

带I²C, NVDC路径管理和USB OTG功能的 全集成3A单节锂电池充电管理IC

描述

WB7601 是一颗高集成度开关模式电池充电管理以及系统电源路径管理 IC, 可广泛应用于单节锂电池供电的智能手机和平板电脑等领域。它具有低阻抗电源路径, 优化了开关模式工作效率, 减少电池充电时间并且延长放电阶段的电池使用时间。具有充电和系统设置的 I²C 串行接口使其成为一个真正灵活的解决方案。

应用范围

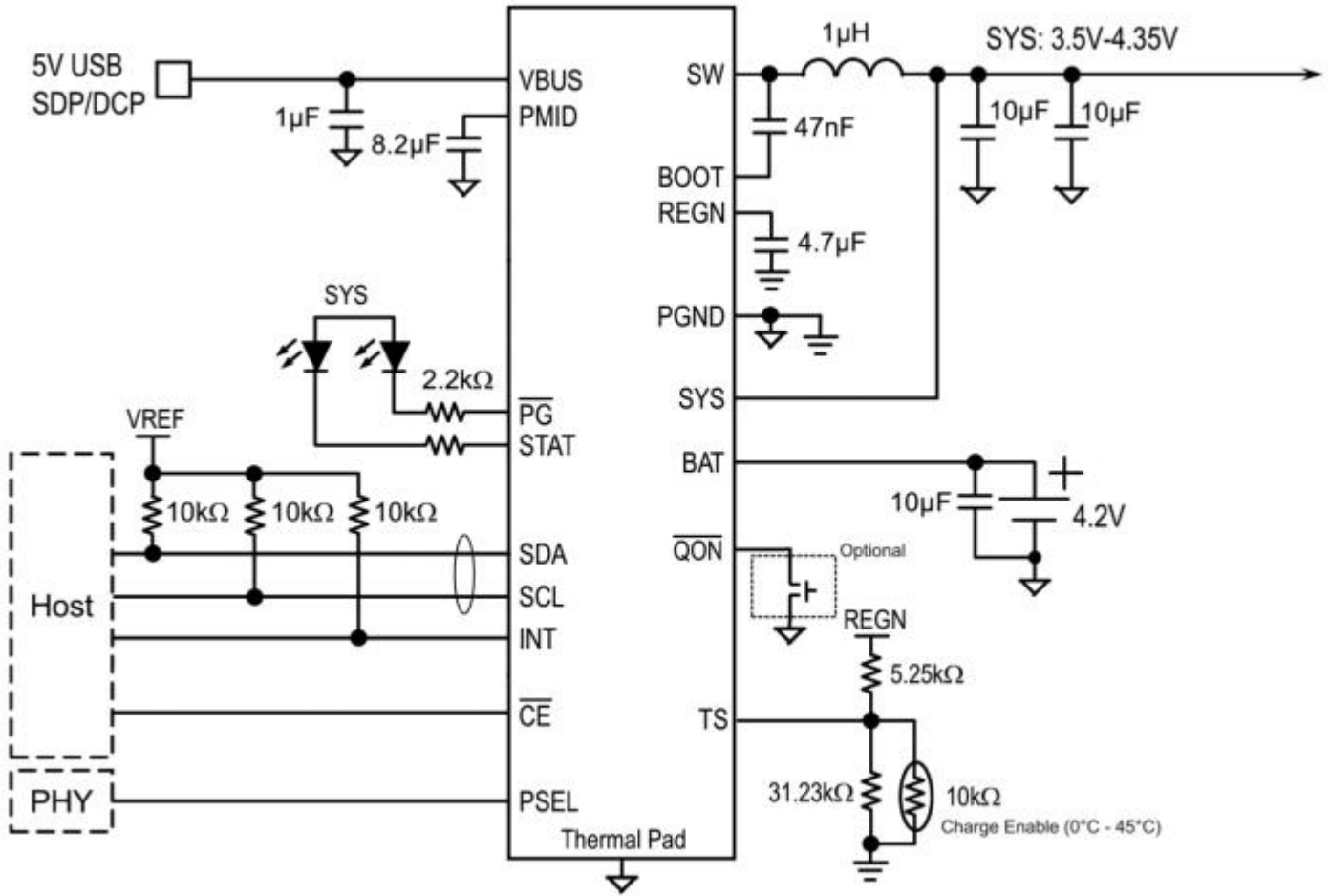
- 智能手机
- 平板电脑
- 移动互联网设备

特点

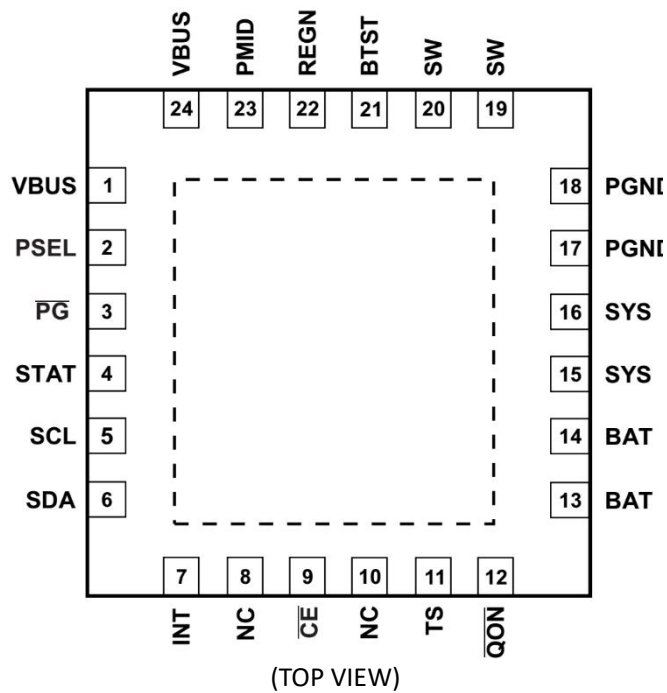
- 最高支持 3A 充电, 2A 充电效率高达 92%
- 电池充电电压调节步进 16mV, 最高支持 4.512V
- USB 兼容单输入工作电压 3.9V 到 13.5V, 带过压保护支持最高 20V 绝对耐压
 - 输入电压电流限制支持 USB 2.0 和 3.0
 - 输入限流: 100mA, 150mA, 500mA, 900mA, 1A, 1.5A, 2A 和 3A
- 支持智能自适应输入限流 (ICO), 可在避免适配器过载的条件下最大化输入功率
- 支持 USB OTG, 输出电压调节范围 4.55V 到 5.5V, 电流 1A 或 1.5A
 - 快速 OTG 启动 (22ms Typ)
 - 5V Boost 模式效率 90%以上
 - 精度±15% Hiccup 模式过流保护
- 支持 Narrow VDC (NVDC)路径管理功能

- 系统即时开机, 即使没有电池或电池过放
- 电池辅助供电模式下工作在理想二极管状态
- 1.5MHz 开关频率可使用小型 1.2mm 电感
- I²C 端口优化系统性能和状态报告
- 全自动电池充电, 不论是否具备主机管理
 - 电池充电使能
 - 电池充电预处理
 - 充电截止和再充电
- 高精度
 - ±0.5%充电电压调整率
 - ±10%充电电流调整率
 - ±7.5%输入电流调整率
 - ±3%输出电压调整率在 USB OTG Boost 模式
- 高集成
 - 电源路径管理功能
 - 同步开关 MOSFETs
 - 集成电流检测
 - 自举二极管
 - 内部环路补偿
- 安全性
 - 电池温度检测在充电和 OTG 放电模式
 - 电池充电安全定时器
 - 热调节和热关断
 - 输入和系统过压保护
 - MOSFET 过流保护
- 充电状态指示用于 LED 或系统主机
- 采用输入电压调节的最大功率跟踪能力
- 20uA 极低电池漏电流, 支持 Shipping Mode
- 4mmx4mm QFN24 封装

