直接连接至所有元件的返回路径（对于功率级电容器，每个电容器通过两个过孔连接；对于小信号元件，每个电容器通过一个过孔连接）。

对于 1A 快速充电电流应用，每个网络的额定电流如下：

- AC1 = AC2 = 1.2A
- OUT = 1A
- RECT = 100mA (RMS)
- COMMx = 300mA
- CLAMPx = 500mA
- 所有其他额定电流可以为 10mA 或更低

对于 RHL 封装，散热焊盘应连接至地以帮助散热。

11.2 布局示例



对于 RHL 封装，散热焊盘应连接至地以帮助散热。

图 11-1. BQ51013C 布局原理图

12 器件和文档支持

12.1 器件支持

12.1.1 第三方产品免责声明

TI 发布的与第三方产品或服务有关的信息，不能构成与此类产品或服务或保修的适用性有关的认可，不能构成此类产品或服务单独或与任何 TI 产品或服务一起的表示或认可。

12.1.2 开发支持

可以在[工具和软件](#)下的 web 文件夹中找到用于异物检测 (FOD) 校准的工具。

12.2 接收文档更新通知

要接收文档更新通知，请导航至 [ti.com](#) 上的器件产品文件夹。点击[通知](#)进行注册，即可每周接收产品信息更改摘要。有关更改的详细信息，请查看任何已修订文档中包含的修订历史记录。

12.3 支持资源

[TI E2E™ 中文支持论坛](#)是工程师的重要参考资料，可直接从专家处获得快速、经过验证的解答和设计帮助。搜索现有解答或提出自己的问题，获得所需的快速设计帮助。

链接的内容由各个贡献者“按原样”提供。这些内容并不构成 TI 技术规范，并且不一定反映 TI 的观点；请参阅 TI 的[使用条款](#)。

12.4 商标

TI E2E™ is a trademark of Texas Instruments.

所有商标均为其各自所有者的财产。

12.5 静电放电警告



静电放电 (ESD) 会损坏这个集成电路。德州仪器 (TI) 建议通过适当的预防措施处理所有集成电路。如果不遵守正确的处理和安装程序，可能会损坏集成电路。

ESD 的损坏小至导致微小的性能降级，大至整个器件故障。精密的集成电路可能更容易受到损坏，这是因为非常细微的参数更改都可能会导致器件与其发布的规格不相符。

12.6 术语表

[TI 术语表](#) 本术语表列出并解释了术语、首字母缩略词和定义。

13 修订历史记录

注：以前版本的页码可能与当前版本的页码不同

Changes from Revision * (October 2024) to Revision A (May 2025)	Page
• 将整个数据表中的 WPC v2.0 更改为 WPC v1.3.....	1
• 更新了“特性”.....	1
• 删除了“电气特性”中的动态 V_{RECT} 阈值 1-3.....	8
• 删除了典型特性中的几个图表.....	11
• 更新了“Qi 无线电源系统详细信息和 BQ51013C 电源传输流程图”部分.....	16
• 删除了“动态整流器控制”和“动态效率调节”部分.....	16
• 更新了“ R_{ILIM} 计算”部分.....	18
• 删除了“接收器线圈负载线路分析”部分.....	26
• 更新了“使用 BQ51013C 作为无线电源”部分.....	28
• 更新了“建议的 RX 线圈”部分.....	30
• 删除了“应用曲线”部分.....	31

• 更新了“应用曲线”部分.....	33
• 将“400mA 锂离子电池的无线充电和直接充电部分”中的 800mA 更改为 400mA.....	34
• 将“设计要求”部分中的 800mA 更改为 400mA.....	34
• 更新了“详细设计过程”部分。.....	34
• 更新了“应用曲线”部分.....	34

14 机械、封装和可订购信息

以下页面包含机械、封装和可订购信息。这些信息是指定器件可用的最新数据。数据如有变更，恕不另行通知，且不会对此文档进行修订。有关此数据表的浏览器版本，请查阅左侧的导航栏。

PACKAGING INFORMATION

Orderable part number	Status (1)	Material type (2)	Package Pins	Package qty Carrier	RoHS (3)	Lead finish/ Ball material (4)	MSL rating/ Peak reflow (5)	Op temp (°C)	Part marking (6)
BQ51013CRHLR	Active	Production	VQFN (RHL) 20	3000 LARGE T&R	Yes	NIPDAU	Level-2-260C-1 YEAR	-40 to 125	BQ51013C
BQ51013CRHLR.A	Active	Production	VQFN (RHL) 20	3000 LARGE T&R	Yes	NIPDAU	Level-2-260C-1 YEAR	-40 to 125	BQ51013C

⁽¹⁾ **Status:** For more details on status, see our [product life cycle](#).

