

**TPS61381-Q1 汽车级 400kHz、40V、15A 升压转换器，  
具备 LDO 充电器和电池运行状况检测功能**

## 1 特性

- 符合面向汽车应用的 AEC-Q100 标准
  - 器件温度等级 1：- 40°C 至 125°C 环境工作温度范围
- I2C 可编程 LDO 充电器
  - 支持充电器输入电压 ( VOUT 引脚 ) 高达 21V，绝对最大值高达 40V，可承受负载突降
  - 支持 1-5 节镍氢电池、1-2 节锂离子电池、磷酸铁锂电池、1-4 个超级电容器的多化学物电池充电曲线
  - 可编程充电电流 50mA 和 100mA
  - 宽电池电压工作范围 0V 至 12V
  - 可编程充电计时器高达 32h
  - NTC 热敏电阻输入用于监控电池温度
- 可编程升压转换器，支持 12V 汽车电池备用电源系统
  - 可编程输出电压范围：5V 至 12V
  - 5A 至 15A 的可编程升压平均输入电流限制
  - 升压模式下的备用电池 (BUB) 电压：0.5V 至 12V
    - 启动时最低电压为 3V
    - 可在 Vout 大于 5V 时以 1V 启动
  - 在 12V 系统压降时在 20us 内自动切换至升压模式
- 备用电池运行状况 (SOH) 检测
  - 可调节放电电流范围为 0A 至 1.5A
  - 电池电压、放电电流和电池温度的多信号模拟输出 ( AVI 引脚 )
- 更低静态电流和泄漏电流
  - 待机模式下静态电流为 20  $\mu$  A
  - < 1  $\mu$  A 关断电流
  - < 1  $\mu$  A 连接备用电池的引脚泄漏电流
- 降低 EMI
  - 400kHz 固定开关频率
  - 可选可编程扩展频谱
- 具有可湿性侧面的 3mm  $\times$  4mm 25 引脚封装

压,可承受负载突降情况,并支持直接连接 12V 的汽车电池。

TPS61381-Q1 集成了 I2C 可配置 LDO 充电器，支持镍氢电池、锂离子电池、磷酸铁锂电池、超级电容器。

**TPS61381-Q1** 集成了升压功能,可在 **0.5V** 至 **12V** **BUB** 电压和 **5** 至 **12V** 输出电压下运行。该器件应用具有可选展频的固定频率峰值电流控制方案,从而更大幅度地降低 **EMI**。升压功能支持 **5A** 至 **15A** 可编程平均电流限制。

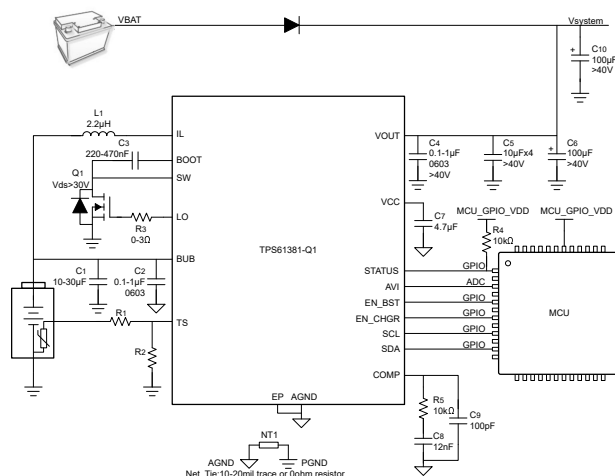
TPS61381-Q1 集成了电池运行状况检测功能，可使用恒定电流进行电池放电，并检测电池内部电阻两端的压降。

TPS61381-Q1 采用具有可湿性侧面的 3mm × 4mm QFN 封装。在使用 TPS61381-Q1 设计 PCB 时必须小心，请查看 [节 8.4.2](#) 以了解详细信息。

## 器件信息

器件型号	封装 <sup>(1)</sup>	封装尺寸 (标称值)
TPS61381-Q1	RAV	3.0mm × 4.0mm

(1) 如需了解所有可用封装, 请参阅数据表末尾的可订购产品附录。



### 典型应用电路

## 2 应用

- 紧急呼叫 (eCall)

### 3 说明

TPS61381-Q1 是一款 400kHz、40V、15A 汽车专用双向升压转换器/具有电池运行状况检测功能的 LDO 充电器，专为 TBOX 或紧急呼叫等备用电源系统设计。该转换器在 VOUT 引脚上支持高达 40V 的绝对最大电

## 内容

<b>1 特性</b> .....	<b>1</b>	7.6 寄存器 05H : CHGR_SET2.....	<b>49</b>
<b>2 应用</b> .....	<b>1</b>	7.7 寄存器 06H : CHGR_SET3.....	<b>50</b>
<b>3 说明</b> .....	<b>1</b>	7.8 寄存器 07H : CHGR_SET4.....	<b>51</b>
<b>4 引脚配置和功能</b> .....	<b>3</b>	7.9 寄存器 08H : CHGR_STATUS.....	<b>52</b>
<b>5 规格</b> .....	<b>5</b>	7.10 寄存器 09H : SOH_SET1.....	<b>53</b>
5.1 绝对最大额定值.....	<b>5</b>	7.11 寄存器 0AH : SOH_SET2.....	<b>54</b>
5.2 ESD 等级.....	<b>5</b>	7.12 寄存器 0BH : CONTROL_STATUS.....	<b>55</b>
5.3 建议运行条件.....	<b>5</b>	7.13 寄存器 0CH : FAULT_CONDITION.....	<b>56</b>
5.4 热性能信息.....	<b>5</b>	7.14 寄存器 0DH : STATUS_PIN_SET.....	<b>57</b>
5.5 电气特性.....	<b>6</b>	7.15 寄存器 0EH : SW_RST.....	<b>58</b>
5.6 I2C 时序特性.....	<b>9</b>	<b>8 应用和实施</b> .....	<b>59</b>
5.7 典型特性.....	<b>10</b>	8.1 应用信息.....	<b>59</b>
<b>6 详细说明</b> .....	<b>14</b>	8.2 典型应用.....	<b>59</b>
6.1 概述.....	<b>14</b>	8.3 电源相关建议.....	<b>71</b>
6.2 功能方框图.....	<b>15</b>	8.4 布局.....	<b>71</b>
6.3 特性说明.....	<b>16</b>	<b>9 器件和文档支持</b> .....	<b>75</b>
6.4 充电器功能说明.....	<b>21</b>	9.1 器件支持.....	<b>75</b>
6.5 升压功能说明.....	<b>31</b>	9.2 文档支持.....	<b>75</b>
6.6 电池运行状态 (SOH) 检测功能说明.....	<b>37</b>	9.3 接收文档更新通知.....	<b>75</b>
6.7 I2C 串行接口.....	<b>40</b>	9.4 支持资源.....	<b>75</b>
<b>7 寄存器映射</b> .....	<b>43</b>	9.5 商标.....	<b>75</b>
7.1 寄存器 00H : CHIP_ID.....	<b>44</b>	9.6 静电放电警告.....	<b>75</b>
7.2 寄存器 01H : BOOST_SET1.....	<b>45</b>	9.7 术语表.....	<b>75</b>
7.3 寄存器 02H : BOOST_SET2.....	<b>46</b>	<b>10 修订历史记录</b> .....	<b>75</b>
7.4 寄存器 03H : BOOST_SET3.....	<b>47</b>	<b>11 机械、封装和可订购信息</b> .....	<b>76</b>
7.5 寄存器 04H : CHGR_SET1.....	<b>48</b>		

## 4 引脚配置和功能

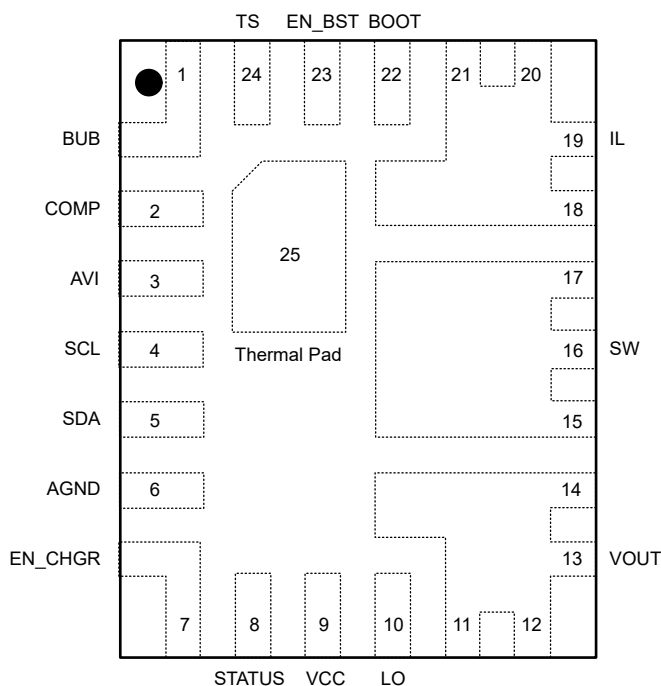


图 4-1. 可焊侧翼具有的 24 引脚 QFN 封装（顶视图）

终端		I/O	说明
名称	RAV		
BUB	1	I	备用电池电压检测引脚。连接 BUB 时尽可能靠近电池的正极端子，以实现更精确的电压感应。
COMP	2	O	外部补偿引脚。此引脚是跨导放大器的输出。在 COMP 引脚和 AGND 之间连接补偿网络。
AVI	3	O	用于电池运行状况 (SOH) 检测功能的模拟电压输出引脚。AVI 引脚可以配置为输出备份电池电压、放电电流和备份电池温度。当禁用 AVI 输出时，该引脚内部会通过 125k $\Omega$ 下拉电阻连接至 AGND。
SCL	4	I	I2C 接口的时钟引脚。
SDA	5	I/O	I2C 接口的数据引脚。
AGND	6	G	信号接地引脚。通过 20mil 导线或 0 $\Omega$ 电阻器连接 PGND (低电平侧 MOSFET 源)。有关 GND 连接的详细信息，请参阅节 8.4.2。
EN_CHGR	7	I	充电器功能启用引脚。将此引脚驱动为高电平/低电平可启用/禁用充电功能。
状态	8	O	STATUS 指示输出引脚。用于 STATUS 指示功能的漏极开路输出。默认情况下，在进入升压模式时输出低电平。可由 I2C 进行选择以输出其他信号。
VCC	9	O	内部稳压器输出。用作内部控制电路的电源。不要将此引脚连接至任何外部负载。在该引脚与 AGND 之间连接一个 2.2-4.7 $\mu$ F 的电容器
LO	10	O	低侧 MOSFET 的栅极驱动器引脚
VOUT	11、12、13、14	P	升压转换器输出引脚。
SW	15、16、17	P	器件开关引脚和稳压器的开关节点。连接到低侧 MOSFET 漏极。

终端		I/O	说明
名称	RAV		
IL	18、19、20、21	P	升压转换器输入引脚。连接到电感器。
BOOT	22	O	高侧 MOSFET 栅极驱动器的电源。在 SW 节点和 BOOT 之间连接一个 100nF-470nF 的电容器。当 SW 节点为低电平时，内部二极管为电容器充电。
EN_BST	23	I	升压功能启用引脚。将此引脚驱动为高电平/低电平可启用/禁用升压功能。
TS	24	I	温度鉴定电压输入引脚。直接在 TS 和 GND 之间连接一个负温度系数 (NTC) 热敏电阻 (建议使用 AT103-2)。当 TS 引脚电压超出范围时，充电暂停。
EP	25	G	散热焊盘。连接 AGND。

## 5 规格

### 5.1 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）<sup>(1)</sup>

		最小值	最大值	单位
端子上的电压范围	SW、VOUT	-0.3	40	V
	IL	-0.3	18	V
	BUB、EN_BST、EN_CHGR、STATUS	-0.3	15	V
	LO、TS、AVI、SDA、SCL、VCC、COMP	-0.3	6	V
	BOOT 至 SW	-0.3	6	V
T <sub>J</sub>	结温	-40	150	°C
T <sub>stg</sub>	贮存温度	-65	150	°C

- (1) 超出“绝对最大额定值”运行可能会对器件造成永久损坏。绝对最大额定值并不表示器件在这些条件下或在建议运行条件以外的任何其他条件下能够正常运行。如果超出“建议运行条件”但在“绝对最大额定值”范围内使用，器件可能不会完全正常运行，这可能影响器件的可靠性、功能和性能并缩短器件寿命。

### 5.2 ESD 等级

			值	单位
V <sub>(ESD)</sub> <sup>(1)</sup>	静电放电	人体放电模型 (HBM)，符合 AEC Q100-002 标准 <sup>(2)</sup>	±2000	V
		充电设备模型 (CDM)，符合 AEC Q100-011，所有引脚 <sup>(3)</sup>	±500	
V <sub>(ESD)</sub> <sup>(1)</sup>	静电放电	充电设备模型 (CDM)，符合 AEC Q100-011，转角引脚 <sup>(3)</sup>	±750	V

- (1) 静电放电 (ESD) 衡量器件对装配线在其内部的静电放电所造成的损坏的敏感度和抵抗能力。  
(2) 上表所列级别是 ANSI、ESDA 和 JEDEC JS-001 规定的通过级别。JEDEC 文档 JEP155 指出：500V HBM 允许在标准 ESD 控制流程下安全生产。若部署必要的预防措施，则可以在低于 500V HBM 时进行生产。  
(3) 上表所列级别是 EIA-JEDEC JESD22-C101 规定的通过级别。JEDEC 文档 JEP157 指出：250V CDM 时能够在标准 ESD 控制流程下安全生产。如果具备必要的预防措施，则可以在低于 250V CDM 时进行生产。

### 5.3 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	标称值	最大值	单位
V <sub>BUB</sub>	备用电池电压范围	0.5		12	V
V <sub>OUT</sub>	输出电压范围	V <sub>in</sub>		20	V
L	400kHz 频率的有效电感范围	1*0.7	2.2		μH
C <sub>I</sub>	有效输入电容范围（禁用 BuB 电压环路）		10		μF
C <sub>I</sub>	有效输入电容范围（启用 BuB 电压环路），BUB IR < 100mohm			10	μF
C <sub>I</sub>	有效输入电容范围（启用 BuB 电压环路），BUB IR < 400mohm			5	μF
C <sub>O</sub>	有效输出电容范围	30	220		μF
T <sub>A</sub>	环境温度	-40		125	°C
T <sub>J</sub>	结温	-40		150	°C

### 5.4 热性能信息

热指标 <sup>(1)</sup>		PKG DES ( 16 引脚 )	PKG DES ( 16 引脚 )	单位
		标准	EVM <sup>(2)</sup>	
R <sub>θJA</sub>	结至环境热阻	40.4	25.49	°C/W
R <sub>θJC(top)</sub>	结至外壳（顶部）热阻	12.0	待定	°C/W
R <sub>θJB</sub>	结至电路板热阻	6.9	待定	°C/W

热指标 <sup>(1)</sup>		PKG DES ( 16 引脚 )	PKG DES ( 16 引脚 )	单位
		标准	EVM <sup>(2)</sup>	
$\Psi_{JT}$	结至顶部特征参数	0.2	2.4	°C/W
$\Psi_{JB}$	结至电路板特征参数	6.9	13.05	°C/W
$R_{\theta JC(bot)}$	结至外壳 ( 底部 ) 热阻	23.6	待定	°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。

(2) 在 TPS61381QEVMM-126 上测得，4 层，2oz 铜，116mmx76mm PCB。

## 5.5 电气特性

$T_J = -40^{\circ}\text{C}$  至  $150^{\circ}\text{C}$ ， $V_{BUB} = 3.6\text{V}$  和  $V_{OUT} = 12\text{V}$  ( LDO 充电器模式 )， $V_{OUT} = 6.2\text{V}$  ( 升压模式 )。除非另有说明，否则典型值是在  $T_J = 25^{\circ}\text{C}$  时给出。

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
<b>电源</b>						
$V_{BUB}$	备用电池电压范围		0		13	V
$V_{BUB\_UVLO}$	欠压锁定阈值	$V_{BUB}$ 上升时， $V_{OUT} = 0\text{V}$			2.8	V
		$V_{BUB}$ 上升时， $V_{OUT} > 5\text{V}$ 或 $V_{CC} > 4.5\text{V}$ ，升压模式激活			1	V
		$V_{BUB}$ 下降时， $V_{OUT} > V_{VOUT\_UVLO}$ ，升压模式激活			0.5	V
$V_{VOUT\_UVLO}$	欠压锁定阈值	$V_{OUT}$ 上升			3.5	V
$V_{VOUT\_UVLO\_HYS}$	$V_{VOUT\_UVLO}$ 磁滞				300	mV
$I_{Q\_BOOST\_STANDBY}$	升压和待机模式下流入 BUB 引脚的静态电流	升压启用，LDO 禁用，SOH 禁用，无负载，无开关， $V_{out\_target} = 6.2\text{V}$ ， $V_{OUT} = 10\text{V}$ 至 $18\text{V}$ ， $T_J$ 高达 $85^{\circ}\text{C}$ ， $V_{out}$ 预偏置。		0.01	0.1	uA
	升压和待机模式下流入 VOUT 引脚的静态电流	升压启用，LDO 禁用，SOH 禁用，无负载，无开关， $V_{out\_target} = 6.2\text{V}$ ， $V_{OUT} = 10\text{V}$ 至 $18\text{V}$ ， $T_J$ 高达 $85^{\circ}\text{C}$ ， $V_{out}$ 预偏置。		20	30	uA
$I_{Q\_LDO\_STANDBY}$	在 LDO 和待机模式下流入 BUB 引脚的静态电流	LDO 模式启用和升压模式禁用，SOH 禁用，无负载，无开关，无有效充电， $V_{out} = 12\text{V}$ ， $V_{BUB} >$ 目标， $T_J$ 高达 $85^{\circ}\text{C}$		0.01	0.1	uA
	在 LDO 和待机模式下流入 VOUT 引脚的静态电流	LDO 模式已启用，且升压模式禁用，SOH 禁用，无负载，无开关，无有效充电， $V_{out} = 12\text{V}$ $V_{BUB} >$ 目标， $T_J$ 高达 $85^{\circ}\text{C}$		20	30	uA
$I_{SD}$	流入 BUB 引脚的关断电流	$EN\_BST=0$ 和 $EN\_CHGR=0$ ， $T_J$ 高达 $85^{\circ}\text{C}$		0.2	1	uA
	流入 VOUT 引脚的关断电流	$EN\_BST=0$ 和 $EN\_CHGR=0$ ， $T_J$ 高达 $85^{\circ}\text{C}$		0.2	1	uA
$I_{VOUT\_LKG}$	流入 VOUT 引脚的泄漏电流，Q2 泄漏电流	$V_{SW} = V_{IL} = 0\text{V}$ 且 $V_{OUT} = 10\text{V}$ 至 $18\text{V}$ ，IC 已禁用， $T_J$ 高达 $85^{\circ}\text{C}$		0.1	10	uA
$I_{IL\_LKG}$	流入 IL 引脚的泄漏电流，Q 泄漏电流	$V_{SW} = V_{OUT} = 0\text{V}$ 且 $V_{IL} = 0\text{V}$ 至 $4.8\text{V}$ ，IC 已禁用， $T_J$ 高达 $85^{\circ}\text{C}$		0.1	10	uA
$V_{CC}$	内部稳压器输出	$I_{CC} = 20\text{mA}$	5	5.2	5.35	V
<b>升压输出</b>						
$V_{OUT}$	输出电压设置范围	可通过 I2C 编程	5		12	V
$V_{OUT\_PWM\_ACY}$	输出电压精度	PWM 或 FPWM	-2.5		2.5	%

$T_J = -40^{\circ}\text{C}$  至  $150^{\circ}\text{C}$  ,  $V_{BUB} = 3.6\text{V}$  和  $V_{OUT} = 12\text{V}$  ( LDO 充电器模式 ) ,  $V_{OUT} = 6.2\text{V}$  ( 升压模式 ) 。除非另有说明, 否则典型值是在  $T_J = 25^{\circ}\text{C}$  时给出。