典型应用原理图



管脚定义



引脚描述

管脚名	管脚号	类型	描述
VBUS	1, 24	P	Charger 电源输入脚。VBUS 和 PGND 之间外接 1uF 陶瓷电容，尽量靠近 IC。
PSEL	2	I	电源选择输入端。高表示 USB 输入，低表示适配器输入。
PG	3	O	开漏低有效 PG 指示端。通过 10kΩ电阻接到上拉电源。低表示好的输入源如果输入电压在 UVLO 和 ACOV 之间，高于 SLEEP 门限，且电流限制大于 30mA。
STAT	4	O	开漏充电状态指示端。通过 10kΩ电阻接到上拉电源。低表示正在充电。高表示充电完成或禁止充电。当遇到任何故障状态时，STAT 脚以 1Hz 频率闪烁。
SCL	5	I	I ² C 接口时钟端。通过 10kΩ电阻上拉到 I ² C 总线电源。
SDA	6	I/O	I ² C 接口数据端。通过 10kΩ电阻上拉到 I ² C 总线电源。
INT	7	O	开漏中断输出端。通过 10kΩ电阻上拉到 I ² C 总线电源。INT 引脚通过发送 256us 低电平脉冲到主机来报告充电状态或错误。
NC	8	-	NC 脚，悬空。
CE	9	I	低有效充电使能端。当 REG01[5:4]=01 且 CE=Low 时，充电使能。
NC	10	-	NC 脚，悬空。
TS	11	I Analog	电池温度检测输入端。接一个 NTC 热敏电阻。温度窗口可通过 REGN 到 TS 再到 GND 之间的分压电阻调节。当 TS 脚电压超出范围时，充电被暂停或者 Boost 放电被停止。建议用 103AT-2 型热敏电阻。
QON	12	I	Shipping mode 电池使能控制端。
BAT	13,14	P	电池正端。靠近 BAT 脚接一个 10uF 电容。
SYS	15,16	P	系统端。
PGND	17,18	P	功率地。建议 PCB 板上的模拟地在靠近 IC PGND 脚的地方单点连接到功率地。

管脚名	管脚号	类型	描述
SW	19,20	O	输出电感开关节点。
BTST	21	P	自举电源。IC 内部集成自举二极管。在 BTST 和 SW 之间接一个 47nF 自举电容。
REGN	22	P	LDO 输出。在 REGN 和 GND 直接接一个 4.7uF 陶瓷电容。
PMID	23	O	连接 BUSFET 和 HSFET 的漏端。接一个 8.2uF 或更大的电容到 PGND。
Thermal Pad	-	P	IC 散热底座。必须焊接到 PCB 板以辅助 IC 散热，通过星型连接接到 PGND。

极限参数

参数	范围	单位
VBUS to GND(静态)	-2~20	V
PMID to GND(静态)	-0.3~20	V
BTST to GND	-0.3~20	V
SW to GND	-2~16	V
BAT, SYS (静态) to GND	-0.3~6	V
SDA, SCL, INT, REGN, TS, QON , CE , PSEL, STAT, PG to GND	-0.3~7	V
BTST to SW	-0.3~7	V
PGND to GND	-0.3~0.3	V
存储环境温度	-50~150	°C
工作环境温度	-40~125	°C
工作结温	-40~150	°C

电气参数

(T_A=25 °C, V_{BUS}=5V, V_{BAT}=3.7V)

符号	参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
QUIESCENT CURRENTS						
I _{BAT}	Battery discharge current	High-Z Mode, or no VBUS, BATFET disabled (REG07[5]=1)		16	20	uA
		High-Z Mode, or no VBUS, BATFET enabled (REG07[5]=0)		32	55	uA
		V _{BAT} =4.2V, Boost mode, I _{VBUS} =0A, converter switching		3.5		mA
I _{VBUS}	Input supply current	VBUS=5V, High-Z mode, No battery		15	30	uA
		V _{BUS} >V _{UVLO} , V _{BUS} >V _{BAT} , converter not switching		1.5	3	mA
		V _{BUS} >V _{UVLO} , V _{BUS} >V _{BAT} , converter switching, charge disable, V _{BAT} =3.8V, I _{SYS} =100uA		3.5		mA
VBUS/BAT POWER UP						
V _{VBUS_OP}	VBUS operating voltage		3.9		13.5	V
V _{VBUS_UVLOZ}	VBUS for active I ² C, no battery	V _{VBUS} rising	3.6			V
V _{SLEEP}	Sleep mode falling threshold	V _{VBUS} falling, V _{VBUS} -V _{BAT}	35	80	120	mV
V _{SLEEPZ}	Sleep mode rising threshold	V _{VBUS} rising, V _{VBUS} -V _{BAT}	170	250	350	mV
V _{ACOV}	VBUS 6.5V over-voltage rising threshold	V _{VBUS} rising; ACOV_TH (REG07[4:3])=01	6.2		6.6	V
V _{ACOV}	VBUS 10.5V over-voltage rising threshold	V _{VBUS} rising; ACOV_TH (REG07[4:3])=10	10.3		11.5	V
V _{ACOV}	VBUS 14V over-voltage rising threshold	V _{VBUS} rising; ACOV_TH (REG07[4:3])=11	13.5		14.9	V
V _{ACOV_HYST}	VBUS over-voltage falling threshold	V _{VBUS} falling		250		mV
V _{BAT_DPL}	Battery depletion threshold	V _{BAT} falling		2.4	2.6	V
V _{BAT_DPL_HY}	Battery depletion rising hysteresis	V _{BAT} rising		200		mV
V _{VBUSMIN}	Bad adapter detection threshold	V _{VBUS} falling		3.8		V
I _{BADSRC}	Bad adapter detection current source			30		mA
POWER PATH MANAGEMENT						
V _{SYS_MIN}	Minimum DC system voltage output	REG01[3:1]=101, V _{SYSMIN} =3.5V	3.5	3.65		V
R _{ON(BUSFET)}	VBUS MOSFET on-resistance	VBUS-PMID on-resistance		45		mΩ
R _{ON(HSFET)}	High-side MOSFET on-resistance	PMID-SW on-resistance		62		mΩ
R _{ON(LSFET)}	Low-side MOSFET on-resistance	SW-PGND on-resistance		71		mΩ
V _{FWD}	BATFET forward voltage in supplement mode	BAT discharge current 10mA		30		mV

符号	参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
V _{BATGD}	Battery good comparator rising threshold	V _{BAT} rising		3.55		V
V _{BATGD_HYST}	Battery good comparator falling threshold	V _{BAT} falling		100		mV
BATTERY CHARGER						
V _{BAT_REG_ACC}	Charge voltage regulation accuracy	V _{BAT} =4.208V	-0.5%		0.5%	
I _{CHG_REG_ACC}	Fast charge current regulation accuracy	V _{BAT} =3.8V, I _{CHG} =1024mA	-10%		10%	
V _{BATLOWV}	Battery LOWV falling threshold	Fast charge to precharge, REG04[1]=1	2.6	2.8	2.9	V
V _{BATLOWV_HYST}	Battery LOWV rising threshold	Precharge to fast charge, REG04[1]=1 (Typical 200mV hysteresis)	2.8	3.0	3.1	V
I _{PRECHG_ACC}	Precharge current regulation accuracy	V _{BAT} =2.6V, I _{CHG} =256mA	-20%		20%	
I _{TYP_TERM_ACC}	Typical termination current	I _{TERM} =256mA		256		mA
I _{TERM_ACC}	Termination current accuracy	I _{TERM} =256mA	-22.5%		22.5%	
V _{SHORT}	Battery short voltage	V _{BAT} falling		2.0		V
V _{SHORT_HYST}	Battery short voltage hysteresis	V _{BAT} rising		200		mV
I _{SHORT}	Battery short current	V _{BAT} < 2.2V		100		mA
V _{RECHG}	Recharge threshold below V _{BAT_REG}	V _{BAT} falling, REG04[0]=0		100		mV
t _{RECHG}	Recharge deglitch time	V _{BAT} falling, REG04[0]=0		20		ms
R _{ON_BATFET}	BATFET on-resistance	SYS-BAT MOSFET on-resistance		19		mΩ
INPUT VOLTAGE/CURRENT REGULATION						
V _{INDPM_REG_ACC}	Input voltage regulation accuracy		-2%		2%	
I _{USB_DPM}	USB input current regulation limit, V _{BUS} =5V, current pulled from SW	USB100	85		100	mA
		USB150	125		150	mA
		USB500	440		500	mA
		USB900	750		900	mA
I _{ADPT_DPM}	Input current regulation accuracy	I _{ADP} =1.5A, REG00[2:0]=101	1.3		1.5	A
BAT OVER-VOLTAGE PROTECTION						
V _{BATOVP}	Battery over-voltage threshold	V _{BAT} rising, as percentage of V _{BAT_REG}		104%		
V _{BATOVP_HYST}	Battery over-voltage hysteresis	V _{BAT} falling, as percentage of V _{BAT_REG}		2%		
THERMAL REGULATION AND THERMAL SHUTDOWN						
T _{JUNCTION_REG}	Junction temperature regulation accuracy	REG06[1:0]=11		120		°C
T _{SHUT}	Thermal shutdown rising temperature			160		°C
T _{SHUT_HYS}	Thermal shutdown hysteresis			30		°C
BOOST MODE OPERATION						
V _{OTG_REG}	OTG output voltage	I(V _{BUS})=0, REG06[7:4]=0111(4.998V)		5		V
V _{OTG_REG_ACC}	OTG output voltage accuracy	I(V _{BUS})=0, REG06[7:4]=0111(4.998V)	-3%		3%	