⁽²⁾ **Material type:** When designated, preproduction parts are prototypes/experimental devices, and are not yet approved or released for full production. Testing and final process, including without limitation quality assurance, reliability performance testing, and/or process qualification, may not yet be complete, and this item is subject to further changes or possible discontinuation. If available for ordering, purchases will be subject to an additional waiver at checkout, and are intended for early internal evaluation purposes only. These items are sold without warranties of any kind.

⁽³⁾ **RoHS values:** Yes, No, RoHS Exempt. See the [TI RoHS Statement](#) for additional information and value definition.

⁽⁴⁾ **Lead finish/Ball material:** Parts may have multiple material finish options. Finish options are separated by a vertical ruled line. Lead finish/Ball material values may wrap to two lines if the finish value exceeds the maximum column width.

⁽⁵⁾ **MSL rating/Peak reflow:** The moisture sensitivity level ratings and peak solder (reflow) temperatures. In the event that a part has multiple moisture sensitivity ratings, only the lowest level per JEDEC standards is shown. Refer to the shipping label for the actual reflow temperature that will be used to mount the part to the printed circuit board.

⁽⁶⁾ **Part marking:** There may be an additional marking, which relates to the logo, the lot trace code information, or the environmental category of the part.

Multiple part markings will be inside parentheses. Only one part marking contained in parentheses and separated by a "~" will appear on a part. If a line is indented then it is a continuation of the previous line and the two combined represent the entire part marking for that device.

Important Information and Disclaimer:The information provided on this page represents TI's knowledge and belief as of the date that it is provided. TI bases its knowledge and belief on information provided by third parties, and makes no representation or warranty as to the accuracy of such information. Efforts are underway to better integrate information from third parties. TI has taken and continues to take reasonable steps to provide representative and accurate information but may not have conducted destructive testing or chemical analysis on incoming materials and chemicals. TI and TI suppliers consider certain information to be proprietary, and thus CAS numbers and other limited information may not be available for release.

In no event shall TI's liability arising out of such information exceed the total purchase price of the TI part(s) at issue in this document sold by TI to Customer on an annual basis.

OTHER QUALIFIED VERSIONS OF BQ51013C :

- Automotive : [BQ51013C-Q1](#)

NOTE: Qualified Version Definitions:

- Automotive - Q100 devices qualified for high-reliability automotive applications targeting zero defects

TAPE AND REEL INFORMATION



*All dimensions are nominal

Device	Package Type	Package Drawing	Pins	SPQ	Reel Diameter (mm)	Reel Width W1 (mm)	A0 (mm)	B0 (mm)	K0 (mm)	P1 (mm)	W (mm)	Pin1 Quadrant
BQ51013CRHLR	VQFN	RHL	20	3000	330.0	12.4	3.71	4.71	1.1	8.0	12.0	Q1

TAPE AND REEL BOX DIMENSIONS



*All dimensions are nominal

Device	Package Type	Package Drawing	Pins	SPQ	Length (mm)	Width (mm)	Height (mm)
BQ51013CRHLR	VQFN	RHL	20	3000	367.0	367.0	35.0