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位	
V <sub>OUT_PFM_ACY</sub>		PFM	1.5			%	
V <sub>OUT_STANDBY</sub>	升压待机阈值	V <sub>out</sub> 上升	6			%	
V <sub>OUT_OVP</sub>	充电器和升压输出过压保护，上升		23			V	
	充电器和升压输出过压保护，下降		21			V	
t <sub>OFF_min</sub>	最短关闭时间	升压模式，低侧	100			157	ns
Duty_min_down_mode	升压模式下的最小占空比		6			11	%
I <sub>LIM_BOOST</sub>	升压模式下的平均电流限制精度	I <sub>LIM_BOOST</sub> = 5A	4	5	6	A	
		I <sub>LIM_BOOST</sub> = 10A	8	10	12	A	
		I <sub>LIM_BOOST</sub> = 15A	11	15	18	A	
I <sub>peak_boost</sub>	绝对峰值电流限制范围（在升压模式下）	I <sub>LIM_BOOST</sub> = 5A 或 10A	15			A	
		I <sub>LIM_BOOST</sub> = 15A	30			A	
电源开关							
R <sub>DS(on)</sub>	高侧 MOSFET 导通电阻	VCC = 5.0V	20			mΩ	
R <sub>DS(on)</sub>	隔离 MOSFET 导通电阻	VCC = 5.0V	6			mΩ	
f <sub>SW</sub>	开关频率		360	400	440	kHz	
栅极驱动器							
V <sub>DRV_L</sub>	低态电压降	100mA 灌电流	0.08			V	
V <sub>DRV_H</sub>	高态电压降	VCC - VDRV，100mA 拉电流	0.18			V	
充电器 CC/CV							
V <sub>BUB</sub>	BUB CV 设置电压范围		1.7		12	V	
	V <sub>BUB</sub> 精度	对于锂离子和磷酸铁锂电池，T <sub>J</sub> = -20°C 至 85°C	-1		1	%	
	V <sub>BUB</sub> 精度	对于超级电容器，T <sub>J</sub> = -20°C 至 85°C	-2		2	%	
I <sub>CC</sub>	充电电流设置范围		50		100	mA	
	I <sub>CC</sub> 精度	50mA =< I <sub>CC</sub> < 100mA，T <sub>J</sub> = -20°C 至 85°C	-20		20	%	
V <sub>BUB_SHORT</sub>	每节锂离子电池的 BUB 短路电压上升阈值	V <sub>BUB</sub> 上升，T <sub>J</sub> = -20°C 至 85°C	2.1	2.2	2.3	V	
V <sub>BUB_SHORT</sub>	每节磷酸铁锂电池的 BUB 短路电压上升阈值	V <sub>BUB</sub> 上升，T <sub>J</sub> = -20°C 至 85°C	1.1	1.2	1.3	V	
V <sub>BUB_SHORT_HYS</sub>	迟滞		170			mV	
I <sub>SHORT</sub>	BUB 短路电流		15			mA	
V <sub>BUB_LOWV</sub>	每节锂离子电池的预充电至快速充电瞬态阈值	V <sub>BUB</sub> 上升，T <sub>J</sub> = -20°C 至 85°C	2.7	2.8	3	V	
V <sub>BUB_LOWV</sub>	每节磷酸锂电池的预充电至快速充电瞬态阈值	V <sub>BUB</sub> 上升，T <sub>J</sub> = -20°C 至 85°C	1.9	2	2.1	V	
V <sub>BUB_LOWV_HYS</sub>	磁滞，每节电池	V <sub>BUB</sub> 下降	100			mV	
I <sub>precharge</sub>	预充电电流	I <sub>CC</sub> = 100mA	30			mA	
V <sub>RECHG_HYS</sub>	每节锂离子电池的电池充电阈值	V <sub>BUB</sub> 下降，V <sub>BUB_CV</sub> - V <sub>BUB</sub> ，T <sub>J</sub> = -20°C 至 85°C	50	100	200	mV	

$T_J = -40^{\circ}\text{C}$  至  $150^{\circ}\text{C}$  ,  $V_{BUB} = 3.6\text{V}$  和  $V_{OUT} = 12\text{V}$  ( LDO 充电器模式 ) ,  $V_{OUT} = 6.2\text{V}$  ( 升压模式 ) 。除非另有说明, 否则典型值是在  $T_J = 25^{\circ}\text{C}$  时给出。

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
V <sub>RECHG_HYS</sub>	每节磷酸锂电池的电池充电阈值	V <sub>BUB</sub> 下降, V <sub>BUB_CV</sub> - V <sub>BUB</sub> , T <sub>J</sub> = -20°C 至 85°C	150	200	285	mV
V <sub>RECHG_HYS</sub>	每个超级电容器的电池充电阈值	V <sub>BUB</sub> 下降, V <sub>BUB_CV</sub> - V <sub>BUB</sub> , V <sub>BUB</sub> = 2.5V, T <sub>J</sub> = -20°C 至 85°C	110	150	200	mV
V <sub>CHG_NIMH</sub>	每个镍氢电池的电池充电阈值	T <sub>J</sub> = -20°C 至 85°C	1.31	1.34	1.365	V
V <sub>BUB_OVP</sub>	锂离子电池/磷酸铁锂电池/超级电容器的 BUB 过压阈值	以 V <sub>BUB</sub> 百分比的形式上升, T <sub>J</sub> = -20°C 至 85°C	101	104	106	%
V <sub>BUB_OVP</sub>	每节镍氢电池的 BUB 过压阈值	上升, T <sub>J</sub> = -20°C 至 85°C	1.65	1.7	1.75	V
t <sub>CHARGING</sub>	充电计时器精度		7	8	9	hr
t <sub>SAFETY</sub>	安全定时器精度		9	10	11.5	hr
t <sub>ON_INTERMITTENT</sub>	间歇充电中的导通时间		2			s
t <sub>OFF_INTERMITTENT</sub>	间歇充电中的关断时间		58			s
电池组 NTC 监控						
I <sub>TS_BIAS</sub>	TS 标称偏置电流	T <sub>J</sub> = -20°C 至 85°C	35.5	38	40	uA
V <sub>COLD</sub>	低温阈值	TS 引脚电压上升 ( 约 0°C )	0.99	1.04	1.09	V
	低温退出阈值	TS 引脚电压下降 ( 约 4°C )	0.83	0.88	0.93	V
V <sub>HOT</sub>	高温阈值	TS 引脚电压下降 ( 约 45°C )	176	188	200	mV
	高温退出阈值	TS 引脚电压上升 ( 约 40°C )	208	220	232	mV
V <sub>TS_CLAMP</sub>	TS 最大电压钳位	TS 引脚开路 ( 悬空 )	2.3	2.6	2.9	V
电池运行状况检测						
I <sub>DISCHARGE</sub>	放电电流范围		0		1.5	A
	放电电流精度	T <sub>J</sub> = 25°C	480	500	520	mA
	放电电流精度	T <sub>J</sub> = -20°C 至 85°C	470	500	520	mA
V <sub>DISCHARGE_AVI</sub>	放电电流测量电压范围		0		3.3	V
	放电电流测量电压精度	I <sub>DISCHARGE</sub> = 500mA, 比率 = 2, T <sub>J</sub> = 25°C	-3.2		3.2	%
	放电电流测量电压精度	I <sub>DISCHARGE</sub> = 500mA, 比率 = 2, T <sub>J</sub> = -20°C 至 85°C	-4		4	%
V <sub>BUB_AVI</sub>	BUB 电压测量范围		0		3.3	V
	BUB 电压测量精度	T <sub>J</sub> = -20°C 至 85°C, 比率 = 0.5	-0.3		0.15	%
		T <sub>J</sub> = -20°C 至 85°C, 比率 = 1	-0.1		0.1	%
V <sub>TEMP_AVI</sub>	BUB 温度测量范围		0		3.3	V
	BUB 测量精度	T <sub>J</sub> = -20°C 至 85°C	-0.4		0.6	%
逻辑接口						
V <sub>I2C_IO</sub>	I2C 的 IO 电压范围		1.7		5.5	V
V <sub>I2C_H</sub>	I <sup>2</sup> C 输入高电平阈值	V <sub>CC</sub> = 2.7V 至 5.5V			1.2	V
V <sub>I2C_L</sub>	I <sup>2</sup> C 输入低电平阈值	V <sub>CC</sub> = 2.7V 至 5.5V	0.4			V
V <sub>EN_H</sub>	EN_BST 和 EN_CHG 逻辑高电平阈值	V <sub>CC</sub> = 2.7V 至 5.5V			1.2	V
V <sub>EN_L</sub>	EN_BST 和 EN_CHG 逻辑低电平阈值	V <sub>CC</sub> = 2.7V 至 5.5V	0.4			V
热保护						



$T_J = -40^{\circ}\text{C}$  至  $150^{\circ}\text{C}$  ,  $V_{\text{BUB}} = 3.6\text{V}$  和  $V_{\text{OUT}} = 12\text{V}$  ( LDO 充电器模式 ) ,  $V_{\text{OUT}} = 6.2\text{V}$  ( 升压模式 ) 。除非另有说明, 否则典型值是在  $T_J = 25^{\circ}\text{C}$  时给出。

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
$T_{\text{SD}}$	热关断	$T_J$ 上升		175		$^{\circ}\text{C}$
$T_{\text{SD\_HYS}}$	热关断迟滞			15		$^{\circ}\text{C}$

## 5.6 I2C 时序特性

$T_J = -40^{\circ}\text{C}$  至  $150^{\circ}\text{C}$  ,  $V_{\text{CC}} = 5\text{V}$ 。典型值在  $T_J = 25^{\circ}\text{C}$  下测得 ( 除非另有说明 ) 。

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
<b>I2C TIMING</b>						
$f_{\text{SCL}}$	SCL 时钟频率		100		400	kHz
$t_{\text{BUF}}$	STOP 与 START 条件之间的总线空闲时间	快速模式 +	0.5			$\mu\text{s}$
$t_{\text{HD(STA)}}$	( 重复 ) START 条件后的保持时间		260			ns
$t_{\text{LOW}}$	SCL 时钟的低电平周期		0.5			$\mu\text{s}$
$t_{\text{HIGH}}$	SCL 时钟的高电平周期		260			ns
$t_{\text{SU(STA)}}$	重复 START 条件的建立时间		260			ns
$t_{\text{SU(DAT)}}$	数据建立时间		50			ns
$t_{\text{HD(DAT)}}$	数据保持时间		0			$\mu\text{s}$
$t_{\text{RCL}}$	SCL 信号的上升时间				120	ns
$t_{\text{RCL1}}$	重复 START 状态和 ACK 位之后的 SCL 信号上升时间				120	ns
$t_{\text{FCL}}$	SCL 信号的下降时间				120	ns
$t_{\text{RDA}}$	SDA 信号的上升时间				120	ns
$t_{\text{FDA}}$	SDA 信号的下降时间				120	ns
$t_{\text{SU(STO)}}$	停止条件的建立时间		260			ns
$C_B$	SDA 和 SCL 的容性负载				200	pF