符号	参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
V _{OTG_BAT}	Battery voltage exiting OTG mode	BAT falling, REG04[1]=1	2.9			V
I _{OTG}	OTG mode output current	REG01[0]=0	1			A
		REG01[0]=1	1.5			A
V _{OTG_OVP}	OTG over-voltage threshold	Rising threshold	5.8	6		V
V _{OTG_OVP_HYS}	OTG over-voltage threshold hysteresis	Falling threshold		300		mV
I _{OTG_LSOCP}	LSFET cycle by cycle current limit		5			A
I _{BUSFET_OCP}	BUSFET over-current threshold	REG01[0]=0	1.00	1.15	1.30	A
		REG01[0]=1	1.50	1.70	1.90	A
REGN LDO						
V _{REGN}	REGN LDO output voltage	V _{VBUS} =6V, I _{REGN} =40mA	4.8	5	5.5	V
		V _{VBUS} =5V, I _{REGN} =20mA	4.7	4.8		
I _{REGN}	REGN LDO current limit		50			mA
LOGIC I/O PIN CHARACTERISTICS (OTG, \overline{CE}, STAT, \overline{QDN}, PSEL, PG)						
V _{ILO}	Input low threshold				0.4	V
V _{IH}	Input high threshold		1.3			V
V _{OUT_LO}	Output low saturation voltage	Sink current = 5mA			0.4	V
I²C INTERFACE (SDA, SCL, INT)						
V _{IH}	Input high threshold level	VPULL-UP=1.8V, SDA and SCL	1.3			V
V _{IL}	Input low threshold level	VPULL-UP=1.8V, SDA and SCL			0.4	V
V _{OL}	Output low threshold level	Sink current = 5mA			0.4	V
f _{SCL}	SCL clock frequency				400	kHz

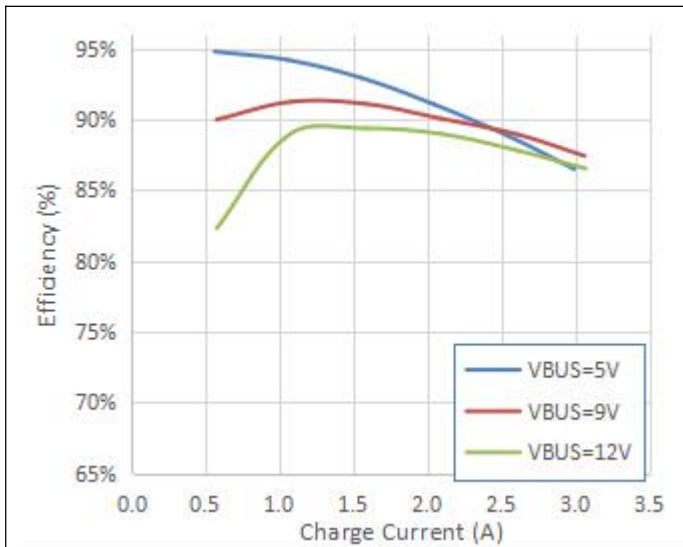
典型特点


Figure 1. Charge Efficiency vs Charge Current

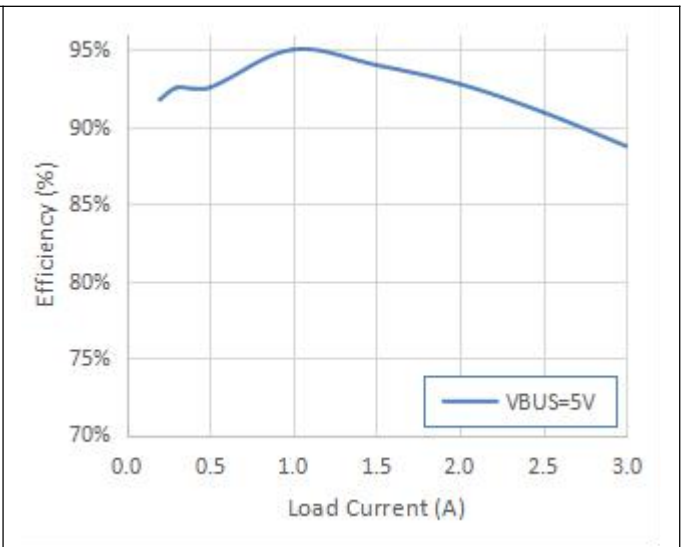


Figure 2. System Efficiency vs System Load Current

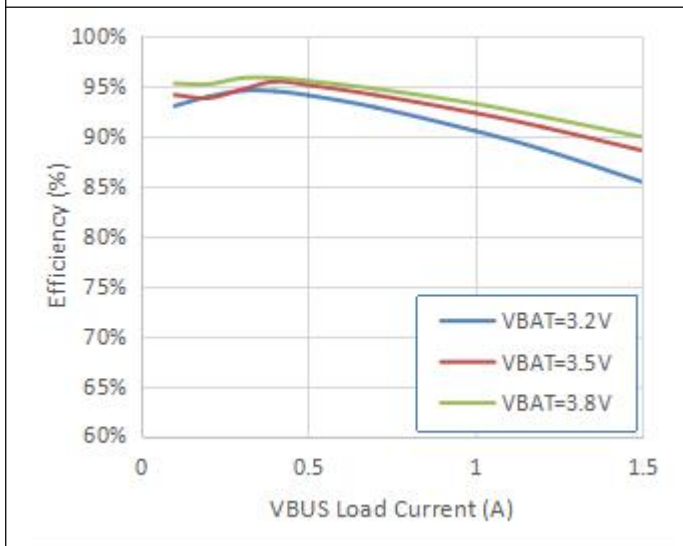


Figure 3. Boost Mode Efficiency vs VBUS Load Current

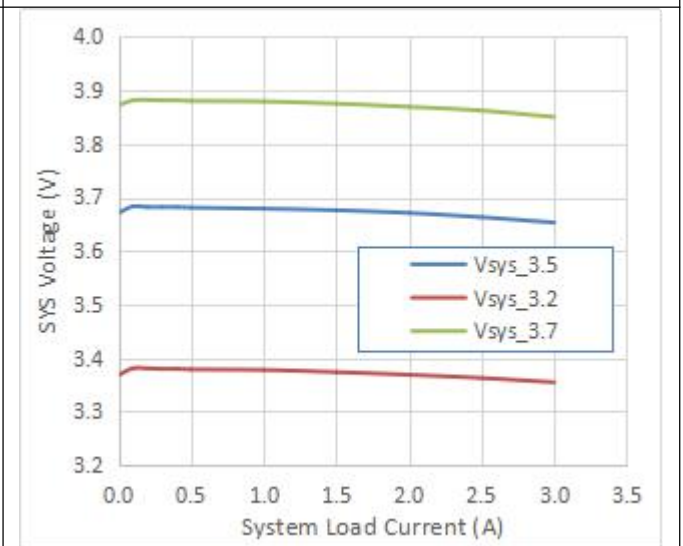


Figure 4. SYS Voltage Regulation vs System Load Current

应用说明

芯片上电

上电复位 (POR)

芯片内部电路由 VBUS 和 BAT 之间电压较高的一个来供电, 当 VBUS 或 BAT 电压上升超过 UVLOZ 门限, 芯片内部检测电路以及 BATFET 驱动就会被激活, 所有内部寄存器被复位到默认值, I²C 接口准备好接受命令, POR 之后主机可以访问所有寄存器。

从电池上电

如果只有电池在且电池电压超过耗尽门限 (V_{BAT_DPL}), BATFET 会开启以连接电池到系统。REGN LDO 保持关闭以降低静态电流。

关闭 BATFET

主机可以通过 I²C 寄存器 REG07[5] 强制关闭 BATFET。这个控制位允许用户独立关闭 BATFET 如果电池状态在充电过程中不正常。当 BATFET 被关闭后, 电池充放电路径被完全切断。如果没有接电池, 应该设置寄存器 REG07[5]=1 来关闭 BATFET 以禁止充电及辅助供电模式。

运输模式 (Shipping Mode)

当系统闲置, 运输或储存时, 为了延长电池寿命和最大限度地降低系统关机功耗, 可以把 BATFET 关闭以使系统电压为零来最小化系统漏电。

在运输模式中为了保持 BATFET 关闭, 关闭 BATFET (REG07[5]=1) 的同时主机必须禁止 watchdog timer (REG05[5:4]=00)。一旦 BATFET 被关闭, 一下任何一个事件都可以重新开启 BATFET 并且清除寄存器位 REG07[5] (BATFET_DISABLE)。