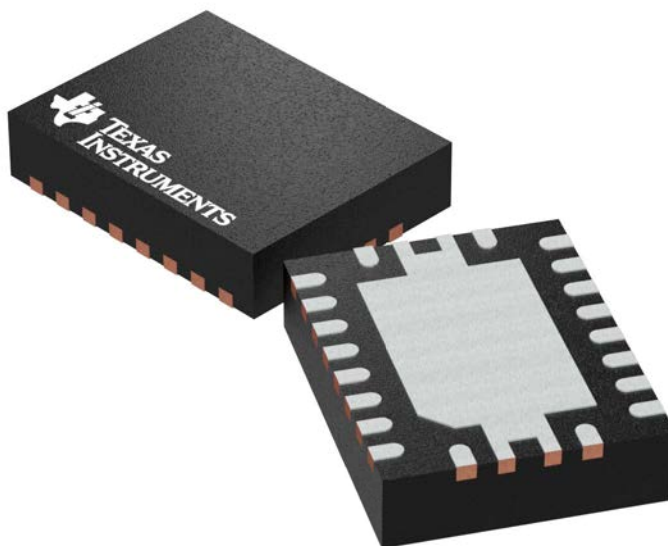
GENERIC PACKAGE VIEW

RHL 20

VQFN - 1 mm max height

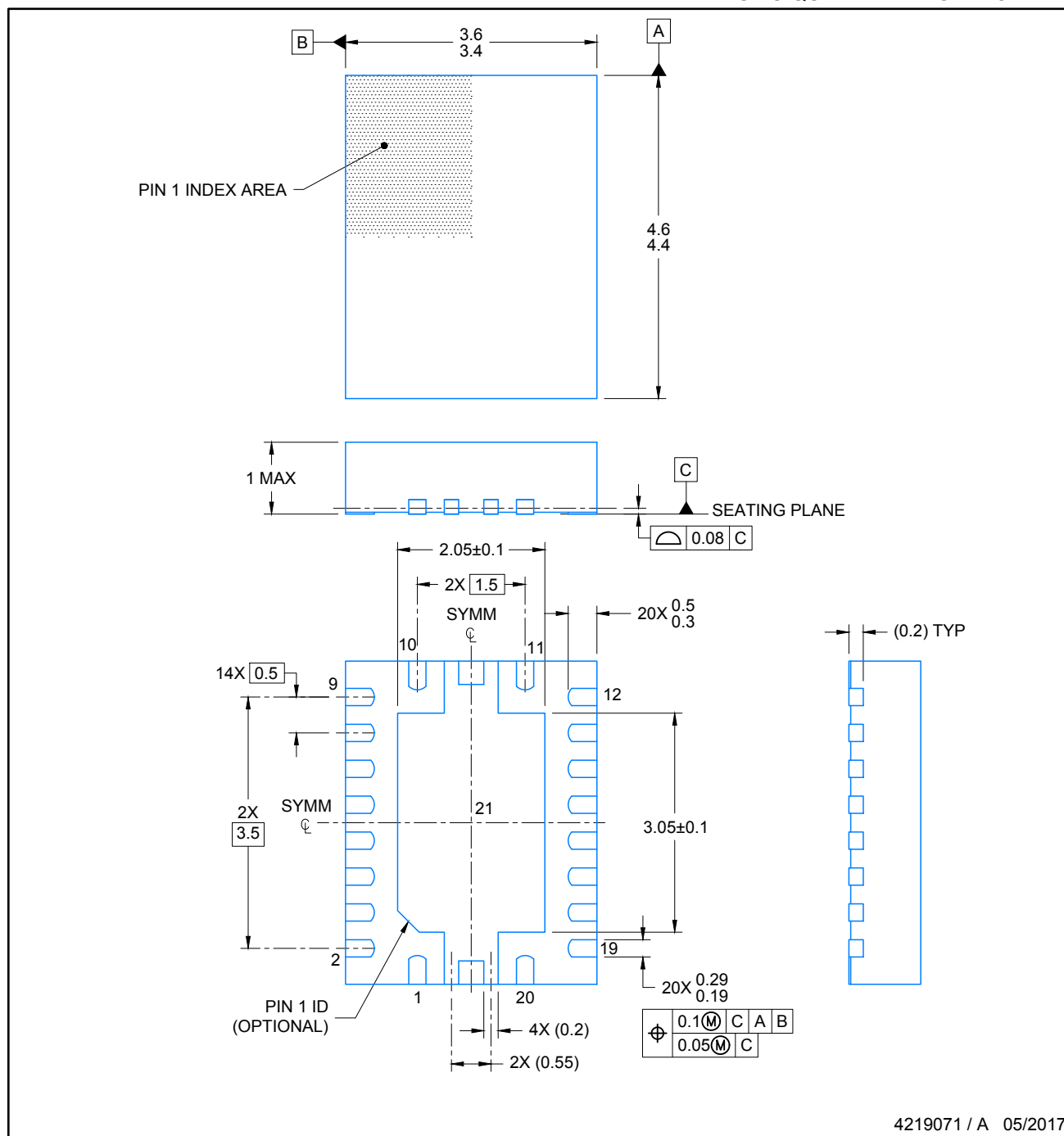
3.5 x 4.5 mm, 0.5 mm pitch

PLASTIC QUAD FLATPACK - NO LEAD



Images above are just a representation of the package family, actual package may vary.
Refer to the product data sheet for package details.

4205346/L



4219071 / A 05/2017

NOTES:

- All linear dimensions are in millimeters. Any dimensions in parenthesis are for reference only. Dimensioning and tolerancing per ASME Y14.5M.
- This drawing is subject to change without notice.
- The package thermal pad must be soldered to the printed circuit board for thermal and mechanical performance.