## 5.7 典型特性

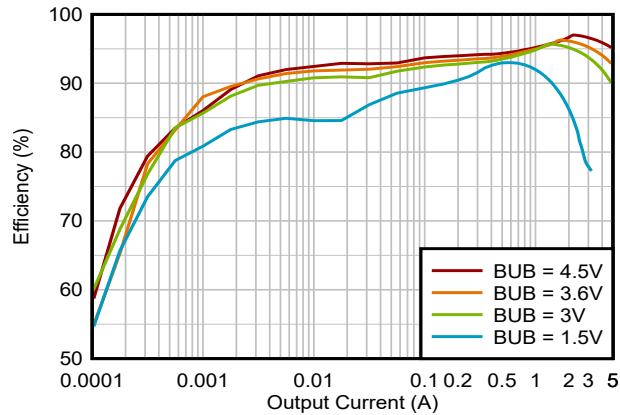


图 5-1. 升压效率与输出电流间的关系,  $V_{OUT} = 6.2V$ , PFM

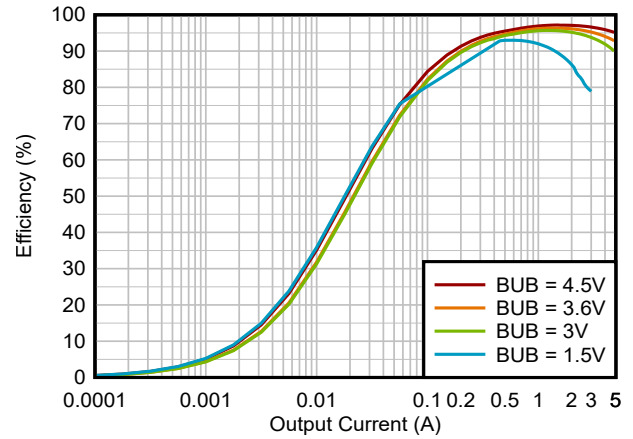


图 5-2. 升压效率与输出电流间的关系,  $V_{OUT} = 6.2V$ , FPWM

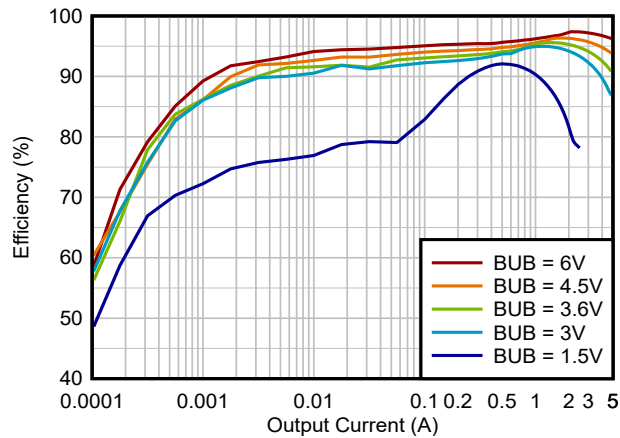


图 5-3. 升压效率与输出电流间的关系,  $V_{OUT} = 8V$ , PFM

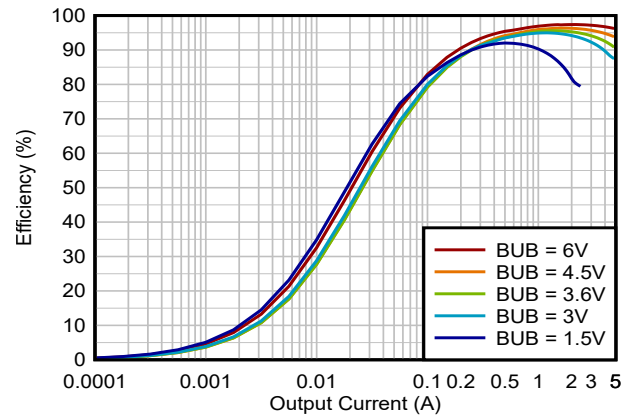


图 5-4. 升压效率与输出电流间的关系,  $V_{OUT} = 8V$ , FPWM

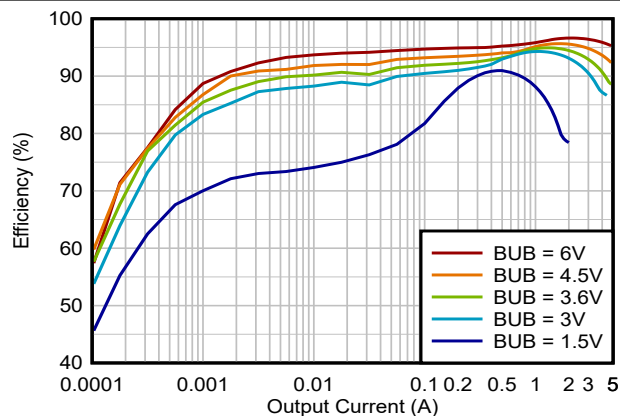


图 5-5. 升压效率与输出电流间的关系,  $V_{OUT} = 10V$ , PFM

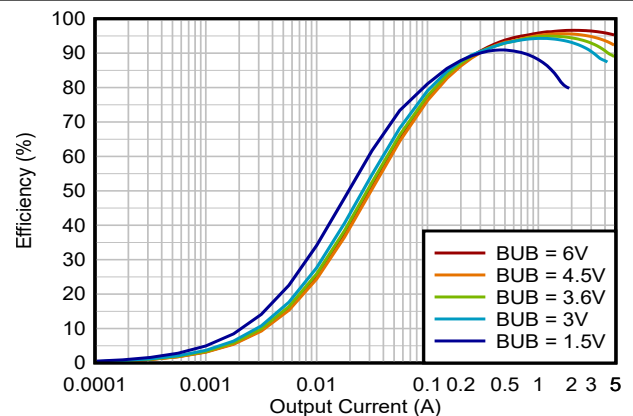


图 5-6. 升压效率与输出电流间的关系,  $V_{OUT} = 10V$ , FPWM

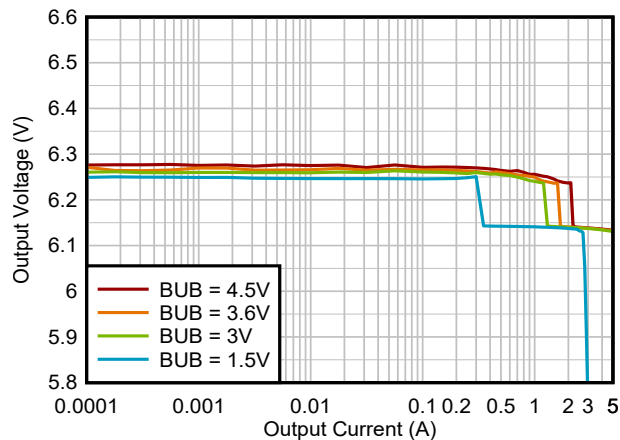


图 5-7. 输出电压与输出电流间的关系,  $V_{OUT} = 6.2V$ , PFM

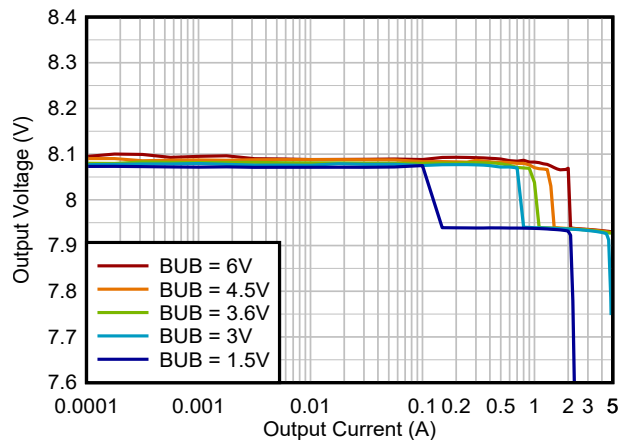


图 5-8. 输出电压与输出电流间的关系,  $V_{OUT} = 8V$ , PFM

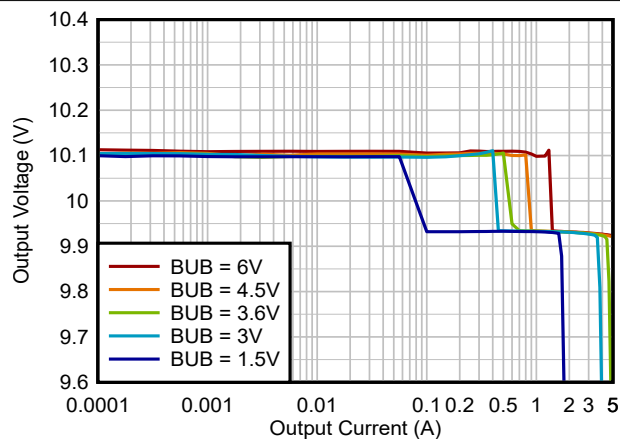


图 5-9. 输出电压与输出电流间的关系,  $V_{OUT} = 10V$ , PFM

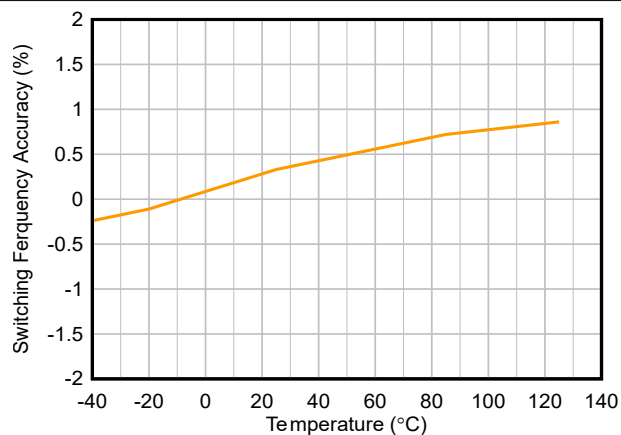


图 5-10. 开关频率与温度间的关系, FPWM,  $V_{BUB} = 3.6V$ ,  $V_{OUT} = 6.2V$

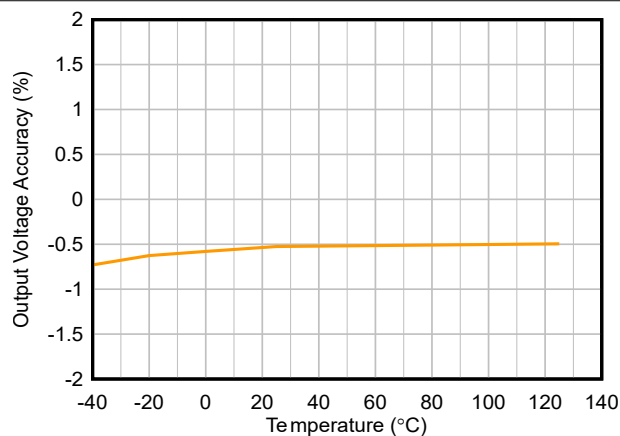


图 5-11. 输出电压精度与温度间的关系, FPWM,  $V_{BUB} = 3.6V$ ,  $V_{OUT} = 6.2V$

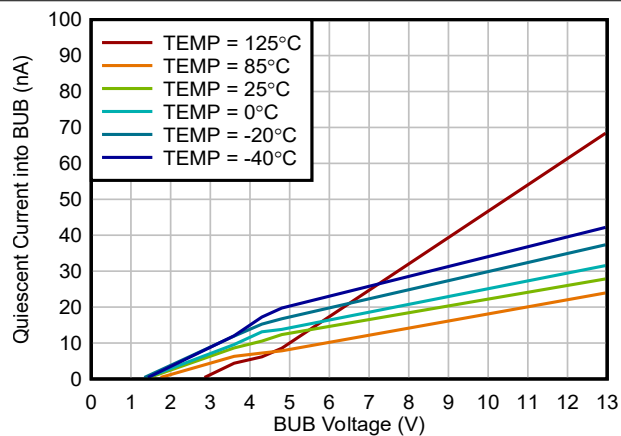


图 5-12. 流入 BUB 的静态电流与 BUB 电压间的关系,  $V_{OUT} = 12V$

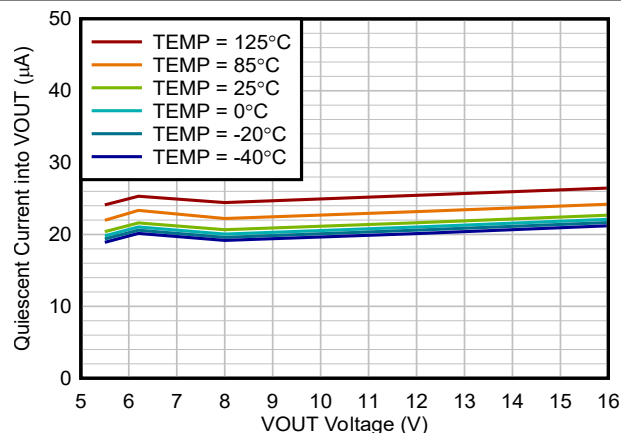


图 5-13. 流入 VOUT 的静态电流与 VOUT 电压间的关系,  $V_{BUB} = 3.6V$

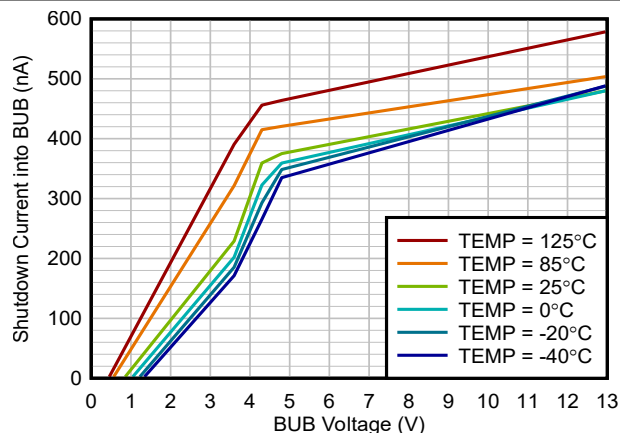


图 5-14. 流入 BUB 的关断电流与 BUB 电压间的关系,  $V_{OUT} = 12V$

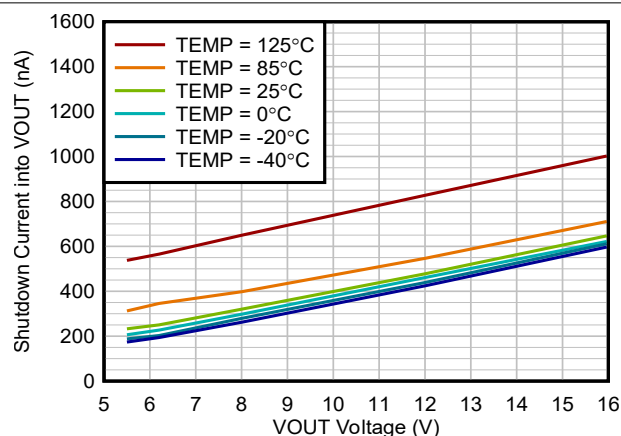


图 5-15. 流入 VOUT 的关断电流与 VOUT 电压间的关系,  $V_{BUB} = 3.6V$

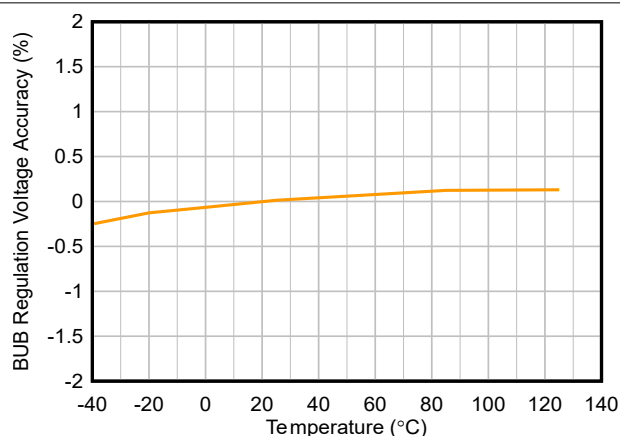


图 5-16. 电池调节电压精度与温度间的关系,  $I_{charge} = 100mA$

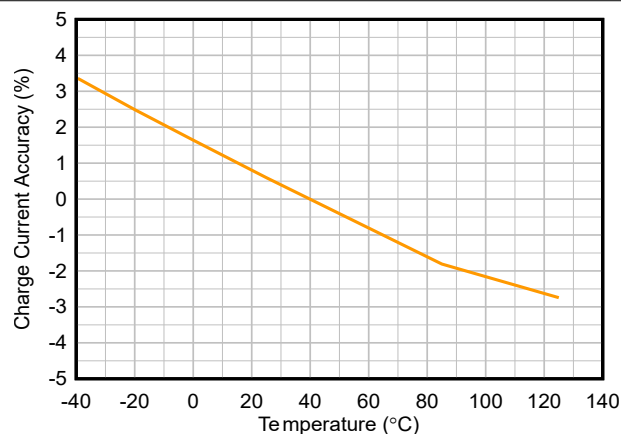


图 5-17. 充电电流精度与温度间的关系,  $I_{charge} = 100mA$

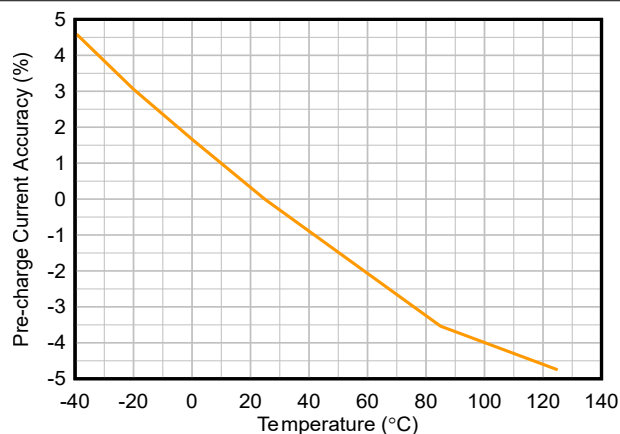


图 5-18. 预充电电流精度与温度间的关系

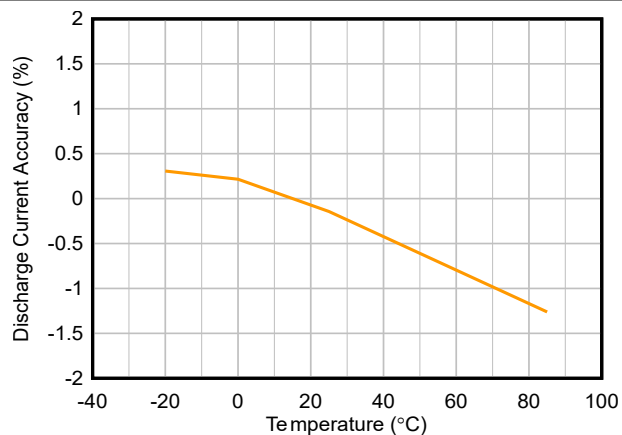


图 5-19. 放电电流精度与温度间的关系,  $I_{\text{discharge}} = 500\text{mA}$

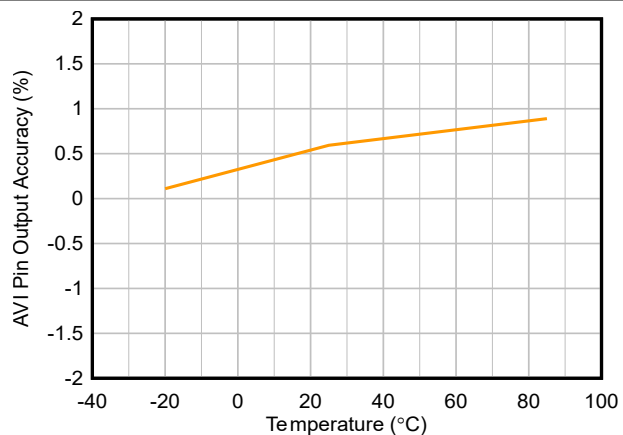


图 5-20. AVI 引脚放电电流输出精度与温度间的关系,  $I_{\text{discharge}} = 500\text{mA}$ , 比率 = 2

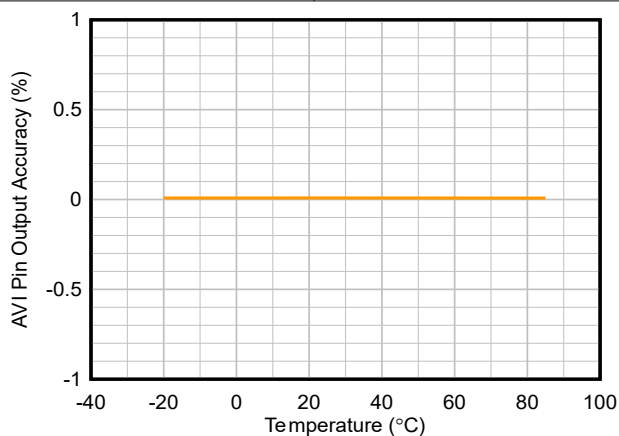


图 5-21. AVI 引脚 BUB 电压输出精度与温度间的关系, 比率 = 1

## 6 详细说明

### 6.1 概述

TPS61381-Q1 是一款双向升压转换器/LDO 充电器，具有电池运行状态 (SOH) 检测功能。该器件为 TBOX 和紧急呼叫应用等备用电源系统提供集成电源解决方案。该转换器的 VOUT 引脚支持 40V 额定电压，可承受负载突降情况，并支持与 12V 汽车电池直接连接。该转换器支持用于备用电源系统的升压功能。当汽车电池发生故障，系统侧检测到压降时，集成电路会自动切换到升压模式。

TPS61381-Q1 集成了升压功能，在升压模式下可在 0.5V 至 13V BUB 电压和 5V 至 12V 可编程输出电压的宽范围内工作。该器件采用固定频率峰值电流模式控制方案，可提供简化的环路补偿、对负载瞬态的快速响应以及固有的线电压抑制功能。误差放大器将反馈电压与内部基准电压进行比较。误差放大器的输出决定了峰值电感器电流。集成电路还支持 5A-15A 可选平均电流限制。

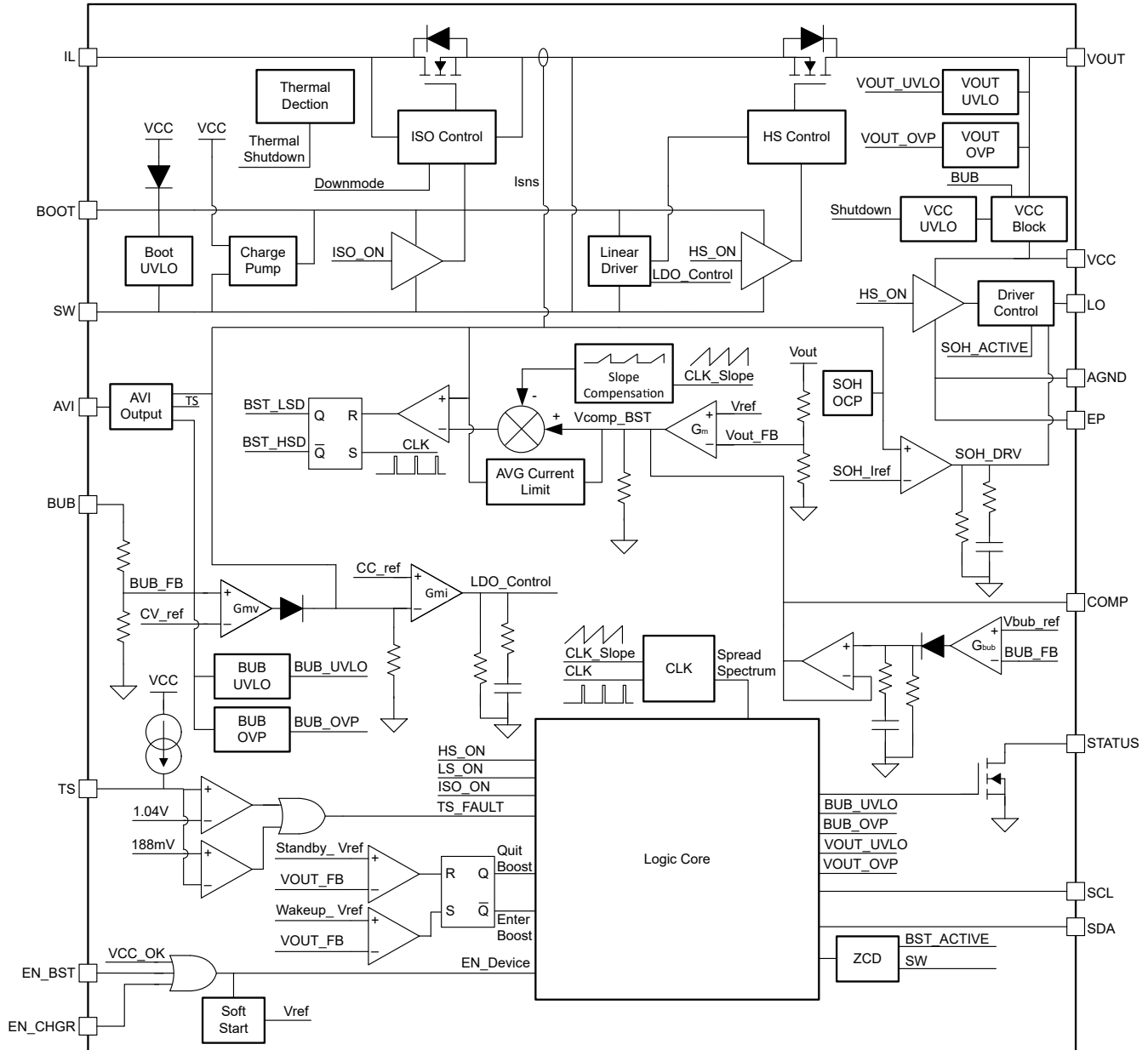
TPS61381-Q1 集成了一个 I2C 可配置恒流/恒压 (CC/CV) LDO 充电器，用于为电池充电。充电器功能支持 1 至 5 节镍氢电池、1 至 2 节锂离子电池、锂聚合物电池、磷酸铁锂电池和 1 至 4 节超级电容器。该器件支持电池温度监控功能，将 TS 引脚连接至电池 NTC，以检测电池温度，并在检测到电池温度过高/过低时暂停充电。

TPS61381-Q1 集成了电池运行状态 (SOH) 检测功能，能以恒定电流对电池放电，并检测电池内阻上的压降。通过 I2C 接口控制备用电池的放电电流，并将检测到的 BUB 电压输出到 MCU。MCU 可以计算内阻并诊断电池的运行状况。

内部振荡器的工作频率固定为 400kHz，为集成电路的开关周期提供时钟。为了更大限度地降低 EMI，TPS61381-Q1 的开关抖动频率为 400kHz 开关频率的  $\pm 7\%$ 。

TPS61381-Q1 采用具有可湿性侧面的 3mm × 4mm QFN 封装。

## 6.2 功能方框图



## 6.3 特性说明

### 6.3.1 VCC 电源和 UVLO 逻辑

内部 VCC\_LDO 从 BUB 或 VOUT 引脚灌入电流，以便根据 BUB 和 VOUT 电压以及工作模式为 VCC 供电至 5.2V 的目标值。IC 仅在其至少一个 EN 引脚为高电平且 VCC 电压大于 2.8V 时才会被启用。

VCC 引脚和 AGND 引脚之间连接有一个陶瓷电容器，以稳定 VCC 电压并对 VCC 引脚上的噪声进行去耦。该陶瓷电容器的有效电容应该高于 1  $\mu$ F。推荐使用电介质等级为 X7R 或 X5R、额定电压高于 6.3V 的陶瓷电容器。

TPS61381-Q1 根据不同的工作模式在 BUB、VOUT 和 VCC 引脚上应用欠压锁定 (UVLO) 逻辑。必须为其施加足够的电压，以确保 IC 正常工作。

表 6-1. UVLO 逻辑

运行模式	VBUB	VOUT	VCC
升压模式	$>V_{BUB\_UVLO}$	$>0V$	$>2.8V$
充电器模式	$>0V$	$>V_{VOUT\_UVLO}$	$>2.8V$
SOH 模式	$>0V$	$>V_{VOUT\_UVLO}$	$>2.8V$
待机模式	$>0V$	$>V_{VOUT\_UVLO}$	$>2.8V$

### 6.3.2 启用或关断

TPS61381Q 应用两个 EN 引脚来配置器件的工作模式。I2C 接口功能可通过 EN\_BST 引脚或 EN\_CHGR 引脚启用。启用器件后，器件根据 EN 引脚、I2C 配置和 VOUT 电压进入其工作模式。有关工作模式的详细信息，请参阅节 6.3.3。

表 6-2. 启用或关断逻辑

EN 引脚配置	I2C EN 位配置	器件状态	I2C 接口	器件电流消耗
EN_CHGR 引脚 = 0 且 EN_BST 引脚 = 0	X	关断	禁用 寄存器复位	$<1 \mu A$ (典型值)
EN_CHGR 引脚 = 1 且 EN_BST 引脚 = 0	CHGR_SOH_EN 位 = 00b	待机	启用	$20 \mu A$ (典型值)
EN_CHGR 引脚 = 0 且 EN_BST 引脚 = 1	CHGR_SOH_EN 位 = 00b	待机	启用	$20 \mu A$ (典型值)
EN_CHGR 引脚 = 1	CHGR_SOH_EN 位 = 01b/10b	设备激活	启用	基于工作条件
EN_BST 引脚 = 1	BST_EN 位 = 1	设备激活	启用	基于工作条件

当通过 EN 引脚 (EN\_BST = 0 且 EN\_CHGR = 0) 禁用 TPS61381-Q1 时，器件会完全关断。在关断状态下，该器件消耗的电流低于 1  $\mu A$  关断电流，I2C 寄存器复位为默认值，并且 I2C 接口被禁用。当通过 EN 位 (BST\_EN = 0 且 CHGR\_SOH\_EN = 0) 禁用器件时，器件会进入待机状态。此状态下的电流消耗为 20  $\mu A$ ，I2C 寄存器内容保持不变且 I2C 接口处于活动状态。