1. 插入适配器
2. I²C 写 REG07[5]=0
3. Watchdog timer 超时
4. 寄存器 reset (REG01[7]=1)
5. 拉低 QON 引脚

从 VBUS 上电

VBUS 插入之后, 芯片会检测输入源的电压以开启 REGN LDO, 在启动 buck 之前还会先检测输入电流限制。

REGN LDO

以 VBUS 工作的时候 REGN LDO 给芯片所有内部电路供电, 包括 HSFET 和 LSFET 的驱动电路, 同时还给外部 TS 电阻网络提供偏置。STAT 和 PG 的上拉电阻也可以接到 REGN。

当所有以下条件都满足时, REGN 被使能。

1. VBUS 电压高于 V_{VBUS_UVLOZ}
2. BUCK 模式下 VBUS 电压高于 V_{BAT+VSLEEPZ}, 或者 BOOST 模式下 VBUS 电压低于 V_{BAT+VSLEEPZ}
3. 经过 220ms 延时

如果以上任何一个条件不满足, 芯片会工作在高阻模式 (HIZ), REGN LDO 保持关闭, 由电池来给系统供电。

输入源检测

REGN LDO 启动之后, 芯片会检测输入源的电流能力, 输入源必须满足以下要求才能启动 BUCK。

1. VBUS 电压低于 V_{ACOV}
 2. 拉电流 I_{BADSRC} (典型值 30mA) 时, VBUS 电压高于 V_{BADSRC} (典型值 3.8V) (弱电源检测)
- 一旦输入源通过以上所有检测, 状态寄存器 REG08[2]

就会被置 1, PG 脚也会被拉低。INT 脚会发送一个脉冲给主机。

如果弱电源检测失败, 每隔 2 秒钟芯片会重复做一次检测。

输入电流限制检测

完成输入源检测之后, 芯片接着会做输入电流限制检测。WB7601 通过 PSEL 和 OTG 引脚设置输入电流限制。检测完成后, 检测结果会报告在 VBUS_STAT 寄存器里 (REG08[7:6]), 输入电流限制值会更新到 IINLIM 寄存器里 (REG00[2:0])。此外, 主机还可以写寄存器 REG00[2:0] 来改变输入电流限制值。

PSEL/OTG 引脚设定输入电流限制值

WB7601 有 PSEL 引脚, 直接通过 USB PHY 设备的输出来决定输入源是 USB 主机还是充电端口。

PSEL	OTG	输入电流限制值	REG08[7:6]
高	低	100mA	01
高	高	500mA	01
低	-	3A	10

Buck 启动

输入电流限制设置完成后，buck 使能，HSFET 和 LSFET 开始开关工作。如果电池充电被禁止，BATFET 关闭；否则 BATFET 保持开启来给电池充电。**智能自适应输入限流 (Input Current Optimizer - ICO)**

本芯片提供具有开创性的智能自适应输入限流 (ICO) 功能来识别最大功率点而又不至于令输入源过载。此算法自动识别输入电源的最大电流限制而又不进入 VINDPM 以避免输入源过载。

此特性默认被禁止 (ICO_DIS=1) 并且可以通过设置 ICO_DIS=0 来启用。

当 ICO 特性被禁止的时候，动态电源管理 DPM 使用 IINLIM 寄存器里的输入限流值；当 ICO 特性被使能的时候，实际的输入限流值被报告在 IDPM_LIM 寄存器里。

Boost 模式

此设备支持 boost 变换器工作模式，以通过 USB 端口从电池输出电源给其他便携式设备。Boost 模式输出电流额定值符合 USB On-The-Go 1A 输出要求。最大输出电流是 1.5A。如果下列条件有效的的话，可以开启 boost 工作模式：

1. BAT 高于 BATLOWV 门限 (VBATLOWV 通过 REG04[1] 设定)
2. VBUS 低于 VBAT+VSLEEP (在 sleep 模式)
3. Boost 模式使能 (REG01[5:4]=10)
4. 热敏电阻温度在 boost 模式范围内，除非 BHOT[1:0] 被设置为 11 (REG06[1:0]) 禁止温度检测功能
5. 从 boost 模式使能开始经过 30ms 延时

在 boost 模式工作期间，状态寄存器 REG08[7:6] 被设置为 11，VBUS 输出电压为 5V，电流可达 1A 或

1.5A，可通过寄存器 REG01[0] 选择。此外，通过改变 BOOSTV 寄存器位 (REG06[7:4])，本芯片提供 4.55V 到 5.5V 的可调节 boost 电压范围。

Boost 工作时如有任何故障发生，包括 VBUS 过压或过流，会设置故障寄存器 REG09[6] 为 1，且通过 INT 引脚发出一个中断给主机。

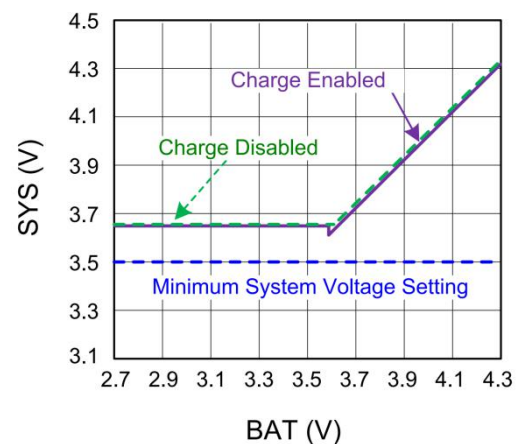
电源路径管理

本芯片广泛适用于从 USB，适配器到汽车电池等多种输入源，且本芯片提供自动电源路径选择，可以从输入源 (VBUS)，电池 (BAT)，或者两者一起给系统 (SYS) 供电。

Narrow VDC (NVDC) 架构

本芯片采用 Narrow VDC (NVDC) 架构，用 BATFET 来把系统从电池分开。最小系统电压通过寄存器 REG01[3:1] 来设定。即使电池完全耗尽，系统电压还是被调节在高于最小系统电压 (典型值 3.5V)。当电池电压低于最小系统电压设定值，BATFET 工作在线性模式 (LDO 模式)，且系统电压会比设定的最小系统电压高 150mV。当电池电压上升到高于最小系统电压时，BATFET 完全导通，系统和电池间的压差就是 BATFET 的 V_{DS} 。当系统电压被调节在最小系统电压时，状态寄存器 REG08[0] 被设置为 1。

当电池充电被禁止或者充电完成，且电池电压高于最小系统电压设定值，系统电压始终被调节在比电池电压高 70mV。



动态电源管理 (DPM)

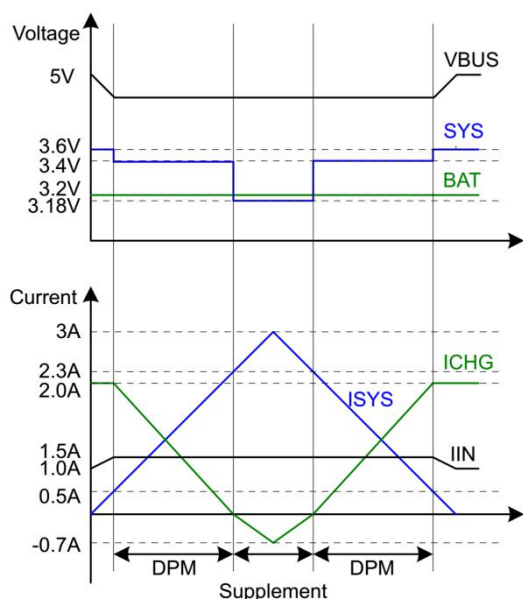
为了符合 USB spec 的最大电流限制且避免适配器过载, 本芯片具有动态电源管理 (DPM) 功能, 它不断的监视输入电流和电压。

当输入源过载, 不论是电流超过输入电流限制值 (REG00[2:0]) 还是电压下降到低于输入电压限制值 (REG00[6:3]), 本芯片会降低充电电流直到输入电流下降到低于输入电流限制值且输入电压上升到高于输入电压限制值。

如果充电电流被降低到零, 但是输入源依然过载, 系统电压会开始下降。一旦系统电压下降到低于电池电压, 本芯片会自动进入辅助供电模式, BATFET 会导通, 电池开始放电, 此时系统由输入源和电池同时供电。