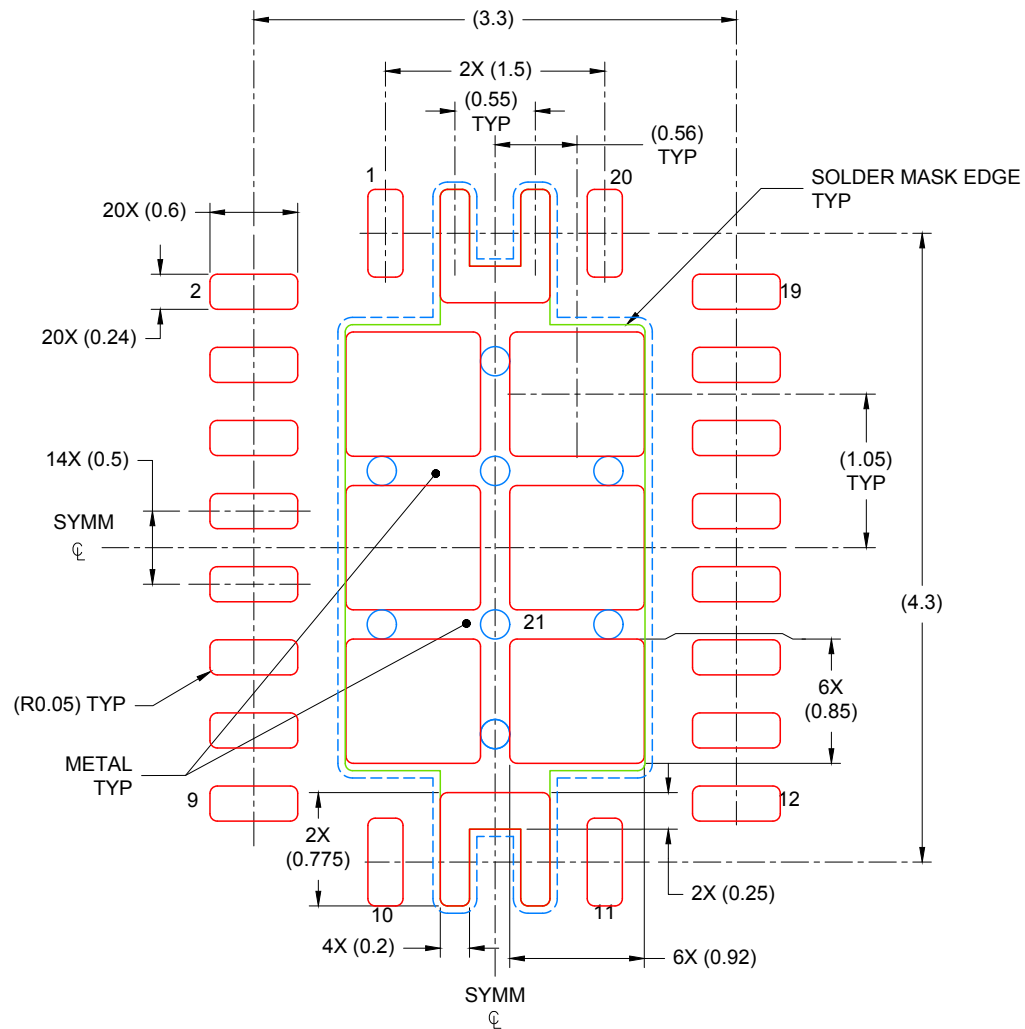
VQFN - 1 mm max height

The diagram illustrates two methods for defining a solder mask opening on a PCB:

- NON SOLDER MASK DEFINED (PREFERRED):** This method shows a rectangular opening in the solder mask. The opening is defined by the exposed metal pad. The dimensions of the opening are specified as **0.07 MAX ALL AROUND**. The labels include **EXPOSED METAL**, **METAL**, and **SOLDER MASK OPENING**.
- SOLDER MASK DEFINED:** This method shows a rectangular opening in the solder mask. The opening is defined by the solder mask itself. The dimensions of the opening are specified as **0.07 MIN ALL AROUND**. The labels include **SOLDER MASK OPENING**, **EXPOSED METAL**, and **METAL UNDER SOLDER MASK**.

4219071 / A 05/2017

4. This package is designed to be soldered to a thermal pad on the board. For more information, see Texas Instruments literature number SLUA271 (www.ti.com/lit/slua271).
5. Solder mask tolerances between and around signal pads can vary based on board fabrication site.
6. Vias are optional depending on application, refer to device data sheet. If any vias are implemented, refer to their locations shown on this view. It is recommended that vias under paste be filled, plugged or tented.



SOLDER PASTE EXAMPLE
 BASED ON 0.1mm THICK STENCIL

EXPOSED PAD
 75% PRINTED COVERAGE BY AREA
 SCALE: 20X

4219071 / A 05/2017

NOTES: (continued)

7. Laser cutting apertures with trapezoidal walls and rounded corners may offer better paste release. IPC-7525 may have alternate design recommendations..

重要通知和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、与某特定用途的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他安全、安保法规或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的相关应用。严禁以其他方式对这些资源进行复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。对于因您对这些资源的使用而对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，您将全额赔偿，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 销售条款](#)、[TI 通用质量指南](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款或 TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。除非德州仪器 (TI) 明确将某产品指定为定制产品或客户特定产品，否则其产品均为按确定价格收入目录的标准通用器件。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

版权所有 © 2025，德州仪器 (TI) 公司

最后更新日期：2025 年 10 月