在关断和待机状态期间，TPS61381-Q1 支持真正断开功能，并且备用电池与输出完全断开。



### 6.3.3 器件工作模式和控制逻辑

TPS61381-Q1 支持四种工作模式来实现其主要功能：充电器模式、升压模式、运行状况 (SOH) 模式和待机模式。每种模式的电源结构如下图所示：

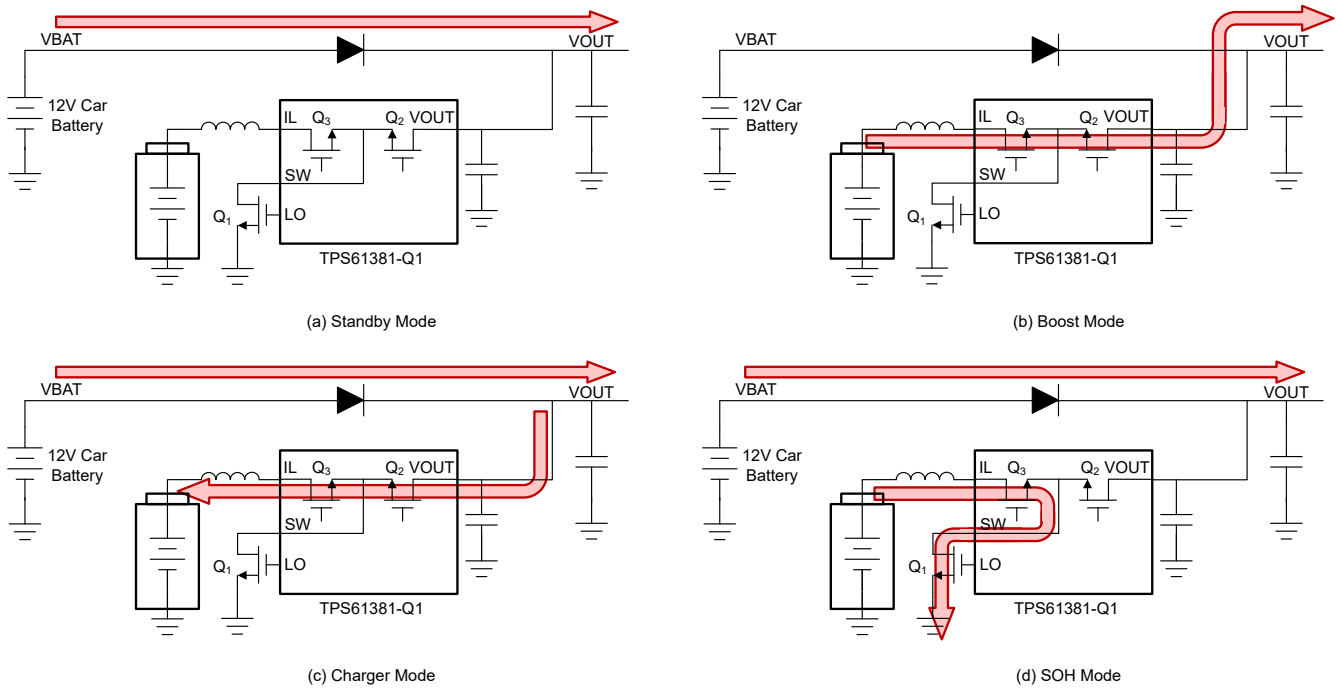


图 6-1. TPS61381-Q1 工作模式

TPS61381-Q1 在其 EN 引脚和 I2C EN 位上应用 AND 逻辑。当 EN\_BST 引脚和 BST\_EN 位均为高电平时，器件会启用升压功能。当 EN\_CHGR 引脚为高电平且 CHGR\_SOH\_EN 位为 01b 时，器件会启用充电器。当 EN\_CHGR 引脚为高电平且 CHGR\_SOH\_EN 位为 10b 时，器件会启用 SOH。

表 6-3. 工作模式控制逻辑

升压启用：EN_BST 引脚和 BST_EN 位的 AND 逻辑	充电器/SOH 启用：EN_CHGR 和 CHGR_SOH_EN 位的 AND 逻辑	器件状态	器件操作
EN_BST = 0 或 BST_EN = 0	EN_CHGR = 1 且 CHGR_SOH_EN = 01b	纯充电器	充电器激活。
EN_BST = 0 或 BST_EN = 0	EN_CHGR = 1 且 CHGR_SOH_EN = 10b	纯 SOH	SOH 激活。
EN_BST = 1 且 BST_EN = 1	EN_CHGR = 0 或 CHGR_SOH_EN = 00b	自动升压和待机	<ul style="list-style-type: none"> <li>升压激活：<math>V_{OUT} &lt; V_{BST\_WAKE}</math></li> <li>待机激活：<math>V_{OUT} &gt; V_{OUT\_STANDBY}(106\% V_{OUT\_TARGET})</math></li> </ul>
EN_BST = 1 且 BST_EN = 1	EN_CHGR = 1 且 CHGR_SOH_EN = 01b	自动升压和充电器模式	<ul style="list-style-type: none"> <li>升压激活：<math>V_{OUT} &lt; V_{BST\_WAKE}</math></li> <li>充电器激活：<math>V_{OUT} &gt; V_{OUT\_STANDBY}(106\% V_{OUT\_TARGET})</math></li> </ul>
EN_BST = 1 且 BST_EN = 1	EN_CHGR = 1 且 CHGR_SOH_EN = 10b	自动升压和 SOH 模式	<ul style="list-style-type: none"> <li>升压激活：<math>V_{OUT} &lt; V_{BST\_WAKE}</math></li> <li>SOH 激活：<math>V_{OUT} &gt; V_{OUT\_STANDBY}(106\% V_{OUT\_TARGET})</math></li> </ul>

当启用多项功能时，TPS61381-Q1 通过 VOUT 引脚监控系统电压，以决定进入哪种功能模式。当系统电压足够时，IC 会保持在待机/充电器或 SOH 模式（取决于启用的功能），并在检测到汽车电池故障和系统电压下降时自动切换到升压模式。功能状态图中显示了多个不同的工作模式。

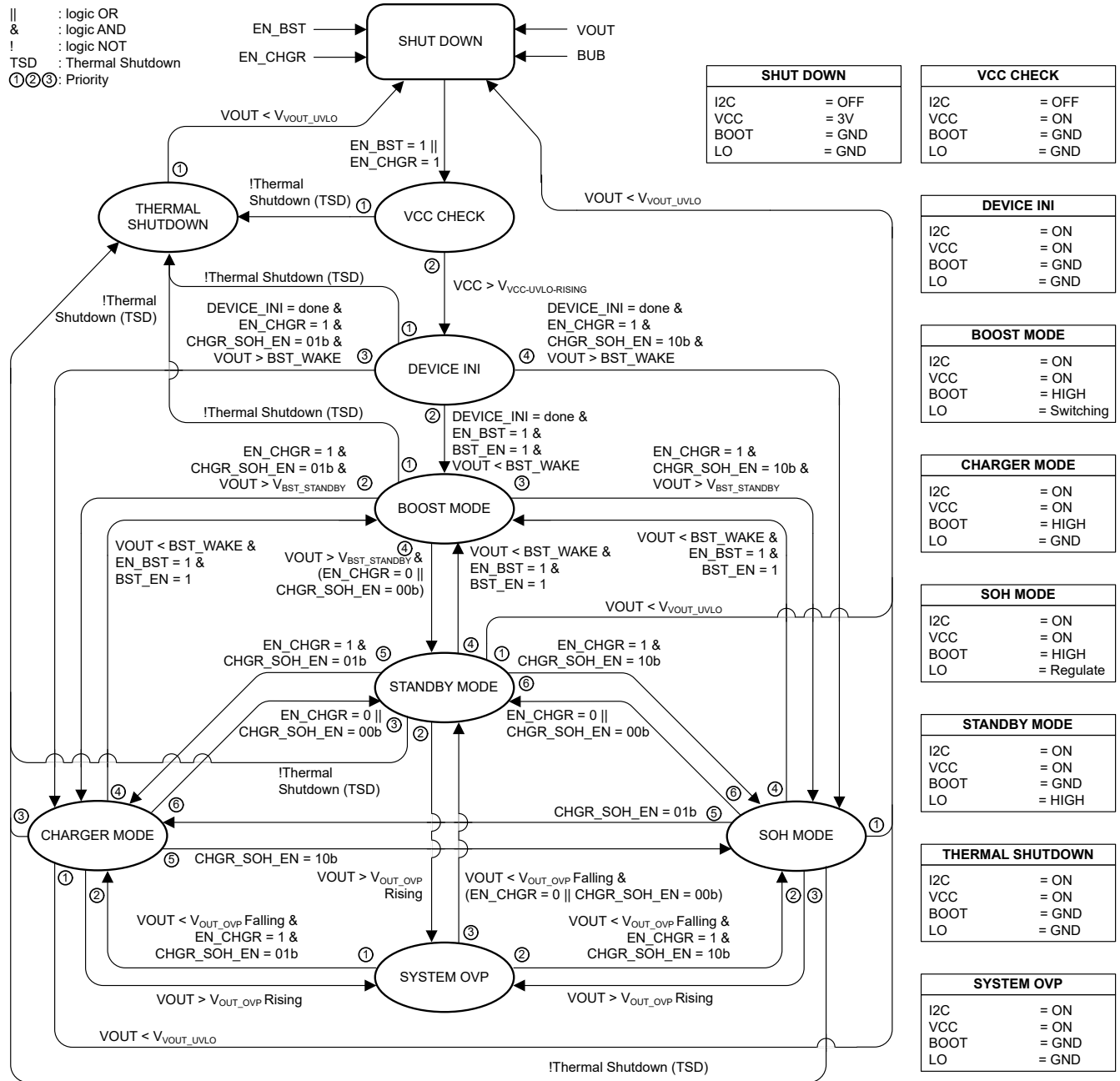


图 6-2. 功能状态图

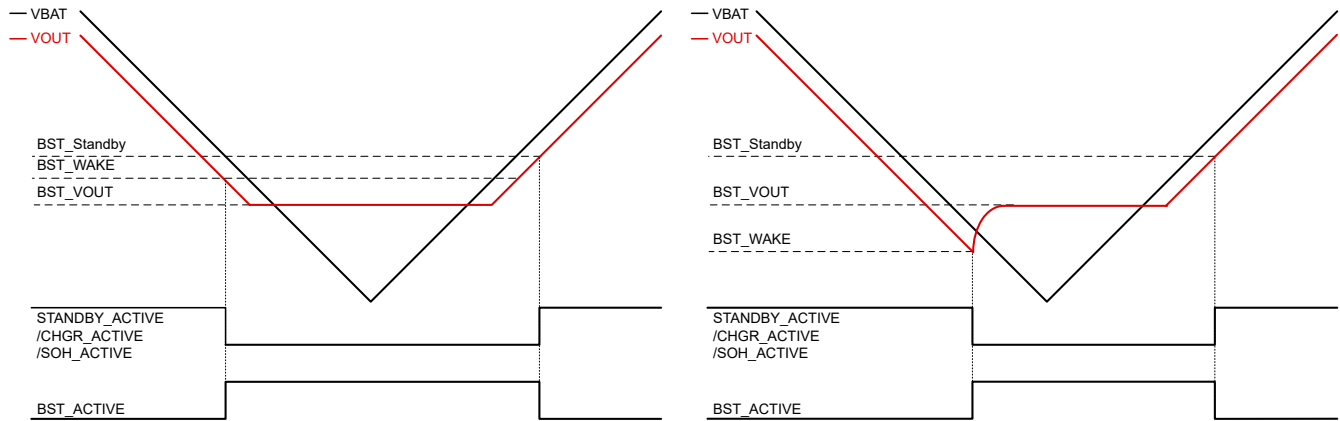


图 6-3. 自动升压和待机/充电器/SOH 切换逻辑

### 6.3.4 配置为状态指示器

TPS61381-Q1 支持通过 STATUS 引脚实现状态指示功能。STATUS 引脚可用作漏极开路数字输出，用于指示 IC 状态或触发系统 MCU 中断。

TPS61381-Q1 STATUS 引脚支持通过配置 I2C 寄存器 0DH (位 3 至位 7) 来指示多个项目。默认情况下，该引脚被设置为指示 BST\_ACTIVE (升压运行) 状态。当器件进入升压模式时，STATUS 引脚被拉至低电平以指示升压运行状态。该引脚还可配置为输出充电完成、热关断或 TS 故障信号。如果选择了多个状态项目，则该引脚会输出所有项目的 NOR 逻辑 (如果触发了任何状态，则拉至低电平)。

表 6-4. STATUS 引脚指示项

寄存器 0DH 位	所选项目	说明
[7]	INC_BST	BST_ACTIVE 状态包含在 STATUS 引脚中。进入升压模式时，输出低电平。
[6]	INC_ABST	ALRT_BST_ACTIVE 状态包含在 STATUS 引脚中。自上次读取后已进入升压模式时，输出低电平。
[5]	INC_ADN	ALRT_CHGR_DONE 状态包含在 STATUS 引脚中。自上次读取以来触发了充电完成时，输出低电平。
[4]	INC_TSD	THRM_SD 状态包含在 STATUS 引脚中。触发热关断保护时输出低电平。
[3]	INC_TSFAULT	TS_FAULT 状态包含在 STATUS 引脚中。当 TS 引脚检测到冷/热温度超出范围时，输出低电平。

### 6.3.5 热关断

当 IC 结温超过 175°C (典型值) 时，热关断通过关闭内部开关来限制总功率耗散。发生热关断后，磁滞会阻止器件开关，直到结温降至约 160°C。当结温降低至低于 160°C (典型值) 时，TPS61381-Q1 会尝试重新启动。

## 6.4 充电器功能说明

TPS61381-Q1 集成了 LDO 充电器功能和针对多种类型备用电池的完整充电策略。通过设置电池类型、电池节数、充电电流、充电电压和充电计时器，TPS61381Q 会自动针对所选的电池化学成分应用相应的充电策略。

- 支持多种类型的备用电池：镍氢电池 (1S 2S 3S 4S 5S)、磷酸铁锂 (1S 2S)、锂离子电池 (1S 2S)、超级电容器 (1S 2S 3S 4S)
- 可选充电电流：50mA 至 100mA ( 可通过 I2C 选择 )
- 支持通过 I2C 接口进行充电器状态指示：寄存器 08H (CHGR\_STATUS)

TPS61381-Q1 支持针对电池充电和系统运行的多种安全保护和监控功能。为确保充电器运行期间的电池安全，可应用充电安全计时器、备用电池过压保护、充电器反向保护和电池低温/高温保护。此外，TPS61381Q 通过使用 CHGR\_STATUS 和 FAULT\_CONDITION 寄存器指示充电器状态和故障情况。

### 6.4.1 充电器启用

TPS61381-Q1 充电器功能在以下情况下启用：

- EN\_CHGR 引脚为高电平
- CHGR\_SOH\_EN = 01b ( I2C 寄存器 0BH : CONTROL\_STATUS、位 [6:5] )
- $V_{OUT} < V_{OUT\_OVP}$
- $V_{CC} > 2.8V$

启用充电器功能后，当 VOUT 大于升压唤醒阈值 ( 由 I2C BST\_WAKE 位设置 ) 时，IC 进入充电器模式。

当充电器模式激活时，TPS61381-Q1 为备用电池 ( BUB 引脚 ) 充电。充电器仅支持降压操作。因此，如果 VOUT 降至  $100mV + BUB$  电压以下，充电器会关断所有电源 MOSFET 以保护自身。

### 6.4.2 LDO 充电器

TPS61381-Q1 支持 50mA 或 100mA 充电电流的 LDO 充电器功能。在充电器模式下， $Q_2$  在区域进行调节，以控制充电电流，同时  $Q_3$  完全开启。请确保 VOUT 电压大于  $0.6V + BUB$  电压，以确保  $Q_2$  保持在饱和区域。

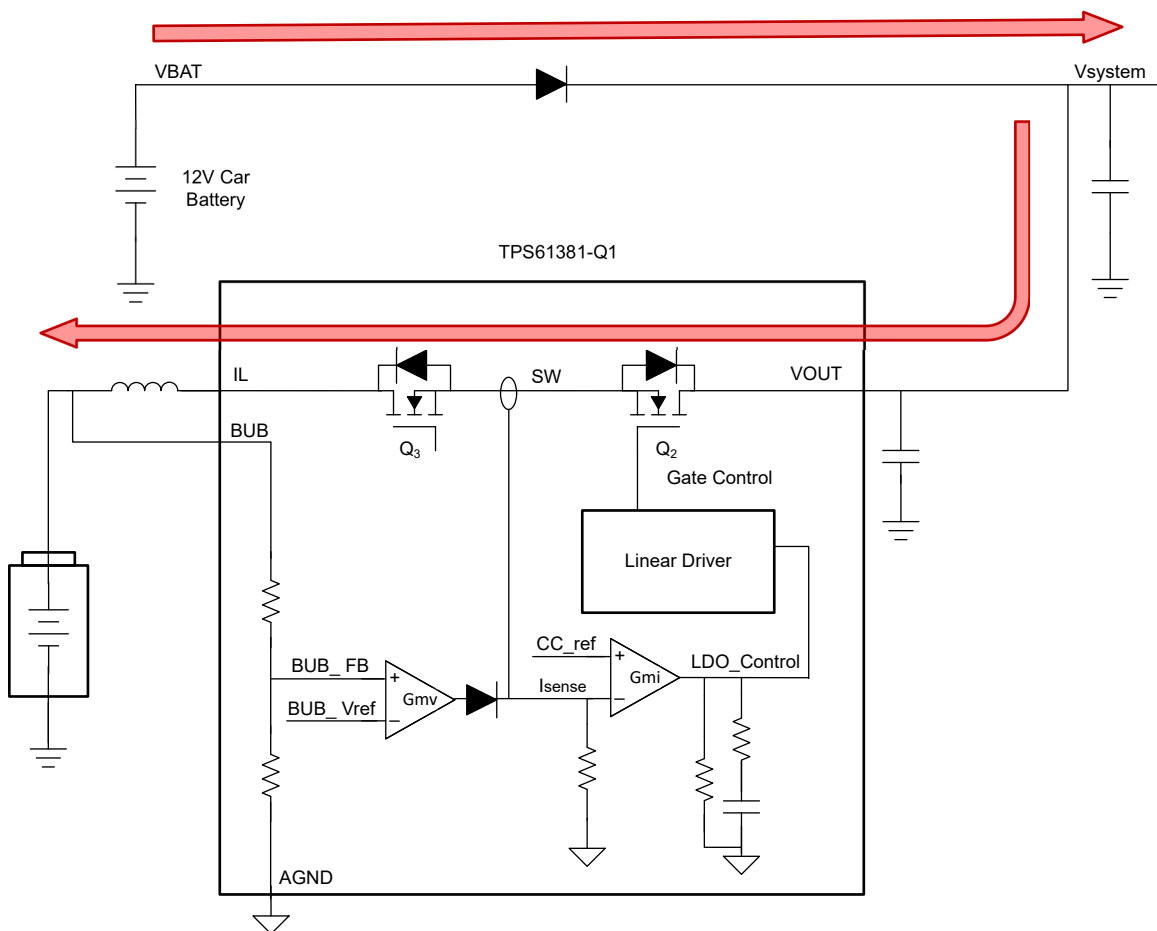


图 6-4. 线性充电器结构

TPS61381Q 支持多种电池化学类型，包括镍氢电池、锂离子电池、磷酸铁锂电池和超级电容器。通过设置 I2C BUB\_TYP 位（寄存器 04h : CHGR\_SET1 位 [6:7]），TPS61381Q 可使用所选电池类型的集成充电配置文件为备用电池充电。

### 6.4.3 镍氢电池充电曲线

在镍氢电池充电模式下，TPS61381-Q1 采用时间控制的充电曲线对电池进行充电，包含两个阶段：连续充电和间歇充电（可选）。

在启动镍氢电池充电周期之前，该器件会检查电池状态。如果备用电池电压 (VBUB) 高于  $1.34V \times$  电芯数量 (由 I2C 位 BUB\_CELL 设置，寄存器 05H : CHGR\_SET2) 时，器件会将备用电池视为已充满。器件不会开始充电，并将 I2C CHG\_DONE 位 (寄存器 08H : CHGR\_STATUS) 设置为 1，以指示充电周期已完成。