在 DPM 模式期间 (无论 VINDPM 或 IINDPM), 状态寄存器 REG08[3] 会被置 1。

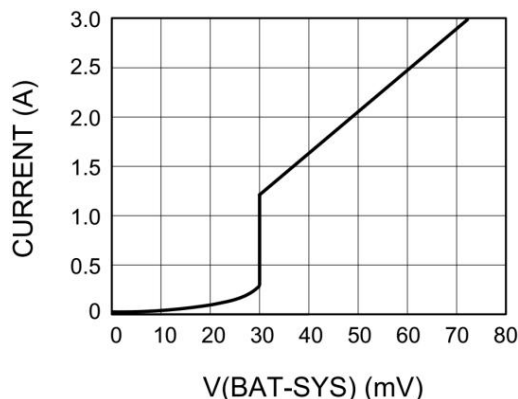
下图是 DPM 模式的工作示意图 (5V/1.2A 适配器, 3.2V 电池, 2.0A 充电电流, 3.4V 最小系统电压)



辅助供电模式 (Supplement Mode)

当系统电压下降到低于电池电压, BATFET 会开启, 芯片会调节 BATFET 的栅极电压以使电流很低时最小 BATFET V_{DS} 仍保持在 30mV。这么做以避免在进入和退出辅助供电模式之间振荡。当放电电流增加, BATFET 的栅极会被调高以降低 $R_{DS(on)}$ 直到 BATFET 完全导通。之后 BATFET V_{DS} 随着放电电流线性增加。下图显示了 BATFET 栅电压调节的 V-I 曲线。当电池

电压低于电池耗尽电压时, BATFET 关断以退出辅助供电模式。



电池充电管理

自动充电循环

在 POR 的时候电池充电默认被使能 (REG01[5:4]=01), 本芯片能在没有主机参与的情况下完成充电循环。默认充电参数如下表所示。

DEFAULT MODE	WB7601
充电电压	4.208V
充电电流	2.048A
预充电电流	128mA
截止电流	256mA
温度监控	JEITA
安全计时器	12 hours

当以下条件成立时, 一个新的充电循环开始:

- 1、Buck 启动
- 2、电池充电被使能, 通过 I²C 寄存器位 (REG01[5:4]=01) 和拉低 \overline{CE}
- 3、TS 引脚上没有热敏电阻故障
- 4、安全计时器没有故障
- 5、BATFET 没有被强制关闭 (REG07[5])

当充电电流低于截止门限且充电电压高于再充电门限时, 本芯片自动停止充电周期。当一个满电的电池被放电到低于再充电门限 (REG04[0]) 时, 本芯片自动开始另一个充电周期。充电完成之后, 切换 \overline{CE} 引脚或者 REG01[5:4] 都会再激活一个新的充电周期。

STAT 输出引脚指示充电状态, 包括充电中 (低),

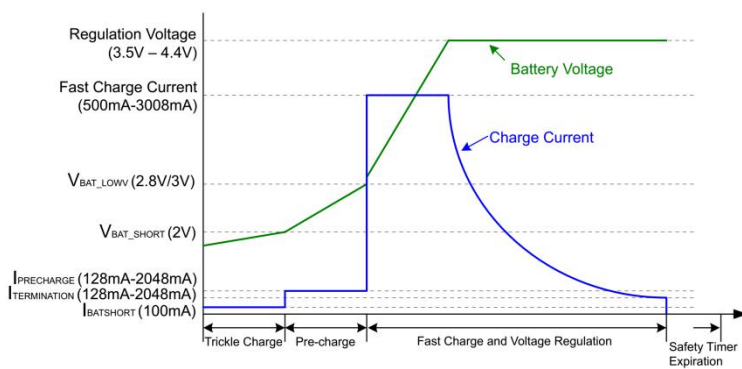
充电完成或禁止（高），充电故障（闪烁）。状态寄存器 REG08[5:4]指示不同的充电阶段：00-禁止充电，01-预充，10-快充（恒流和恒压），11-充电完成。一旦充电周期完成，会发出一个 INT 中断来通知主机。主机随时可以通过写 I²C 寄存器来控制充电操作和优化充电参数。

电池充电配置

本芯片通过3个阶段给电池充电：预充，恒流和恒压。在充电周期开始的时候，本芯片检测电池电压以施加电流。

V _{BAT}	充电电流	寄存器默认设置	REG08[5:4]
V _{BAT} < V _{SHORT} (典型值2V)	100mA	-	01
V _{SHORT} ≅ V _{BAT} < V _{BATLOWV} (典型值2V ≅ V _{BAT} < 3V)	REG03[7:4]	128mA	01
V _{BAT} ≅ V _{BATLOWV} (典型值 V _{BAT} ≅ 3V)	REG02[7:2]	2048mA	10

如果本芯片充电阶段工作在 DPM 调节或热调节模式，实际的充电电流将低于设定的电流，这时候，充电截止功能暂时被禁止，且充电安全计时器时钟频率减半。



电阻补偿 (IRCOMP)

对于大电流充电系统，充电器输出和电池单元终端之间的阻抗例如 PCB 板走线，连接器，MOSFETs 和采样电阻等会令充电过程过早的从恒流转换到恒

压，使得充电时间变长。为了加快充电周期，本芯片提供了电阻补偿 (IRCOMP) 特性，可以延长恒流充电的时间以传输最大的功率给电池。

本芯片允许主机通过基于实际充电电流和电阻提高电压调节设定值以补偿电阻，如下所示。为了安全操作，主机应当设置最大允许的调节电压 (VCLAMP) 和最小补偿电阻值 (BATCOMP)。

$$V_{REG_ACTUAL} = V_{REG} + \min(I_{CHRG_ACTUAL} \times BATCOMP, V_{REG} + V_{CLAMP})$$

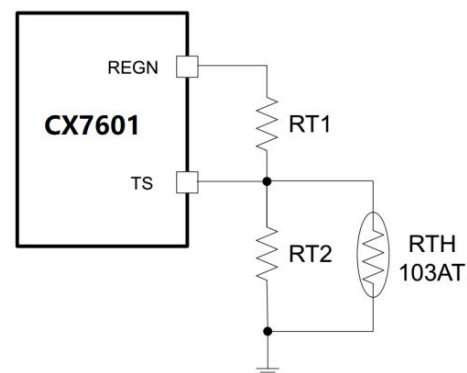
热敏电阻检测

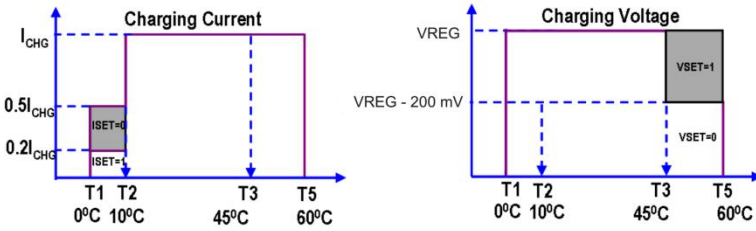
充电模式符合 JEITA 指南

为了提高锂离子电池充电安全，JEITA 指南于 2007年4月20日发布。该指南强调了在特定的低温和高温范围内避免大电流和高电压充电的重要性。

本芯片通过测量 TS 引脚到地的电压实时监控电池温度，通常由一个 NTC 热敏电阻和外部分压电路决定。芯片通过 TS 引脚电压和内部门限比较来决定是否开始充电，TS 引脚电压必须位于 V_{T1}到 V_{T5}门限范围内。如果 TS 电压超出 T1-T5范围，芯片暂停充电并等待电池温度恢复到 T1-T5范围。在低温的时候 (T1-T2)，JEITA 建议减小充电电流到至少一半或更低。在高温的时候 (T3-T5)，JEITA 建议充电电压低于标称值。

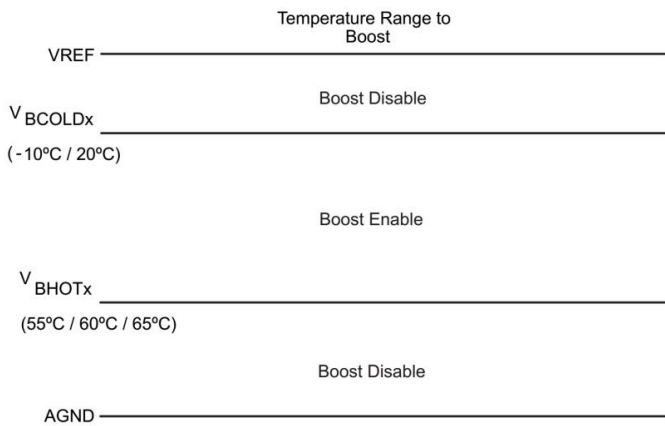
本芯片提供了超出 JEITA 要求的灵活电压/电流设置。在高温时 (T3-T5) 电压设定值可以比标称电压低200mV (JEITA_VSET=0)。在低温时 (T1-T2) 充电电流设定值可以低到20%或50%的快充电流 (JEITA_ISET)。