如果初始备份电池电压低于  $1.34V \times$  电芯数量，TPS61381Q 将进入连续充电阶段。备用电池在该阶段以恒定电流充电，并由预设的计时器控制。充电电流和连续充电阶段的持续时间可通过 I2C 接口 (寄存器 04H 至 05H : BUB\_CC、BUB\_NIMH\_TIMER) 进行编程。当计时器结束且连续充电阶段完成后，TPS61381-Q1 将 I2C 位 CHG\_DONE 位 (寄存器 08H : CHGR\_STATUS) 设置为 1，以指示充电周期已完成。

如果重新充电功能被禁用 (由 I2C 位 BUB\_TER 设置，寄存器 06H : CHGR\_SET3)，则在连续充电阶段完成后，IC 将停止充电。用户可以通过切换 EN\_CHGR 引脚或 I2C CHGR\_EN 位来重新启动充电，此操作会清除 CHGR\_MODE\_DONE 位，并重新开始连续充电阶段。

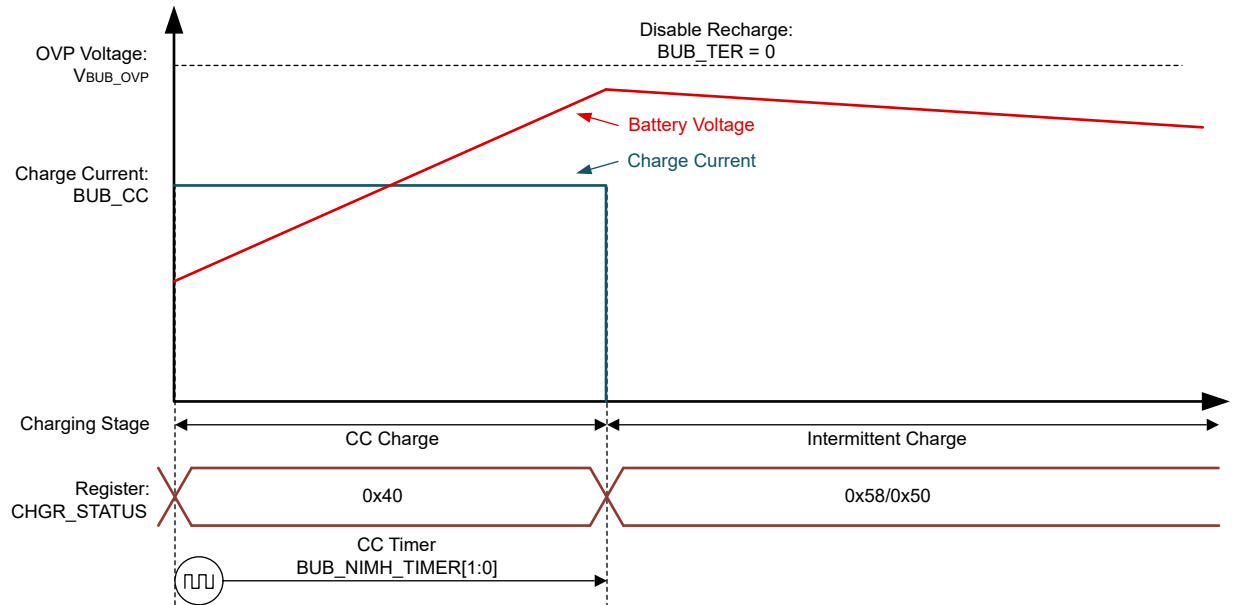


图 6-5. 禁用重新充电功能时的镍氢电池充电曲线

如果启用重新充电功能（由 I2C 位 BUB\_TER 设置，寄存器 06H : CHGR\_SET3），则在连续充电阶段完成后，该器件将进入间歇充电阶段。在此阶段，IC 通过间歇性脉冲充电循环（2 秒开，58 秒关）为镍氢电池补充自然自放电消耗的电量。

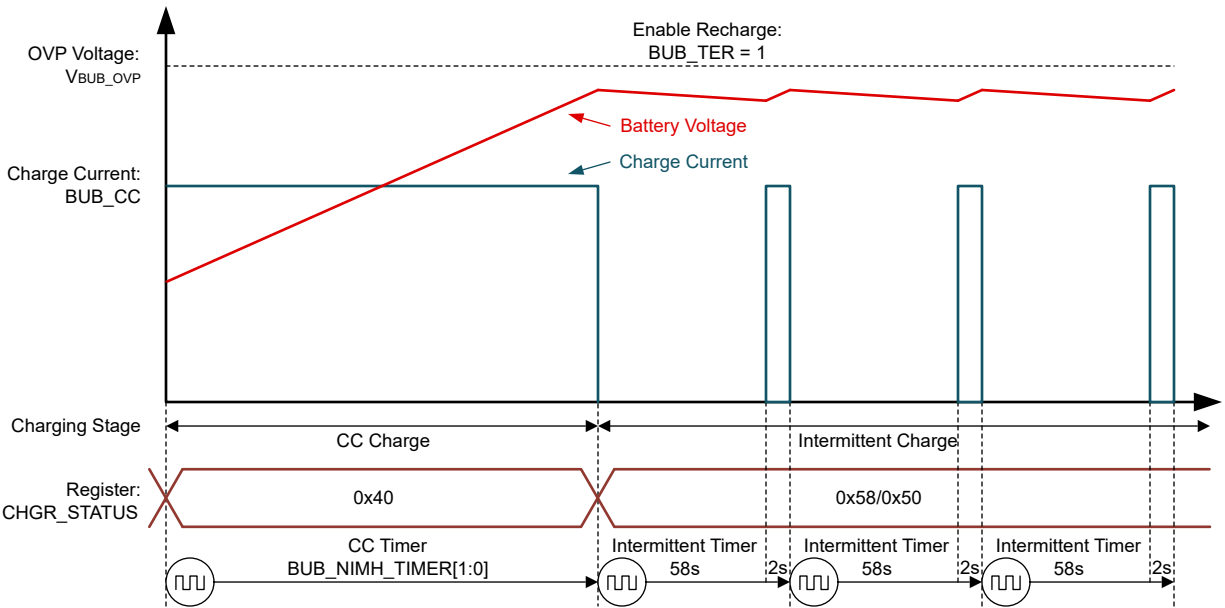


图 6-6. 启用重新充电功能时的镍氢电池充电曲线

TPS61381-Q1 会在所有充电阶段监控电池电压，如果电池电压高于  $1.70V \times \text{电芯数量}$ ，该器件将停止充电，并将 I2C 位 BUB\_OVP（寄存器 0CH : FAULT\_CONDITION）设置为 1，以指示过压保护。



#### 6.4.4 锂电池充电曲线

在锂电池充电模式下，TPS61381-Q1 采用电压控制的充电曲线对电池进行充电，包括四个阶段：涪流充电、预充电、CC 充电和 CV 充电。

当备用电池电压低于  $V_{BUB\_SHORT}$  阈值时，器件会进入涪流充电阶段。在此阶段，器件通过 12.5mA 对电池进行充电，以确保锂电池的安全。

如果电池电压充电至  $V_{BUB\_SHORT}$  阈值，但仍低于  $V_{BUB\_LOWV}$  阈值，器件会进入预充电阶段。在此阶段，器件按照 I2C BUB\_CC 位 ( 寄存器 05H : CHGR\_SET2 ) 中设置的 CC 电流的 20% 为电池充电。此电压范围内的锂电池被视为正常电池，但电池电量低，因此将充电电流限制到 CC 电流的 20% 以保护电池寿命。

如果电池电压在 30 分钟内未达到  $V_{BUB\_LOWV}$  阈值。电池将被视为损坏和内部短路。IC 终止充电，I2C 位 BUB\_SHORT ( 寄存器 0CH : FAULT\_CONDITION ) 设置为 1，以指示电池短路情况。

电池电压达到  $V_{BUB\_LOWV}$  阈值后，器件进入 CC 充电阶段。在此阶段，器件通过 CC 电流 ( 由 I2C 寄存器 05H : CHGR\_SET2、BUB\_CC 位设置 )。

电池充电至其目标电压 ( 由 I2C 位 BUB\_CV 和 BUB\_CELL 设置 ) 之后，TPS61381-Q1 进入 CV 充电阶段。该器件会降低充电电流以调节电池电压，直至充电电流降至终止阈值  $I_{TERM}$  ( 由寄存器 06H : CHGR\_SET3、CHG\_TEM\_CURRENT 位设置 )，随后器件会终止充电。

如果配置为禁用重新充电 ( 通过 I2C 位 BUB\_TER )，则除非切换 EN\_CHGR 引脚或 CHGR\_EN 位，否则器件在终止后不会重新充电。

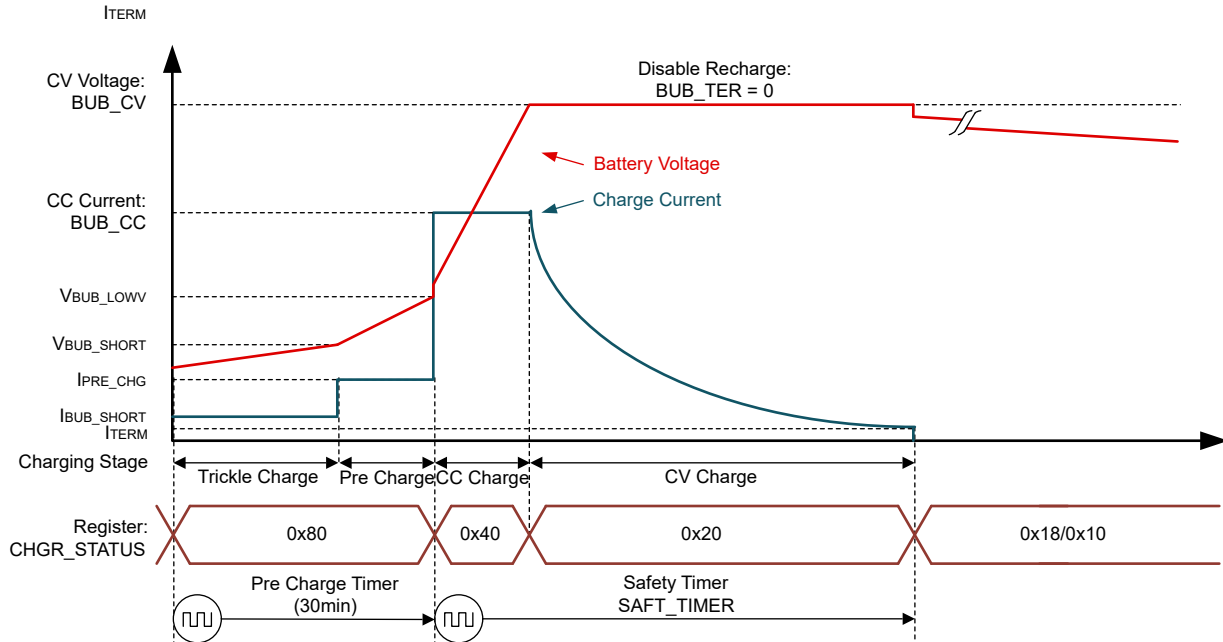


图 6-7. 禁用重新充电功能时的锂基电池充电曲线

如果配置为启用重新充电，器件会暂停充电，并在 BUB 电压降至  $V_{RECHG}$  阈值以下时自动重新充电。

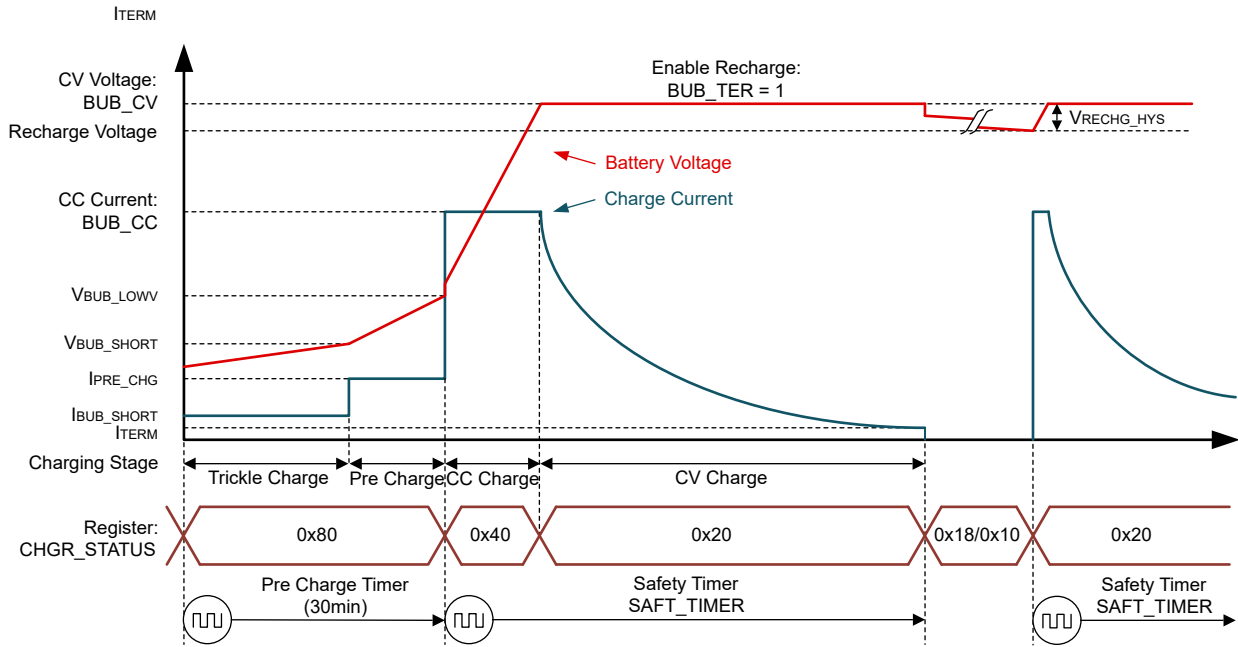


图 6-8. 启用重新充电功能时的锂基电池充电曲线

#### 6.4.5 超级电容器充电曲线

在超级电容器充电模式下，TPS61381-Q1 采用电压控制的充电曲线为电池充电，包含两个阶段：CC 充电和 CV 充电。

当备用超级电容器电压低于目标电压（由 I2C 位 BUB\_CV 和 BUB\_CELL 设置）时，器件会进入 CC 充电阶段。在此阶段，器件通过 BUB\_CC 位配置的 CC 电流为超级电容器充电。

超级电容器充电至其目标电压后，TPS61381-Q1 进入 CV 充电阶段。该器件会降低充电电流以调节超级电容器的电压，直到电流降至预设阈值以下，然后器件会终止充电。

如果配置为禁用重新充电（通过 I2C 位 BUB\_TER），则除非切换 EN\_CHGR 引脚或 CHGR\_EN 位，否则器件在终止后不会重新充电。

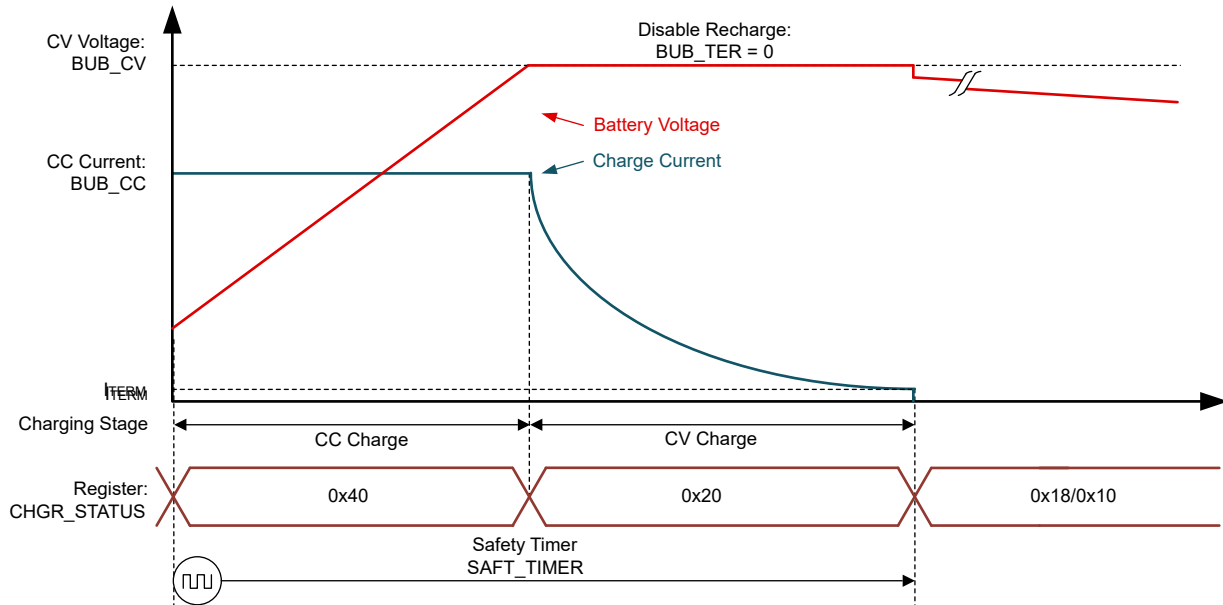


图 6-9. 超级电容器充电曲线，已禁用重新充电

如果配置为启用重新充电，器件会暂停充电，并在 BUB 电压降至  $V_{RECHG}$  阈值以下时自动重新充电。

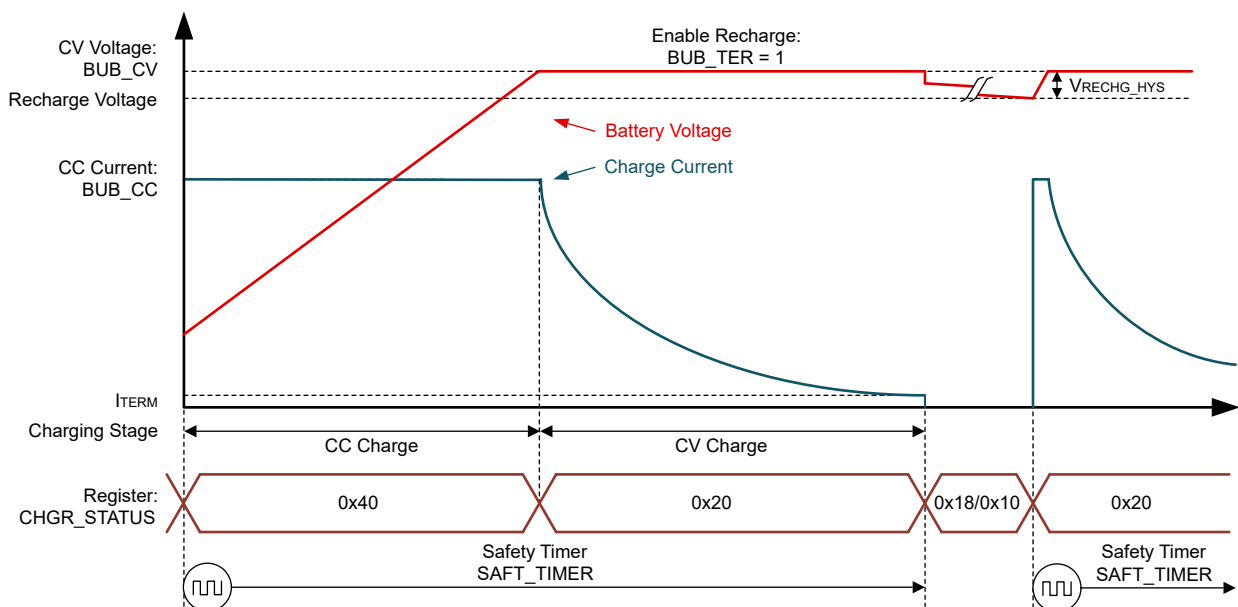


图 6-10. 超级电容器充电曲线，已启用重新充电

#### 6.4.6 电池冷热温度 (TS 引脚)

TPS61381-Q1 通过感测 TS 引脚的电压来支持电池低电量和高温监控功能。电池中的负温度系数 (NTC) 热敏电阻应连接在电阻网络中 (如 图 6-11 所示)。TS 引脚将 38uA 馈送到电阻网络中, 并在充电器和 SOH 模式期间在 TS 引脚上生成电压。当 TS 引脚电压介于  $V_{COLD}$  与  $V_{HOT}$  阈值 (188mA~1.04V) 之间时, 允许电池充电。如果电池温度超出正常范围且 TS 引脚电压超出阈值, 器件会停止充电并将 TS\_FAULT 位设置为 1 (寄存器 0CH: FAULT\_CONDITION)。一旦电池温度恢复到正常范围, 且 TS 引脚电压重回阈值之间, 充电操作就会自动恢复。