Boost 模式高/低温窗口

在 boost 模式期间，为了保护电池，本芯片监测电池温度必须位于 V_{BCOLDx} 到 V_{BHOTx} 门限范围内，除非 boost 模式温度检测通过设定 $BHOT=11$ 被禁止。当温度超过门限范围，boost 模式暂停。一旦温度重新回到门限范围内，boost 模式恢复。



状态输出 (PG, STAT 和 INT)

Power Good 指示 (PG)

当以下条件满足时，PG 变低以指示输入源是好的：

1. VBUS 高于 V_{BUS_UVLO}
2. VBUS 高于电池电压（不在 sleep 状态）
3. VBUS 低于 V_{ACOV} 门限
4. 当施加 I_{BADSRC} 电流时 VBUS 高于 V_{BUS_MIN} (不是一个弱电源)

充电状态指示 (STAT)

本芯片通过开漏输出引脚 STAT 来指示充电状态，STAT 引脚可以驱动 LED。

充电状态	STAT
充电正在进行 (包括预充电)	低
充电完成	高
Sleep 模式或者禁止充电	高

中断信号 (INT)

以下事件会产生一个 256us 的 INT 脉冲。

1. USB/适配器检测完成
2. 检测到好的输入源
 - 不在 sleep 状态
 - VBUS 低于 V_{ACOV} 门限
 - 电流限制高于 I_{BADSRC}
3. 输入源移除或 VBUS 高于 V_{ACOV} 门限
4. 充电完成
5. 在 REG09 里的任何故障事件

BATFET 控制

BATFET 全系统复位

当工作在电池放电模式的时候，BATFET 就像电池和系统之间的一个负载开关。通过改变 BATFET 的状态从关断再到开启，连接到 SYS 端的系统可以被有效复位。QON 引脚支持按键接口来复位系统电源而不需要主机去改变 BATFET 的状态。当输入源未插入且

BATFET 被使能，如果 QON 被拉低并保持 t_{QON_RST} (典型值 15 秒)，BATFET 会被关断一段时间 (t_{BATFET_RST})，接着再重新开启以复位系统电源。这个功能可以通过设置 $BATFET_RST_EN$ 位为 0 来禁止。

保护

热调节和热关机

在充电期间，芯片会监测内部结温 T_j 以限制芯片表面温度，避免芯片过热。当内部结温超过预设门限时 ($REG06[1:0]$)，芯片会降低充电电流。芯片的热调节范围宽，从 60°C 到 120°C，允许用户优化系统的热性能。

在芯片热调节期间，实际的充电电流通常低于设定的电池充电电流，所以，充电截止功能被禁止，安全计时器时钟频率减半，并且状态寄存器 $REG08[1]$ 被置 1。

此外，芯片还具有热关机功能以关闭 buck 变换

器，故障寄存器 REG09[5:4]被置为10，且发送一个 INT 中断给主机。

Buck 模式下的电压和电流监测 输入过压 (ACOV)

Buck 模式工作的最高输入电压是 V_{VBUS_OP} ，如果 VBUS 电压超过 V_{ACOV} ，芯片会立即停止开关。在输入过压期间，故障寄存器 REG09[5:4]会被置为01，且发送一个 INT 中断给主机。

系统过压 (SYSOVP)

当系统过压被检测到时，buck 变换器会立即停止工作并对 SYS 箝位放电。

Boost 模式下的电压和电流监测 过流保护

芯片严密监测 BUSFET 和 LSFET 的电流以确保 boost 模式下工作的安全。一旦过流发生，芯片会进入打嗝模式，boost 操作被暂停，BUSFET 被关闭，过32ms 之后再打开并尝试重启 boost，直到过流条件被移除，VBUS OTG 输出恢复正常。在过流保护期间，故障寄存器位 BOOST_FAULT (REG09[6])被置1以表示 boost 操作期间故障发生，且发送一个 INT 中断给主机。

VBUS 过压保护

如果在 boost 模式期间一个适配器插入，一旦 VBUS 电压高于 V_{OTG_OVP} ，芯片会立即停止开关且退出 boost 模式。在过压保护期间，故障寄存器位 BOOST_FAULT (REG09[6])被置1以表示 boost 操作期间故障发生，且发送一个 INT 中断给主机。

电池保护

电池过压保护

电池过压限制被箝位在 $V_{BATOVVP}$ (典型值高于电池调节电压的4%)。当电池过压保护发生时，芯片立即禁止充电。故障寄存器 REG09[3]被置1，且发送一个 INT 中断给主机。

电池过放保护

当电池放电至电压低于 V_{BAT_DPL} 门限，BATFET 会自动关闭以避免电池被过度放电。插入 VBUS 可以自动打开 BATFET 对电池充电。当电池电压 $V_{BAT} < V_{SHORT}$ 时，以 I_{SHORT} (典型100mA) 电流对电池充电；当电池电压介于 V_{SHORTZ} 和 $V_{BATLOWV}$ 之间时，以 IPRECHG 寄存器设定的预充电电流对电池充电。

系统过流保护

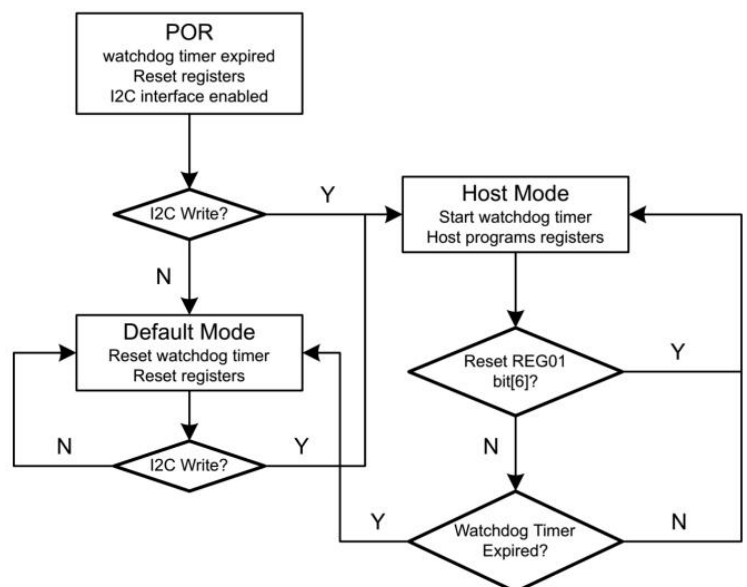
当系统短路或显著过载 ($I_{BAT} > I_{BATOC}$) 的时候，BATFET 会自动关闭且锁定在 Shipping Mode 状态以保护电池。按照退出 Shipping Mode 的方法可以解除锁定重新激活 BATFET。

主机模式和默认模式

此芯片是一个受主机控制的设备，也可以在没有主机管理的默认模式下工作。

当芯片工作在默认模式，REG09[7]=1；当芯片工作在主机模式，REG09[7]=0。

上电复位之后，芯片在看门狗计时器超时状态下启动，也就是默认模式。任何一个写命令都会令芯片切换到主机模式。要保持芯片在主机模式，在看门狗计时器超时之前 (REG05[5:4])，主机必须写1到 REG01[6]以复位看门狗计时器，或者通过设置 REG05[5:4]=00来禁止看门狗计时器。



寄存器列表

I²C Slave 地址: 6Bh (1101011b+ R/W)。

REG	Bit	Field	Type	Reset	Default	Description
00	7	EN_HIZ	R/W	by REG_RST by Watchdog	0	Enable HIZ Mode 0 – Disable 1 – Enable
	6	VINDPM[3]	R/W	by REG_RST	0	640mV
	5	VINDPM[2]	R/W	by REG_RST	1	320mV
	4	VINDPM[1]	R/W	by REG_RST	1	160mV
	3	VINDPM[0]	R/W	by REG_RST	0	80mV
	2	IINLIM[2]	R/W	by REG_RST	X	000 – 100mA, 001 – 150mA, 010 – 500mA, 011 – 900mA, 100 – 1A, 101 – 1.5A, 110 – 2A, 111 – 3A PSEL = Lo: 3A (111)
	1	IINLIM[1]	R/W	by REG_RST	X	PSEL = Hi : 100mA (000) (OTG pin = Lo) or 500mA (OTG pin = Hi)
	0	IINLIM[0]	R/W	by REG_RST	X	
01	7	REG_RST	R/W	N/A	0	Register Reset 0 – Keep current register setting 1 – Reset to default register value Note: REG_RST bit does not reset device to default mode.
	6	WD_RST	R/W	N/A	0	I ² C Watchdog Timer Reset 0 – Normal 1 – Reset (Back to 0 after timer reset)
	5	OTG_CONFIG	R/W	by REG_RST by Watchdog	0	Boost (OTG) Mode Configuration 0 – OTG Disable 1 – OTG Enable
	4	CHG_CONFIG	R/W	by REG_RST by Watchdog	1	Charge Enable Configuration 0 – Charge Disable 1 – Charge Enable
	3	SYS_MIN[2]	R/W	by REG_RST	1	0.4V
	2	SYS_MIN[1]	R/W	by REG_RST	0	0.2V
	1	SYS_MIN[0]	R/W	by REG_RST	1	0.1V
	0	BOOST_LIM	R/W	by REG_RST by Watchdog	1	Boost Mode Current Limit 0 – 1A, 1 – 1.5A