温度窗口可通过电阻网络的电阻进行修改:

$$R_p = \frac{-1.23(R_{HT} - R_{LT}) + \sqrt{0.73(R_{LT} - R_{HT})(R_{LT} - R_{HT} + 24156)}}{7.6 \times 10^{-5} \cdot (R_{LT} - R_{HT}) - 1.704} \quad (1)$$

$$R_s = \frac{1.23(R_{LT} - R_{HT}) + \sqrt{0.73(R_{LT} - R_{HT})(R_{LT} - R_{HT} + 24156)}}{1.704} - 1.22R_{LT} + 0.22R_{HT} \quad (2)$$

其中  $R_{HT}$  和  $R_{LT}$  是在您的最高温度和最低温度下的 NTC 电阻

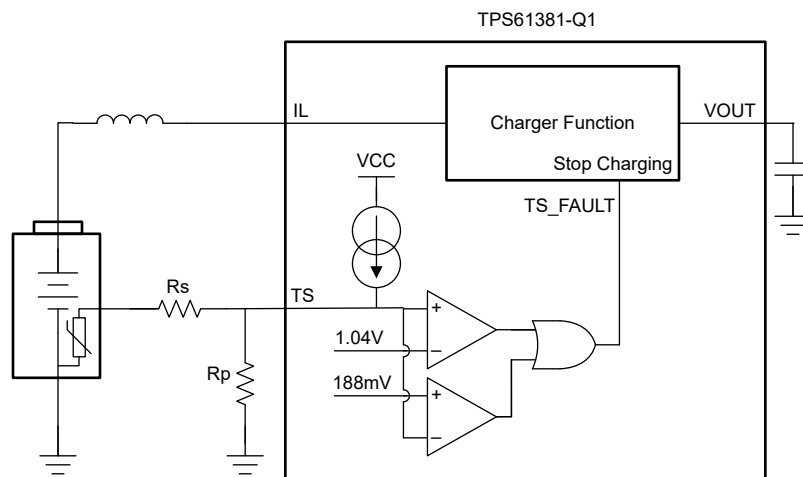


图 6-11. 用于修改后温度窗口的 TS 电阻网络

以 103AT-2 为例, 下面给出了不同温度充电窗口的建议电阻值:

表 6-5. 不同温度充电窗口的建议电阻器阻值

温度充电窗口	$R_s$	$R_p$
0°C 至 60°C	2.1k $\Omega$	488k $\Omega$
-10°C 至 60°C	2.5k $\Omega$	70k $\Omega$
-10°C 至 50°C	1.3k $\Omega$	74k $\Omega$

如果应用不需要温度检测, 请在 TS 和 GND 之间连接一个 10k  $\Omega$  的固定电阻器, 以禁用温度检测并提供保护。

### 6.4.7 充电器保护和故障状态指示

TPS61381-Q1 采用多种故障保护功能，确保电池寿命以及充电操作中的安全。充电器操作的故障情况可通过 I2C 寄存器（寄存器 0CH：FAULT\_CONDITION）。当发生这些故障情况时，器件会暂停充电操作，并将相应的 I2C 寄存器位设置为高电平以指示故障情况。

故障项	说明	故障指示	器件行为
CHGR_RVS	<ul style="list-style-type: none"> <li>充电器反向电流保护。</li> <li>当 <math>V_{OUT} &lt; V_{BUB} + 100\text{mV}</math> 时触发。</li> </ul>	无标志	<ul style="list-style-type: none"> <li>暂停充电</li> <li>暂停充电器计时器。</li> <li>故障情况消除后自动恢复</li> </ul>
SYSTEM_OVP	<ul style="list-style-type: none"> <li>系统过压保护故障。</li> <li>当 <math>V_{OUT} &gt; 23\text{V}</math> 时触发。</li> </ul>	由寄存器 0CH：FAULT_CONDITION、SYSTEM_OVP 位指示	
TS_FAULT	<ul style="list-style-type: none"> <li>电池超出冷/热温度范围</li> <li>当 TS 引脚电压大于 1.04V 或小于 188mV 时触发</li> </ul>	由寄存器 0CH：FAULT_CONDITION、TS_FAULT 位指示	
BUB_SHORT	<ul style="list-style-type: none"> <li>锂离子/磷酸铁锂电池的电池短路故障</li> <li>当 BUB 电压在充电 30 分钟后仍小于 <math>V_{BUB\_LOWV}</math> 时触发</li> <li>仅适用于锂离子和磷酸铁锂电池</li> </ul>	由寄存器 0CH：FAULT_CONDITION、BUB_SHORT 位指示	<ul style="list-style-type: none"> <li>停止充电。</li> <li>不会自动恢复</li> <li>切换 EN_CHGR 引脚或 CHGR_EN 位以复位故障状态</li> </ul>
BUB_OVP	<ul style="list-style-type: none"> <li>电池过压故障</li> <li>镍氢电池：当每节电池的 BUB 电压大于 1.7V 时触发</li> <li>其他电池类型：当 BUB 电压比目标电压高 4% 时触发</li> </ul>	由寄存器 0CH：FAULT_CONDITION、BUB_OVP 位指示	
TIMER_FAULT	<ul style="list-style-type: none"> <li>锂离子和磷酸铁锂电池的充电器安全计时器故障</li> <li>当充电时间超出安全计时器范围时触发</li> </ul>	由寄存器 0CH：FAULT_CONDITION、TIMER_FAULT 位指示	
THRM_SD	<ul style="list-style-type: none"> <li>热关断</li> <li>当结温大于 175°C 时触发</li> </ul>	由寄存器 0CH：FAULT_CONDITION、THRM_SD 位指示	

## 6.5 升压功能说明

TPS61381-Q1 集成同步升压转换器与负载断开功能。升压功能支持 0.5V 至 13V 的输入电压和高达 12V 的输出电压，具有 5-15A 可编程平均输入电流限制。升压功能以固定的 400kHz 开关频率运行并具有可选的展频，从而为汽车应用实现 EMI 性能。

### 6.5.1 启用和启动

当 EN\_BST 引脚为高电平、I2C BST\_EN 位均为 1 时，TPS61381-Q1 启用其升压功能。启用升压功能后，TPS61381-Q1 持续监控 VOUT 电压，并在 VOUT 降至唤醒电压阈值以下时进入升压模式。

进入升压模式时，TPS61381-Q1 会检测其 BUB 引脚电压，用于实现欠压锁定 (UVLO) 功能。如果  $V_{out} > 2.8V$ ，则 UVLO 阈值为 1V。如果  $V_{out} < 2.8V$ ，则 UVLO 阈值为 2.8V。仅当 BUB 电压超过 UVLO 阈值时，IC 才会开始升压。

TPS61381-Q1 设定 30 $\mu$ s 的启动时间，以确保在检测到系统电源中断时，能够快速启动升压。因此，升压启动电流最高可达其输入电流限制值（默认值为 15A）。如果您需要较小的启动电流和较慢的启动速度，在启用升压之前，请将 I2C 电流限制设置为 5A。

### 6.5.1.1 自动切换到升压模式

对于备用电源应用，TPS61381-Q1 通过 VOUT 引脚（连接到您的系统电源导轨）检测系统电压，并在检测到系统电源中断时自动切换到升压模式。以自动升压和待机模式为例，当 Vout 正常时，器件会以待机模式工作。当发生电源故障且 Vout 降至  $\min\{V_{\text{BST\_WAKEUP}} \text{ (由 I2C 位 BST\_WAKE 设置)}、V_{\text{BST\_STANDBY}} \text{ (BST\_VOUT} \times 106\%)\}$  以下时，器件会进入升压模式以保持输出电压。

当 12V 主电池恢复且 Vout 升高至高于  $V_{\text{BST\_STANDBY}}$  时，器件会进入待机模式。

默认情况下， $V_{\text{BST\_WAKEUP}}$  配置为  $\text{BST\_VOUT} \times 103\%$  ( $\text{BST\_WAKE} = 111\text{b}$ )，以在切换到升压模式期间实现更小的压降。但 TPS61381-Q1 还允许将  $V_{\text{BST\_WAKEUP}}$  配置为低于升压输出电压，以避免在出现临时压降（例如冷启动情况）时进入升压模式。用户可以决定选择较高的  $V_{\text{BST\_WAKEUP}}$  来实现较小的压降，或者选择较低的  $V_{\text{BST\_WAKEUP}}$  以避免在冷启动情况下进入升压模式并延长备用电池寿命。

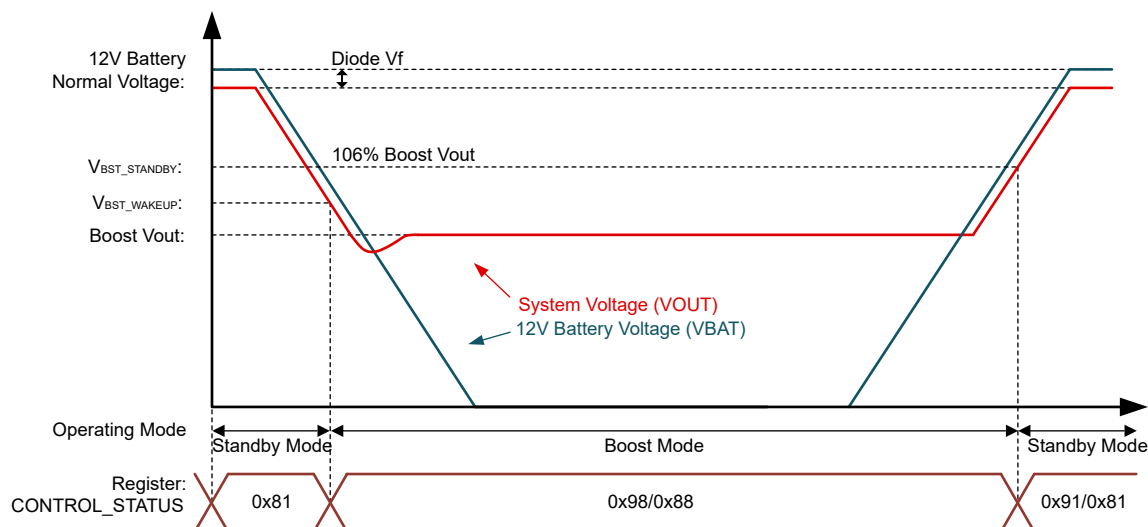


图 6-12. 案例 1：  $V_{\text{BST\_WAKEUP}} > \text{BST\_VOUT}$

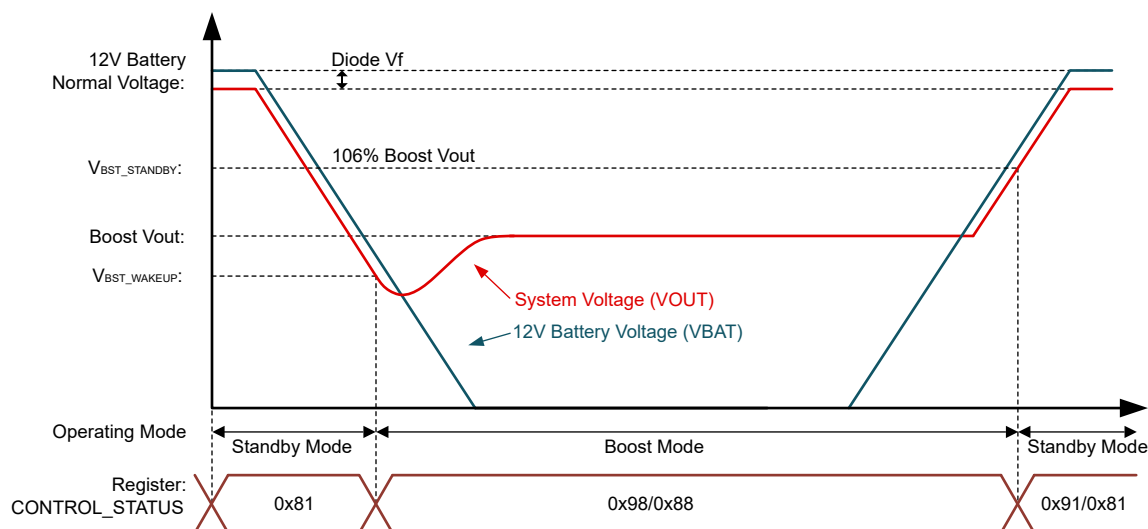


图 6-13. Case2：  $V_{\text{BST\_WAKEUP}} < \text{BST\_VOUT}$



### 6.5.1.2 手动切换到升压模式

TPS61381Q 还通过控制外部 EN 引脚来支持手动切换到升压模式。通过 EN 引脚进行手动切换，使用户能够在 12V 电池电压正常时关断 IC，从而节省静态电流。但是，需要外部电压检测电路和 MCU 来控制 EN 引脚。

该器件需要  $50\mu\text{s}$  ( $t_{\text{EN\_delay1}}$ ) 延迟时间，才能从关断模式初始化其内部电路。初始化后，该器件从待机模式切换到升压模式需要大约  $20\mu\text{s}$  ( $t_{\text{EN\_delay2}}$ ) 的延迟时间。

对于备用电源应用，TI 建议设置两个阈值以启用我们的器件。使用  $V_{\text{Pre-WAKEUP}}$  阈值来控制 EN\_CHGR 引脚并提前初始化器件。使用  $V_{\text{BST\_EN}}$  阈值来控制 EN\_BST 引脚。该 EN 序列可以缩短进入升压模式时的延迟时间 (仅  $t_{\text{EN\_delay2}}$ )。

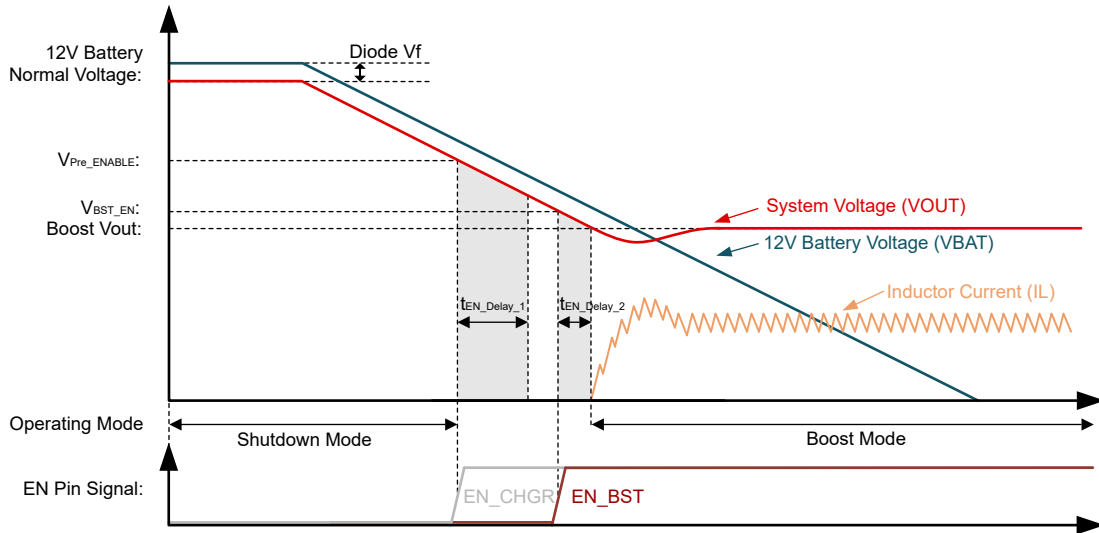


图 6-14. 手动切换到升压模式

### 6.5.2 向下计数模式

在升压模式期间，当 BUB 电压高于输出电压时，TPS61381-Q1 进入降压模式。在降压模式期间，TPS61381-Q1 高侧和低侧 FET 的工作方式与升压操作相同，而隔离 FET Q<sub>3</sub> 在高侧导通相位期间在饱和区内进行调节。这使器件能够将其输出电压调节到目标值，即使在 V<sub>BUB</sub> 大于 V<sub>OUT</sub> 时也是如此。

由于 Q<sub>3</sub> 在饱和区运行，与正常的升压操作相比，降压模式会生成大量损耗和热量。因此，在降压模式下会降低电流限制阈值以避免过热。当 BUB-VOUT 超过 8V 时，峰值电感器电流限制为 2.33A。当 BUB-VOUT 介于 4-8V 之间时，峰值电流限制为 2.95A。当 BUB-VOUT 介于 0-4V 之间时，峰值电流限制为 4.41A。此外，由于高损耗和低效率，此模式仅用于启动和输出短路保护。请避免在正常操作期间出现 V<sub>BUB</sub> 大于 V<sub>OUT</sub> 的情况。

### 6.5.3 输出接地短路保护

TPS61381-Q1 采用可选的输出短路保护功能保护 IC 在输出短路情况下免遭损坏。短路保护默认禁用，可以通过 I2C SCP\_EN 位启用。如果发生输出短路且输出电压拉至 BUB 电压以下，该器件会进入短路保护操作，在此操作中会应用降压模式来控制电感器电流。

为确保系统安全，TI 建议启用短路保护功能。

启用 SCP\_EN 位并触发短路保护后，TPS61381-Q1 会施加峰值电流限制以防止 IC 过热。当 BUB-VOUT 超过 8V 时，峰值电感器电流限制为 2.33A。当 BUB-VOUT 介于 4-8V 之间时，峰值电流限制为 2.95A。当 BUB-VOUT 介于 0-4V 之间时，峰值电流限制为 4.41A。

TPS61381-Q1 应用断续控制来实现短路保护以避免在降压模式下过热，器件保持开关 2ms、停止 65ms，然后重复此周期，以降低平均电流和功耗。

### 6.5.4 升压控制环路

TPS61381-Q1 采用固定频率峰值电流控制方案，内部振荡器支持 400kHz 开关频率。

在中等到重负载下，TPS61381-Q1 以固定频率脉宽调制 (PWM) 运行。在每个开关周期的开始，低侧 N-MOSFET 开关将开启。电感器电流升至峰值电流，该峰值电流由内部误差放大器 (V<sub>EA</sub>) 的输出决定。在开关峰值电流触发了 EA 的输出后，低侧 N-MOSFET 就会关闭，而高侧 N-MOSFET 则会在短暂的死区时间后开启。直到内部振荡器确定的下一个周期，高侧 N-MOSFET 开关才会关闭。低侧开关在短暂的死区时间后再次开启，开关周期重复进行。

### 6.5.5 电流值运行

TPS61381-Q1 实现峰值电流和平均电感器电流限制功能，保护器件免受过载和备用电池过度放电的影响。平均电流限制可通过 I2C BST\_ILIM 位进行编程。

除平均电流限制外，该器件还应用峰值电流限制保护，保护器件免受过流情况的影响。在升压操作中，峰值电流限制阈值由平均电流限制确定。平均电流限制设置为 5A 或 10A 时，峰值电流限制为 15A，否则峰值电流限制为 30A。峰值电流限制可通过 I2C BST\_ILIM\_EN 位启用或禁用。在降压模式操作中，峰值电流限值会根据 VOUT 和 BUB 电压而降低，以避免 IC 过热。

### 6.5.6 轻负载状态下的功能模式

在轻负载条件下，TPS61381-Q1 可在自动 PFM 或强制 PWM (FPWM) 模式下运行，以满足不同的应用要求。自动 PFM 模式可降低轻负载条件下的开关频率。该策略可在轻负载条件下降低开关损耗并提高效率。FPWM 模式强制转换器在轻负载状态下以固定频率保持开关。FPWM 可提高 EMI 性能并降低输出纹波，但与 PFM 模式相比，会牺牲轻负载效率。

TPS61381-Q1 默认配置为自动 PFM 模式。将 I2C BST\_PFM 位 ( 寄存器 01H、BOOST\_SET1 ) 写入 1，以切换到 FPWM 模式。