REG	Bit	Field	Type	Reset	Default	Description	
02	7	ICHG[5]	R/W	by REG_RST by Watchdog	0	2048mA	Fast Charge Current Limit Offset: 512mA Range: 512mA (000000) – 3008mA (100111) Default: 2048mA (011000) Note: ICHG > 3008mA is not supported
	6	ICHG[4]	R/W	by REG_RST by Watchdog	1	1024mA	
	5	ICHG[3]	R/W	by REG_RST by Watchdog	1	512mA	
	4	ICHG[2]	R/W	by REG_RST by Watchdog	0	256mA	
	3	ICHG[1]	R/W	by REG_RST by Watchdog	0	128mA	
	2	ICHG[0]	R/W	by REG_RST by Watchdog	0	64mA	
	1	BCOLD	R/W	by REG_RST by Watchdog	0	Boost Mode Cold Temperature Monitor Threshold 0 – V _{BCOLD0} Threshold (77%) 1 – V _{BCOLD1} Threshold (80%)	
	0	FORCE_20P CT	R/W	by REG_RST by Watchdog	0	0 – ICHG as Fast Charge Current (REG02[7:2]) and IPRECH as Pre-Charge Current (REG03[7:4]) programmed 1 – ICHG as 20% Fast Charge Current (REG02[7:2]) and IPRECHG as 50% Pre-Charge Current (REG03[7:4]) programmed	
03	7	IPRECHG[3]	R/W	by REG_RST by Watchdog	0	0000: 256mA; 0001: 256mA; 0010: 128mA; 0011: 384mA; 0100: 512mA; 0101: 768mA; 0110: 896mA; 0111: 1024mA 1000: 1152mA; 1001: 1280mA; 1010: 1408mA; 1011: 1536mA 1100: 1664mA; 1101: 1792mA; 1110: 1920mA; 1111: 2048mA;	
	6	IPRECHG[2]	R/W	by REG_RST by Watchdog	0		
	5	IPRECHG[1]	R/W	by REG_RST by Watchdog	0		
	4	IPRECHG[0]	R/W	by REG_RST by Watchdog	1		
	3	Reserved	R		0	Reserved	
	2	ITERM[2]	R/W	by REG_RST by Watchdog	0	512mA	Offset: 128mA Range: 128mA – 1024mA Default: 256mA
	1	ITERM[1]	R/W	by REG_RST by Watchdog	0	256mA	
	0	ITERM[0]	R/W	by REG_RST by Watchdog	1	128mA	

REG	Bit	Field	Type	Reset	Default	Description	
04	7	VREG[5]	R/W	by REG_RST by Watchdog	1	512mV	Charge Voltage Limit Offset: 3.504V Range: 3.504V – 4.512V (111111) Default: 4.208V (101100)
	6	VREG[4]	R/W	by REG_RST by Watchdog	0	256mV	
	5	VREG[3]	R/W	by REG_RST by Watchdog	1	128mV	
	4	VREG[2]	R/W	by REG_RST by Watchdog	1	64mV	
	3	VREG[1]	R/W	by REG_RST by Watchdog	0	32mV	
	2	VREG[0]	R/W	by REG_RST by Watchdog	0	16mV	
	1	BATLOWV	R/W	by REG_RST by Watchdog	1	Battery Low Threshold (Wakeup Charge to Fast Charge) 0 – 2.8V 1 – 3.0V	
	0	VRECHG	R/W	by REG_RST by Watchdog	0	Battery Recharge Threshold (below VREG) 0 – 100mV 1 – 300mV	
05	7	EN_TERM	R/W	by REG_RST by Watchdog	1	Enable Charge Termination 0 – Disable 1 - Enable	
	6	Reserved	R		0	Reserved	
	5	WATCHDOG [1]	R/W	by REG_RST by Watchdog	0	I ² C Watchdog Timer Setting 00 – Disable watchdog timer 01 – 40s (default) 10 – 80s 11 – 160s	
	4	WATCHDOG [0]	R/W	by REG_RST by Watchdog	1		
	3	EN_TIMER	R/W	by REG_RST by Watchdog	1	Charging Safety Timer Enable 0 – Disable 1 - Enable	
	2	CHG_TIMER [1]	R/W	by REG_RST by Watchdog	1	Fast Charge Timer Setting 00 – 5 hrs 01 – 8 hrs 10 – 12 hrs 11 – 20 hrs	
	1	CHG_TIMER [0]	R/W	by REG_RST by Watchdog	0		
	0	Reserved	R		0	Reserved	

REG	Bit	Field	Type	Reset	Default	Description	
06	7	BOOSTV[3]	R/W	by REG_RST by Watchdog	0	512mV	Boost Mode Voltage Regulation Offset: 4.55V Range: 4.55V – 5.51V Default: 4.998V (0111)
	6	BOOSTV[2]	R/W	by REG_RST by Watchdog	1	256mV	
	5	BOOSTV[1]	R/W	by REG_RST by Watchdog	1	128mV	
	4	BOOSTV[0]	R/W	by REG_RST by Watchdog	1	64mV	
	3	BHOT[1]	R/W	by REG_RST by Watchdog	0	Boost Mode Hot Temperature Monitor Threshold	
	2	BHOT[0]	R/W	by REG_RST by Watchdog	0	00 – V _{BHOT1} Threshold (34.75%) 01 – V _{BHOT0} Threshold (37.75%) 10 – V _{BHOT2} Threshold (31.25%) 11 – Disable boost mode thermal protection	
	1	TREG[1]	R/W	by REG_RST by Watchdog	1	Thermal Regulation Threshold 00 - 60°C	
	0	TREG[0]	R/W	by REG_RST by Watchdog	1	01 - 80°C 10 - 100°C 11 - 120°C	
07	7	DPDM_EN	R/W	by REG_RST	0	Force Input Source Type Detection 0 – Not in Force detection 1 – Force detection (Back to 0 after IST detection)	
	6	TMR2X_EN	R/W	by REG_RST by Watchdog	1	Safety Timer Setting during DPM or Thermal Regulation 0 – Safety timer not slowed by 2X during input DPM or thermal regulation 1 – Safety timer slowed by 2X during input DPM or thermal regulation	
	5	BATFET_DIS	R/W	by REG_RST	0	Force BATFET off to enable ship mode 0 – Allow BATFET turn on 1 – Force BATAFET off	
	4	ACOV_TH[1]	R/W	by REG_RST	0	ACOV threshold: 00 – 5.5V, 01 – 6.5V (5V input, default), 10 – 10.5V (9V input), 11 – 14V (12V input)	
	3	ACOV_TH[0]	R/W	by REG_RST	1		
	2	Reserved	R		0	Reserved	
	1	INT_MASK[1]	R/W	by REG_RST by Watchdog	1	0 – No INT during CHRG_FAULT 1 – INT on CHRG_FAULT	
	0	INT_MASK[0]	R/W	by REG_RST by Watchdog	1	0 – No INT during BAT_FAULT 1 – INT on BAT_FAULT	