必须注意备用电源应用，当  $V_{OUT}$  高于升压输出目标时，FPWM 允许反向电流流入备用电池。流入 BUB 的反向电流通常不利于备用电池。因此，TI 建议在切换到升压模式期间使用 PFM 模式。

#### 6.5.6.1 自动 PFM 模式

TPS61381-Q1 可以应用自动 PFM 工作模式，进而提高轻载状态下的效率。通过在内部寄存器中启用 PFM 功能可应用自动 PFM 模式。当 TPS61381-Q1 在轻负载条件下工作时，内部误差放大器的输出会降低，使电感器峰值电流降低，减少为负载提供的功率。当电感器电流下降到  $I_{CLAMP\_LOW}$  ( 峰值电流大约为 4A ) 时，误差放大器的输出电压会被内部电路钳制，不再进一步降低。如果负载电流进一步降低，电感器电流将被钳制， $V_{OUT}$  会提高。当输出电压达到 PFM 参考电压 ( $101.5\% V_{out\_target}$ ) 时，器件会暂停开关。负载由输出电容器供电，输出电压下降。当输出电压降低到  $100.5\% V_{out\_target}$  时，器件会再次开始开关，以提升输出电压。

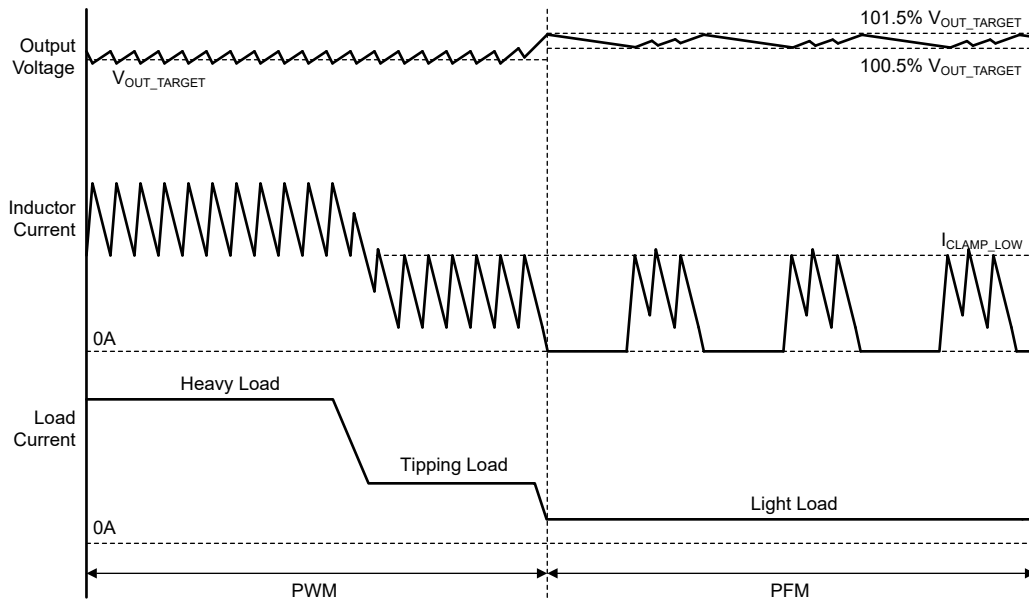


图 6-15. PWM 和 PFM 运行

### 6.5.6.2 强制 PWM 模式

TPS61381-Q1 还可以应用强制 PWM (FPWM) 工作模式，以减少输出波纹并提高 EMI 性能。在 FPWM 模式下，TPS61381-Q1 在轻负载条件下保持恒定的开关频率。当负载电流降低时，内部误差放大器的输出也会降低，使电感器电流降低，从而降低从输入到输出的功率。如果输出电流进一步降低，在关断期间流经电感器的电流会降为零。即使流经 MOSFET 的电流为零，高侧 MOSFET 也不会关断。因此，电感器电流在变为零后会改变方向。功率流将从输出流到输入。在此模式下效率较低。但是，在轻负载条件下使用固定开关频率，没有可闻噪声以及其他可能由低开关频率引起的问题。

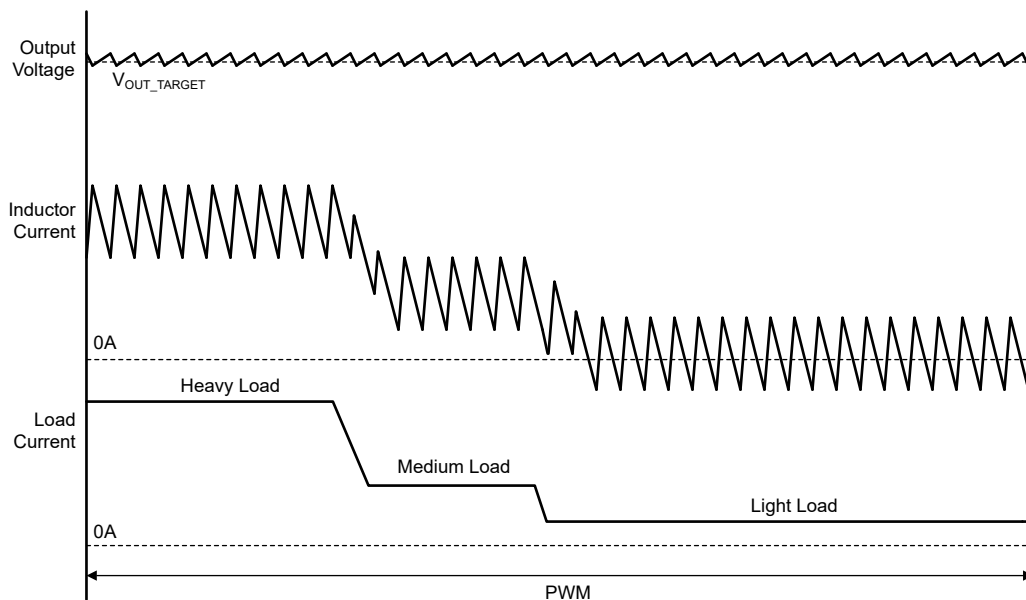


图 6-16. PWM 和 PFM 运行

### 6.5.7 占空比限制

当低侧 MOS 关断时间约为 100ns 时，TPS61381-Q1 会触发最大占空比限制。当  $V_{BUB}$  过低且达到最大占空比时，器件就会提高其占空比，此时无法调节输出电压。因此，可用的  $V_{in}$  范围受以下因素限制：

$$V_{BUB} < (1 - D_{min})V_{OUT} \quad (3)$$

$$V_{BUB} > t_{OFFmin}V_{OUT}f_{sw} \quad (4)$$

### 6.5.8 BUB 电压环路

TPS61381-Q1 采用 BUB 电压环路来保护具有高内部阻抗的备用电池，例如低电池电量、电池温度过低或电池寿命结束时的电池。当电池具有较高的内部电阻且无法为输出提供足够的功率时，此功能仍可使电池输出最大功率，并在升压 UVLO 阈值以上维持其电压。此功能通过 I2C BST\_VINLOOP\_EN 位启用，输入目标电压通过 BST\_VINLOOP 位进行编程。

当 BUB 电压高于输入目标电压时，BUB 电压环路不会激活。当 BUB 电压低于输入目标电压时，BUB 电压环路接管控制环路，并尝试通过降低电感电流来维持输入电压。因此，通过允许  $V_{OUT}$  降至低于  $V_{OUT\_TARGET}$ ，TPS61381-Q1 会控制其输入电压，使电池能够匹配其输出阻抗与内部阻抗，并输出最大功率。

### 6.5.9 展频

TPS61381-Q1 支持可选的开关频率抖动，用于升压功能，以改善 EMI 性能。此器件使用三角波抖动进行扩频，使开关频率偏移  $\pm 7\%$ 。展频的调制频率可选，并可通过 I2C BST\_SS 位编程。

表 6-6. 展频和可选调制频率

BST_SS 位	展频	调制频率
00	无展频	无展频
01	±7% 展频	6.5kHz
10	±7% 展频	3.2kHz
11	±7% 展频	1.6kHz

## 6.6 电池运行状态 (SOH) 检测功能说明

电池运行状态 (SOH) 检测功能使 TPS61381-Q1 能够检测备用电池的电阻 (BUB)。当 EN\_CHGR 引脚为高电平且 CHGR\_SOH\_EN = 10b 时，启用 SOH 功能。启用后，器件会在 VOUT 大于唤醒电压时进入 SOH 模式。

在 SOH 模式下，备用电池按照 I2C SOH\_I 位编程的恒定电流进行放电。在测试期间，可以将 TPS61381-Q1 AVI 引脚配置为使用 I2C 选择的比率输出备用电池的电压、放电电流和电池温度。将 AVI 引脚连接到您的 MCU ADC 以采集和计算内部电阻。

ISO FET Q3 会在 SOH 模式下打开。因此，TI 建议在 SOH 运行期间使输出电压高于 BUB 电压，以避免浪涌电流通过高侧体二极管。

### 6.6.1 SOH 模式运行

在 SOH 模式期间，TPS61381-Q1 完全打开其隔离 MOSFET Q3，并通过 LO 引脚调节低侧 MOSFET Q2 的栅极电压。如此一来，低侧 MOSFET 在饱和区工作，并以恒定电流对备用电池进行放电。TI 建议使用 500mA 放电电流以实现最佳精度。通过检测电池开路电压，有放电电流的电压以及放电电流，可通过以下方式提供电池内部电阻  $R_{bat}$ ：

$$R_{bat} = \frac{V_{open} - V_{dischg}}{I_{dischg}} \quad (5)$$

其中：

- $V_{\text{open}}$  是无放电电流时的电池电压
- $V_{\text{dischg}}$  是有放电电流时的电池电压
- $I_{\text{dischg}}$  是放电电流

根据电池制造商的建议，建议使用  $500\text{mA } I_{\text{dischg}}$  为电池放电  $500\text{ms}$ ，然后读取  $V_{\text{dischg}}$

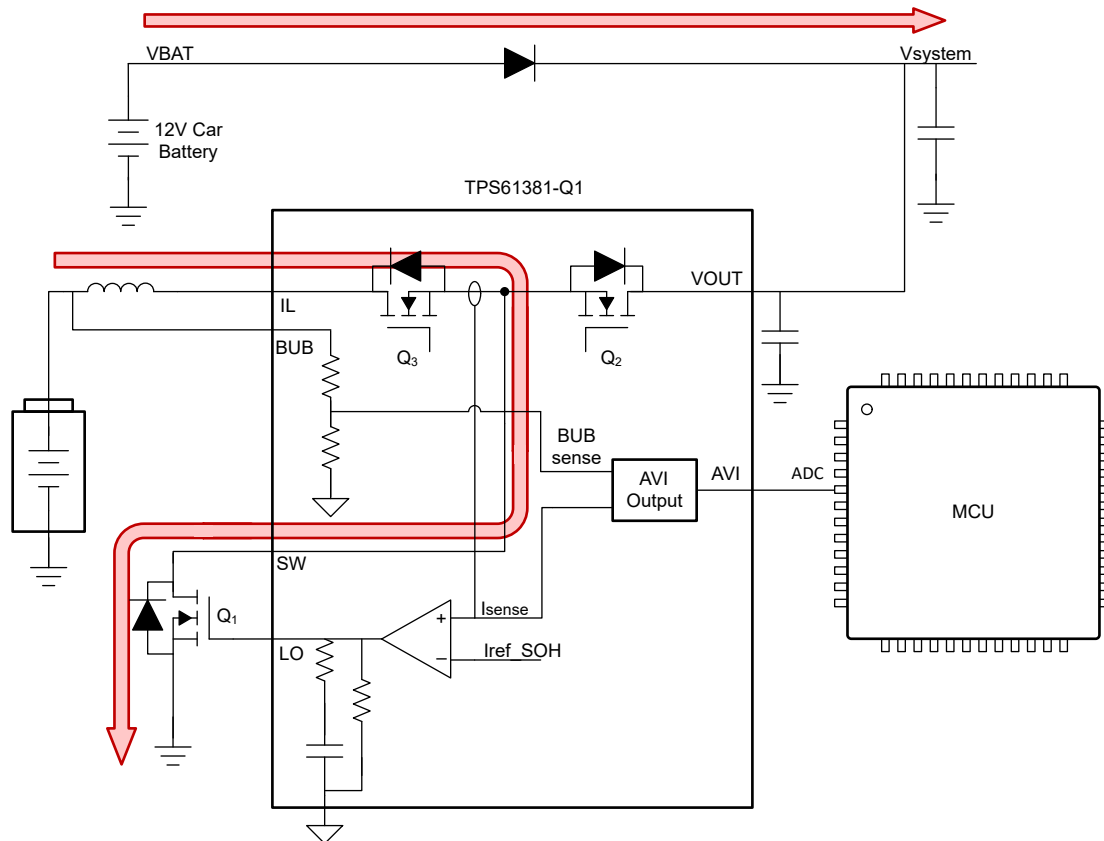


图 6-17. SOH 的典型操作

### 6.6.2 AVI 引脚中的多信号输出

AVI 引脚可以输出三个可选信号：电池电压、电池放电电流和电池温度。输出项目由 I2C SOH\_AVI\_EN 位选择。因此 MCU 可以使用一个 ADC 通道来读取所有信号并有助于节省 ADC 资源。

出于保护 MCU ADC 引脚的目的，AVI 引脚电压限制为小于 3.3V。测量项目与 AVI 输出的比率可以通过 I2C AVI\_RATIO 或 AVI\_V\_RATIO 位进行选择。TI 建议在 500mA 放电电流时将 AVI\_I\_RATIO 设置为 2，以获得最佳精度

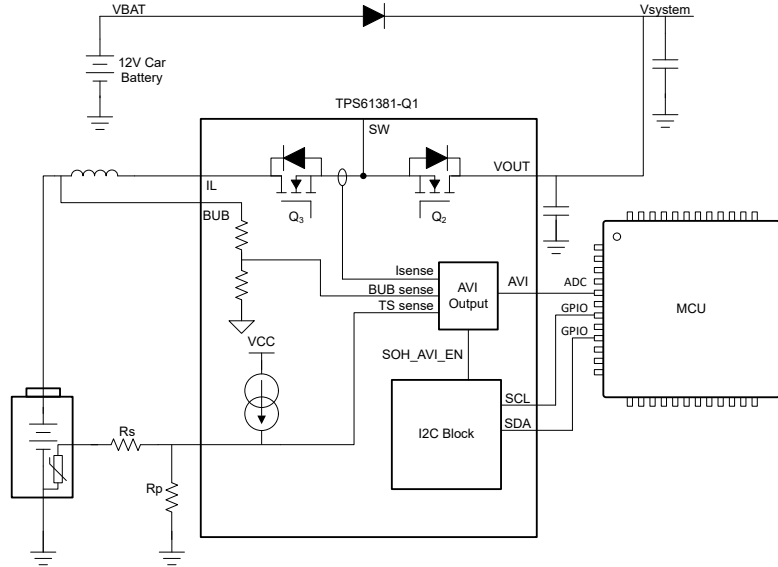


图 6-18. AVI 引脚连接

### 6.6.3 计算 BUB 的阻抗

以下步骤提供了有关如何使用系统 MCU 计算备用电池内部阻抗的示例：

- 将 SOH 放电电流设置为 0A ( 寄存器 0x09 : SOH\_SET1, SOH\_I 位 )
- 将 AVI 引脚与备用电池电压的比率设置为 1 ( 寄存器 0x10 : SOH\_SET2, SOH\_V\_RATIO 位 )
- 将 AVI 引脚与放电电流的比率设置为 2 ( 寄存器 0x10 : SOH\_SET2, SOH\_I\_RATIO 位 )
- 选择 AVI 引脚输出为电池电压 ( 寄存器 0x10 : SOH\_SET2, SOH\_AVI\_EN 位 )
- 启用 SOH 功能 ( 寄存器 0x0B : CONTROL\_STATUS, HGR\_SOH\_EN 位 )
- 等待大约 1ms、以便 AVI 输出电压稳定。
- 使用 MCU ADC ( $V_{BUB1}$ ) 读取 AVI 引脚上的备用电池电压
- 将 SOH 放电电流设置为 500mA ( 寄存器 0x09 : SOH\_SET1, SOH\_I 位 )
- 放电 500ms (根据电池特性、镍氢电池通常需要 500ms)。
- 使用 MCU ADC ( $V_{BUB2}$ ) 读取 AVI 引脚上的备用电池电压
- 选择 AVI 引脚输出为放电电流 ( 寄存器 0x10 : SOH\_SET2, SOH\_AVI\_EN 位 )
- 等待大约 1ms、以便 AVI 输出电压稳定。
- 使用 MCU ADC ( $I_{BUB2}$ ) 读取 AVI 引脚的放电电流

MCU 可使用以下公式计算备用电池的内部阻抗并检测电池运行状况。

$$R_{BUB} = (V_{BUB1} - V_{BUB2}) / I_{BUB} \quad (6)$$

## 6.7 I<sup>2</sup>C 串行接口

TPS61381-Q1 使用 I<sup>2</sup>C 接口来灵活地对转换器参数进行编程。I<sup>2</sup>C 是一种双向 2 线制串行接口。只需要两条总线线路：一条串行数据线 (SDA) 和一条串行时钟线 (SCL)。在执行数据传输时，I<sup>2</sup>C 器件可被视为主器件或从器件。主器件是在总线上发起数据传输并生成时钟信号以允许该传输的器件。此时，任何被寻址的器件都被视为从器件。

TPS61381-Q1 作为地址为 31h 的从器件运行。从主器件（例如微控制器或数字信号处理器）接收控制输入，读取和写入内部寄存器 00h 至 0Eh。TPS61381-Q1 的 I<sup>2</sup>C 接口支持标准模式（高达 100kbit/s）和超快速模式（高达 400kbit/s）。SDA 和 SCL 都必须通过电流源或上拉电阻器连接到正电源电压。当总线空闲时，两条线路都处于高电压。

### 6.7.1 数据有效性

在时钟的高电平期间，SDA 线上的数据必须保持稳定。数据线的高电平或低电平状态只能在 SCL 线上的时钟信号为低电平时发生变化。为每个已传输的数据位生成一个时钟脉冲。

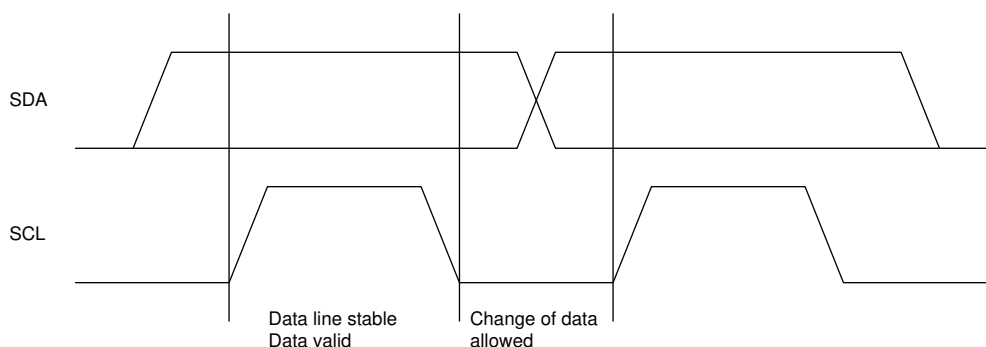


图 6-19. I<sup>2</sup>C 数据有效性

### 6.7.2 启动条件和停止条件

所有事务均以 START (S) 开始，并可由 STOP (P) 终止。当 SCL 为高电平时，SDA 线上从低电平到高电平的转换将定义 START 条件。当 SCL 为高电平时，SDA 线上从低电平到高电平的转换定义了 STOP 条件。