REG	Bit	Field	Type	Reset	Default	Description	
08	7	VBUS_STAT[1]	R	N/A	0	00 – Unknown (no input, or DPDM detection incomplete), 01 – USB host, 10 – Adapter port, 11 - OTG	
	6	VBUS_STAT[0]	R	N/A	0		
	5	CHRG_STAT[1]	R	N/A	0	Charging Status 00 – Not in Charging 01 –Wakeup Charge (<Vbatlowv) 10 – Fast Charge 11 – Charge Termination	
	4	CHRG_STAT[0]	R	N/A	0		
	3	DPM_STAT	R	N/A	0		
	2	PG_STAT	R	N/A	0	Power Good Status 0 – Not Power Good 1 – Power Good	
	1	THERM_STAT	R	N/A	0	Thermal Regulation Status 0 – Normal 1 – In Thermal Regulation	
	0	VSYS_STAT	R	N/A	0	VSYS Regulation Status 0 – Not in VSYSMIN regulation (BAT>VSYSMIN) 1 – In VSYSMIN regulation (BAT<VSYSMIN)	
09	7	WATCHDOG_FAULT	R	N/A	1	I ² C Watchdog Fault Status 0 – Normal 1 – Watchdog timer expiration	
	6	OTG_FAULT	R	N/A	0	Boost Mode Fault Status 0 – Normal 1 – VBUS overloaded in OTG, or VBUS OVP, or battery is too low in boost mode	
	5	CHRG_FAULT[1]	R	N/A	0	Charger Fault Status 00 – Normal 01 – Input fault (VBUS>Vacov or VBAT<VBUS<Vbusmin (typical 3.8V)) 10 – Thermal shutdown 11 – Charger Safety Timer Expiration	
	4	CHRG_FAULT[0]	R	N/A	0		
	3	BAT_FAULT	R	N/A	0	Battery Fault Status 0 – Normal 1 – BATOVP (VBAT>Vbatovp)	
	2	Reserved	R		0	Reserved	
	1	NTC_FAULT[1]	R	N/A	0	0 – Normal, 1 – Cold	Note: Temperature threshold is different based on device operates in buck or boost mode
	0	NTC_FAULT[0]	R	N/A	0	0 – Normal, 1 – Hot	

REG	Bit	Field	Type	Reset	Default	Description	
0A	7	PN[2]	R	N/A/	0	010	
	6	PN[1]	R	N/A/	1		
	5	PN[0]	R	N/A/	0		
	4	VBUS_GD	R	N/A	0	VBUS Good Status 0 – Not VBUS attached 1 – VBUS attached	
	3	SDP_STAT	R	N/A	1	USB Input Status 0 – USB100 input is detected 1 – USB500 input is detected (this bit always read 1 when VBUS_STAT is not 001)	
	2	Rev[2]	R	N/A	0	000	
	1	Rev[1]	R	N/A	0		
0	Rev[0]	R	N/A	0			
0B	7	BOOST_FRE Q	R/W	by REG_RST by Watchdog	0	Boost Mode Frequency Selection 0 – 1.5MHz 1 – 500kHz	
	6	STAT_DIS	R/W	by REG_RST by Watchdog	0	Disable STAT Pin 0 – Enable STAT pin function 1 – Disable STAT pin function	
	5	BAT_COMP[2]	R/W	by REG_RST by Watchdog	0	80mΩ	IR Compensation Resistor Setting Range: 0 – 140mΩ Default: 0mΩ (000) (i.e. Disable IR Comp)
	4	BAT_COMP[1]	R/W	by REG_RST by Watchdog	0	40mΩ	
	3	BAT_COMP[0]	R/W	by REG_RST by Watchdog	0	20mΩ	
	2	VCLAMP[2]	R/W	by REG_RST by Watchdog	0	128mV	IR Compensation Resistor Setting Offset: 0mV Range: 0 – 224mV Default: 0mV (000)
	1	VCLAMP[1]	R/W	by REG_RST by Watchdog	0	64mV	
	0	VCLAMP[0]	R/W	by REG_RST by Watchdog	0	32mV	

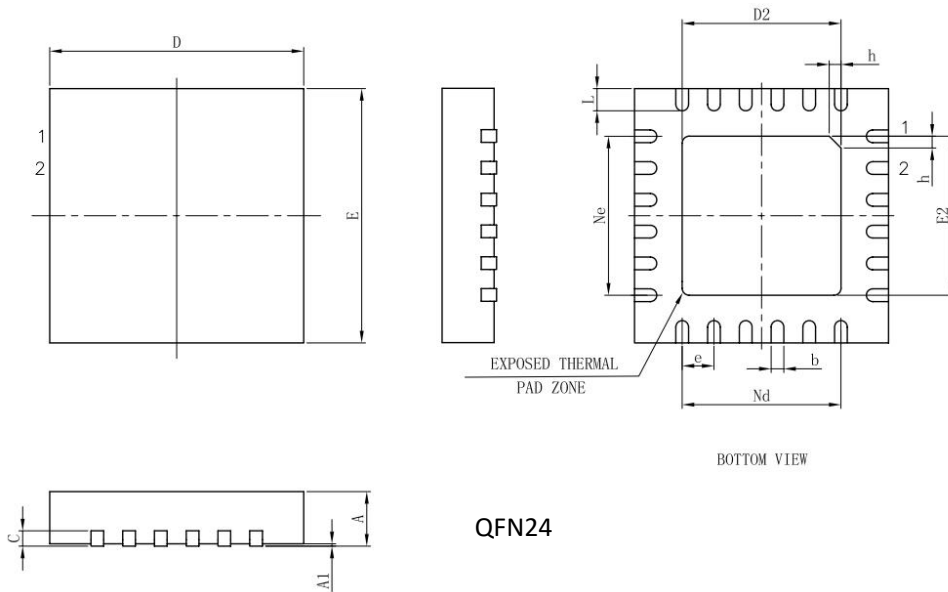
REG	Bit	Field	Type	Reset	Default	Description	
0C	7	JEITA_ISET	R/W	by REG_RST by Watchdog	1	JEITA Low Temperature Charge Current Setting 0 – 50% of CC 1 – 20% of CC	
	6	JEITA_VSET	R/W	by REG_RST by Watchdog	0	JEITA High Temperature Charge Voltage Setting 0 – Set Charge Voltage to VREG-200mV during JEITA high temperature 1 – Set Charge Voltage to VREG during JEITA high temperature	
	5	BAT_LOADEN	R/W	by REG_RST by Watchdog	0	Battery Load (IBATLOAD) Enable 0 – Disable 1 - Enable	
	4	BATFET_DLY	R/W	by REG_RST	0	BATFET turn off delay control 0 – BATFET turn off immediately when BATET_DIS bit is set 1 – BATFET turn off delay by tSM_DLY when BATFET_DIS bit is set	
	3	BATFET_RST_EN	R/W	by REG_RST	1	BATFET full system reset enable 0 – Disable BATFET full system reset 1 – Enable BATFET full system reset	
	2	Reserved	R	N/A	0	Reserved	
	1	Reserved	R	N/A	1	Reserved	
	0	ICO_DIS	R/W	by REG_RST	1	Disable Input Current Limit Optimization (ICO) 0 – Enable Optimization 1 – Disable Optimization	
0D	7	FORCE_ICO	R/W	by REG_RST	0	Force Start Input Current Limit Optimization (ICO) 0 – Do not force OPT 1 – Force OPT (can be set only and will back to 0 after OPT starts)	
	6	ICO_OPTIMIZED	R	N/A	0	Input Current Limit Optimization (ICO) Status 0 – Optimization is in progress 1 – Maximum Input Current Detected	
	5	IDPM_LIM[5]	R	N/A	0	1600mA	Input Current Limit in effect while Input Current Optimizer (ICO) is enabled Offset: 100mA Range: 100mA (000000) – 3.25A (111111)
	4	IDPM_LIM[4]	R	N/A	0	800mA	
	3	IDPM_LIM[3]	R	N/A	0	400mA	
	2	IDPM_LIM[2]	R	N/A	0	200mA	
	1	IDPM_LIM[1]	R	N/A	0	100mA	
	0	IDPM_LIM[0]	R	N/A	0	50mA	

PCB 设计参考

- 1, IC 下面需敷铜散热 (IC 衬底要连接到 PGND), 散热面积尽量大, 衬底焊盘打通孔到 PCB 底层, 并适当露铜皮增强散热。
- 2, 大电流通路尽量走在同一层, 而要尽量粗短。如: BAT, 电感 L 到 SW, SYS 走线等。
- 3, AGND 用单点连接的方式回到 PGND。

WB7601

封装外形尺寸



SYMBOL	MILLMETER		
	MIN	NOM	MAX
A	0.7	0.75	0.8
A1	—	0.02	0.05
b	0.18	0.25	0.3
c	0.18	0.2	0.25
D	3.9	4	4.1
D2	2.4	2.5	2.6
e	0.50BSC		
Ne	2.50BSC		
Nd	2.50BSC		
E	3.9	4	4.1
E2	2.4	2.5	2.6
L	0.35	0.4	0.45
h	0.3	0.35	0.4
L/F 载体尺寸	110×110		

Contact Information

No.1001, Shiwan(7) Road, Pudong District, Shanghai, P.R.China.201202

Tel: 86-21-68960674 Fax: 86-21-50757680 Email: market@way-on.com

WAYON website: <http://www.way-on.com>

For additional information, please contact your local Sales Representative.

is registered trademark of Wayon Corporation.

Specifications are subject to change without notice.

The device characteristics and parameters in this data sheet can and do vary in different applications and actual device performance may vary over time

Users should verify actual device performance in their specific applications.