START 和 STOP 条件始终由主器件产生。总线在 START 条件之后被视为繁忙状态，在 STOP 条件之后被视为空闲状态。

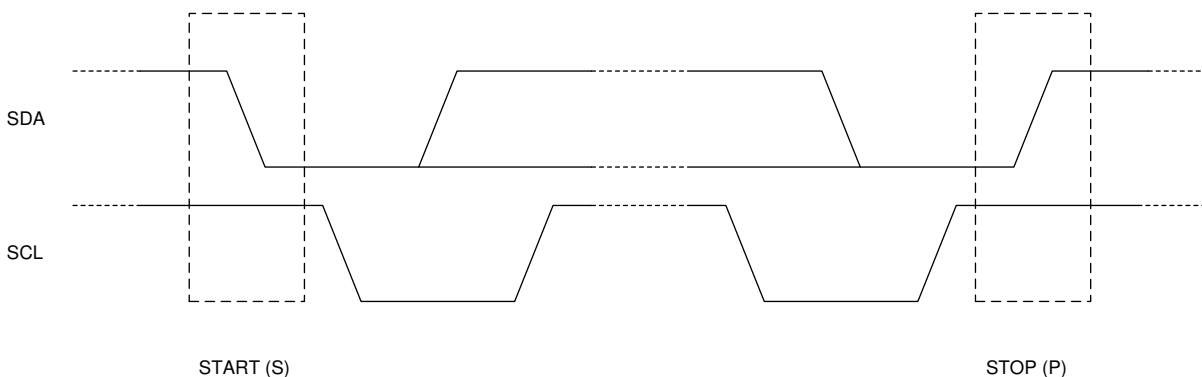


图 6-20. I<sup>2</sup>C START 和 STOP 条件



### 6.7.3 字节格式

SDA 线上每个字节的长度都必须为八位。每次传输所要传输的字节数不受限制。每个字节必须后跟一个确认位。传输数据时，最高有效位 (MSB) 优先。如果从器件在已执行某个其他功能之前，无法接收或发送另外一个完整的数据字节，则它可以将时钟线 SCL 保持为低电平，以强制主器件进入等待状态 ( 时钟延展 )。当从器件准备好接收另一个数据字节并释放时钟线 SCL 时，数据传输将继续。

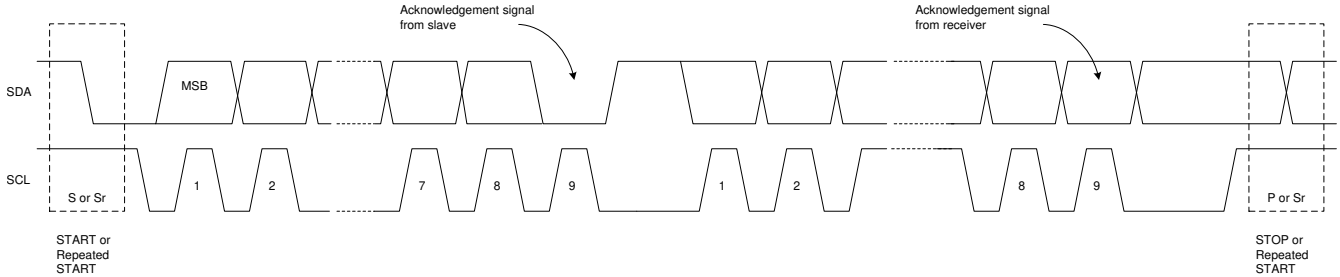


图 6-21. 字节格式

### 6.7.4 确认 (ACK) 和否定确认 (NACK)

确认会在每个字节之后发生。确认位允许接收器向发送器发送信号，指示已成功接收该字节且可发送另一个字节。所有时钟脉冲 ( 包括确认第 9 个时钟脉冲 ) 均由主器件生成。

发送器在确认时钟脉冲期间释放 SDA 线，因此接收器可以将 SDA 线拉至低电平，并在此时钟脉冲的高电平期间保持稳定的低电平。

非确认信号是指 SDA 在第 9 个时钟脉冲期间保持高电平。然后，主器件可以生成 STOP ( 停止 ) 来中止传输，或者生成重复的 START ( 开始 ) 来开始新的传输。

### 6.7.5 从器件地址和数据方向位

在 START 之后，发送从器件地址。该地址为 7 位长，后跟第八位作为数据方向位 ( 位  $\overline{R/W}$  )。零表示传输 (WRITE)，一表示数据请求 (READ)。

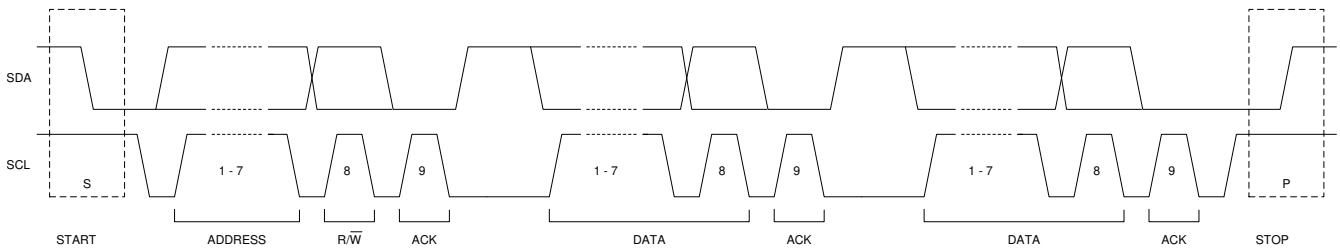


图 6-22. 从机地址和数据方向

### 6.7.6 单独读取和写入

下图展示了 I<sup>2</sup>C 通信的单字节写入和单字节读取格式。



图 6-23. 单字节写入



图 6-24. 单字节读取

如果未定义寄存器地址，TPS61381-Q1 会发回 NACK 并返回到空闲状态。

### 6.7.7 多重读取和多重写入

TPS61381-Q1 支持多次读取和多次写入。

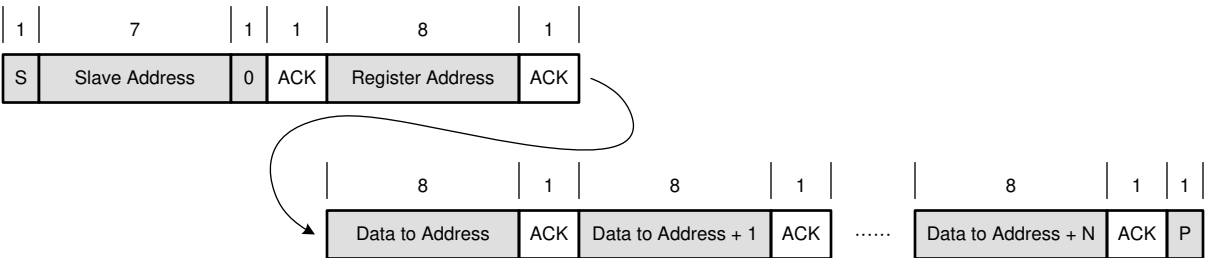


图 6-25. 多字节写入

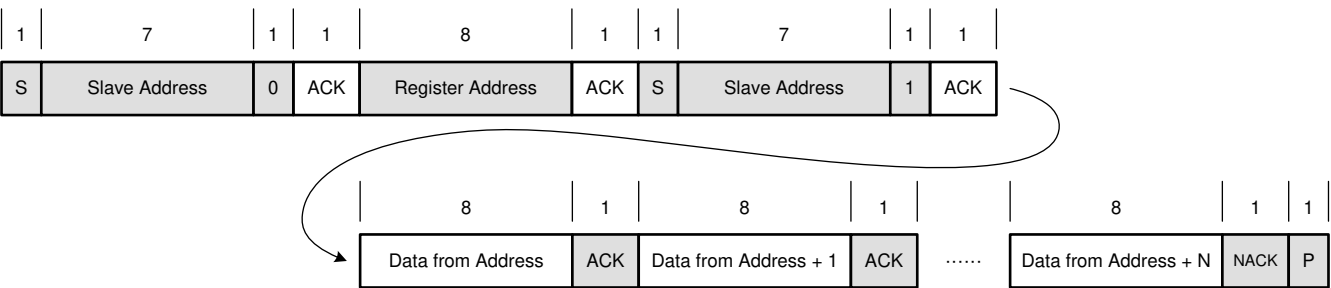


图 6-26. 多字节读取

## 7 寄存器映射

表 7-1 列出了器件寄存器的存储器映射寄存器。表 7-1 中未列出的所有寄存器偏移地址都应视为保留的位置，并且不应修改寄存器内容。

**表 7-1. 器件寄存器**

地址	寄存器名称	类型	说明	部分
00H	CHIP_ID	R	DIE_TYPE 提供有关芯片和器件版本的信息	
01H	BOOST_SET1	R/W	升压设置 1：频率、PFM 或 FPWM、展频、短路保护、输出放电	
02H	BOOST_SET2	R/W	升压设置 2：VOUT、电流限制	
03H	BOOST_SET3	R/W	升压设置 2：BUB 电压环路、升压唤醒阈值。	
04H	CHGR_SET1	R/W	充电器设置 1：电池类型、CV 电压、镍氢电池计时器。	
05H	CHGR_SET2	R/W	充电器设置 2：电芯数量、CC 电流	
06H	CHGR_SET3	R/W	充电器设置 3：终端电流	
07H	CHGR_SET4	R/W	充电器设置 4：安全计时器	
08H	CHGR_STATUS	R	充电器状态：预充电、CC 阶段、CV 阶段、充电完成、	
09H	SOH_SET1	R/W	SOH 设置 1：放电电流	
0AH	SOH_SET2	R/W	SOH set2：AVI 引脚电流比、AVI 引脚电压比、AVI 输出选择。	
0BH	CONTROL_STATUS	R/W 或 R	控制状态：升压启用、充电器或 SOH 启用、升压激活、充电器激活、SOH 激活、待机激活。	
0CH	FAULT_CONDITION	R	故障标志：VOUT OVP、电池为 OVP、热关断信号、短路、超出安全时间以及超出温度和器件热关断	
0DH	STATUS_PIN_SET	R/W	STATUS 引脚输出选择：包括升压、充电器完成和热关断	
0EH	SW_RST	W	软件复位：将整个器件复位到其原始默认条件	

7.1 寄存器 00H : CHIP\_ID

图 7-1. CHIP\_ID

7	6	5	4	3	2	1	0
CHIP_ID							
R-00001100b							

表 7-2. CHIP\_ID 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
[7:0]	CHIP_ID	R	0x0C	提供有关芯片和器件版本的信息。

## 7.2 寄存器 01H : BOOST\_SET1

图 7-2. BOOST\_SET1

7	6	5	4	3	2	1	0
保留	BST_PFM	BST_PFM		BST_SCP	保留		
R/W-0b	R/W-0b	R/W-01b		R/W-0b	R/W-000b		

表 7-3. BOOST\_SET1 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
[7]	保留	R	0	保留
[6]	BST_PFM	R/W	0	0 = PFM, 轻负载下采用自动 PFM 1 = FPWM, 轻负载下采用强制 PWM TI 建议为双向应用采用 PFM。
[5:4]	BST_SS	R/W	01b	00b = 无展频率 01b = 6.5kHz 调制频率 10b = 3.2kHz 调制频率 11b = 1.6kHz 调制频率
[3]	BST_SCP	R/W	0	0 = 升压输出短路保护已禁用 1 = 升压输出短路保护已启用 TI 建议启用短路保护, 以保证系统安全。
[2:0]	保留	R	000b	保留

## 7.3 寄存器 02H : BOOST\_SET2

图 7-3. BOOST\_SET2

7	6	5	4	3	2	1	0
BST_VOUT				保留	BST_ILIM		BST_ILIM_EN
R/W-0011b				R-0b	R/W-10b		R-1b

表 7-4. BOOST\_SET2 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
[7:4]	BST_VOUT	R/W	0011b	设置输出目标电压 0000b = 5V 0001b = 5.5V 0010b = 6V 0011b = 6.2V 0100b = 6.5V 0101b = 6.8V 0110b = 7.1V 0111b = 7.5V 1000b = 8V 1001b = 8.5V 1010b = 9V 1011b = 9.5V 1100b = 10V 1101b = 10.5V 1110b = 11V 1111b = 12V
[3]	保留	R	0	保留
[2:1]	BST_ILIM	R/W	10b	升压平均电流限制 00b = 5A 01b = 10A 10b = 15A
[0]	BST_ILIM_EN	R/W	1	0 = 禁用升压峰值电流限制 1 = 启用升压峰值电流限制 如果平均电流为 5A 或 10A，则峰值电流限制为 15A；否则峰值电流限制为 30A。

## 7.4 寄存器 03H : BOOST\_SET3

图 7-4. BOOST\_SET3

7	6	5	4	3	2	1	0
BST_VINLOOP		BST_VINLOOP_EN	BST_WAKE			保留	
R/W-10b		R/W-0b	R/W-111b			R-00b	

图 7-5. BOOST\_SET3 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
[7:6]	BST_VINLOOP	R/W	10b	设置输入电压调节电压 00b = 1V 01b = 1.2V 10b = 1.5V 11b = 2V
[5]	BST_VINLOOP_EN	R/W	0	0 = 禁用输入电压环路 1 = 启用输入电压环路
[4:2]	BST_WAKE	R/W	111b	设置升压自动唤醒阈值，VOUT 下降 000b = 4.5V 001b = 5V 010b = 5.5V 011b = 6V 100b = 6.5V 101b = 7.5V 110b = 8V 111b=Vout_target+3%
[1:0]	保留	R	00b	保留

## 7.5 寄存器 04H : CHGR\_SET1

图 7-6. CHGR\_SET1

7	6	5	4	3	2	1	0
BUB_TYP		BST_VINLOOP_EN				BST_WAKE	
R/W-00b		R/W-0000b				R/W-00b	

图 7-7. CHGR\_SET1 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
[7:6]	BUB_TYP	R/W	00b	设置备用电池充电策略 00b = 锂离子电池充电曲线，预充电 + CC + CV 01b = 磷酸铁锂电池充电曲线，预充电 + CC + CV 10b = 镍氢电池充电曲线，CC + 计时器 11b = 超级电容器充电曲线，CC + CV
[5:2]	BUB_CV	R/W	0000b	设置 CV 电压 0000b = 1.7V ( 超级电容器 ) 0001b = 2.0V ( 超级电容器 ) 0010b = 2.2V ( 超级电容器 ) 0011b = 2.4V ( 超级电容器 ) 0100b = 2.5V ( 超级电容器 ) 0101b = 2.7V ( 超级电容器 ) 0110b = 3.0V ( 超级电容器 ) 0111b = 3.5V ( 磷酸铁锂电池 ) 1000b = 3.6V ( 磷酸铁锂电池 ) 1001b = 3.7V ( 磷酸铁锂电池 ) 1010b = 3.8V ( 锂离子电池 ) 1011b = 3.9V ( 锂离子电池 ) 1100b = 4.05V ( 锂离子电池 ) 1101b = 4.10V ( 锂离子电池 ) 1110b = 4.20V ( 锂离子电池 ) 1111b = 4.35V ( 锂离子电池 ) 注意：此寄存器对镍氢电池无效。
[1:0]	BUB_NIMH_TIMER	R/W	00b	设置镍氢电池充电时间 00b=4h 01b=8h 10b=16h 11b=32h



## 7.6 寄存器 05H : CHGR\_SET2

图 7-8. CHGR\_SET2

7	6	5	4	3	2	1	0
BUB_CELL			保留			BUB_CC	
R/W-000b			R-000b			R/W-00b	

图 7-9. CHGR\_SET2 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
[7:5]	BUB_CELL	R/W	000b	备用电池的电芯数 锂离子电池最多支持 2 个 镍氢电池最多支持 5 个 超级电容器最多支持 4 个 000b=1 001b=2 010b=3 011b=4 100b=5
[4:2]	保留	R	000b	保留
[1:0]	BUB_CC	R/W	00b	设置 CC 电流 00b=50mA 01b=100mA

## 7.7 寄存器 06H : CHGR\_SET3

图 7-10. CHGR\_SET3

7	6	5	4	3	2	1	0
保留					BUB_TER	CHG_TEM_CURR <sub>ENT</sub>	保留
R-00000b					R/W-0b	R/W-0b	R-0b

图 7-11. CHGR\_SET3 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
[7:3]	保留	R	00000b	保留
[2]	BUB_TER	R/W	0	充满电后，再次充电或不充电。 对于镍氢电池，启用间歇充电 对于锂离子、磷酸铁锂或超级电容器电池，当电池电压低于再充电电压时，即可开始再次充电。 0 = 禁用再次充电 1 = 启用再次充电
[1]	CHG_TEM_CURRENT	R/W	0	0=10% * I <sub>CC</sub> 1=20% * I <sub>CC</sub> 注意：此位适用于锂离子、磷酸铁锂和超级电容器。
[0]	保留	R	0	保留

## 7.8 寄存器 07H : CHGR\_SET4

图 7-12. CHGR\_SET4

7	6	5	4	3	2	1	0
SAFT_TIMER_EN	SAFT_TIMER	CHG_TEM_CURRENT					
R/W-1b	R/W-1b	R-00000b					

图 7-13. CHGR\_SET4 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
[7]	SAFT_TIMER_EN	R/W	1	0 = 禁用锂离子充电器的安全时间 1 = 启用锂离子充电器的安全时间
[6]	SAFT_TIMER	R/W	1	0=5hr 0=10hr
[5:0]	保留	R	00000b	保留

## 7.9 寄存器 08H : CHGR\_STATUS

图 7-14. CHGR\_STATUS

7	6	5	4	3	2	1	0
CHGR_MODE_PRE	CHGR_MODE_CC	CHGR_MODE_CV	CHGR_MODE_DONE	ALRT_CHGR_MODE_DONE	保留		
R-0b	R-0b	R-0b	R-0b	R-0b	R-000b		

图 7-15. CHGR\_STATUS 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
[7]	CHGR_MODE_PRE	R	0	只读，用于提供充电器工作模式的信息 0 = 充电器未在预充电阶段运行 1 = 充电器在预充电阶段下运行
[6]	CHGR_MODE_CC	R	0	只读，用于提供充电器工作模式的信息 0 = 充电器未在 CC 阶段运行 1 = 充电器在 CC 阶段运行
[5]	CHGR_MODE_CV	R	0	只读，用于提供充电器工作模式的信息 0 = 充电器未在 CV 阶段运行 1 = 充电器在 CV 阶段运行
[4]	CHGR_MODE_DONE	R	0	只读，用于提供充电器工作模式的信息 0 = 未触发充电完成。 1 = 触发充电完成。
[3]	ALRT_CHGR_MODE_DONE	R	0	只读，用于提供充电器工作模式的信息。 0 = 自上次读取以来，充电尚未完成 1 = 自上次读取以来，充电已完成 设置后锁存，读取时清除
[2:0]	保留	R	000b	保留

## 7.10 寄存器 09H : SOH\_SET1

图 7-16. SOH\_SET1

7	6	5	4	3	2	1	0
SOH_I			保留				
R/W-000b			R-00000b				

图 7-17. SOH\_SET1 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
[7:5]	SOH_I	R/W	000b	设置 SOH 放电电流 000b = 0A 001b = 100mA ( 建议 AVI_I_RATIO=2 ) 010b = 200mA ( 建议 AVI_I_RATIO=2 ) 011b = 300mA ( 建议 AVI_I_RATIO=2 ) 100b = 500mA ( 建议 AVI_I_RATIO=2 ) 101b = 800mA ( 建议 AVI_I_RATIO=2 ) 110b = 1A ( 建议 AVI_I_RATIO=2 ) 111b = 1.5A ( 建议 AVI_I_RATIO=1 )
[4:0]	保留	R	00000b	保留

## 7.11 寄存器 0AH : SOH\_SET2

图 7-18. SOH\_SET2

7	6	5	4	3	2	1	0
AVI_I_RATIO		AVI_V_RATIO		保留		SOH_AVI_EN	
R/W-01b		R/W-10b		R-00b		R/W-00b	

图 7-19. SOH\_SET2 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
[7:6]	AVI_I_RATIO	R/W	01b	AVI 引脚与放电电流的比率。 AVI 引脚的电压 = AVI_I_RATIO × 放电电流 00b=1/2 01b=1 10b=2
[5:4]	AVI_V_RATIO	R/W	10b	AVI 引脚与备用电池电压的比率。 AVI 引脚的电压 = AVI_V_RATIO × 备份电池电压 00b=1/4 ( 建议用于 2 个锂离子电池、3-4 个超级电容器 ) 01b=1/2 ( 建议用于 1 个锂离子电池、2-4 个镍氢电池、2 个超级电容器 ) 10B=1 ( 建议用于 1 个镍氢电池、1 个超级电容器 )
[3:2]	保留	R	00b	保留
[1:0]	SOH_AVI_EN	R/W	00b	启用 AVI 引脚输出，并选择 I、V 或 T 输出信号 00b = 禁用 AVI 引脚输出，内部 125kΩ 下拉至 AGND。 01b = 启用备用电池电压输出 10b = 启用放电电流输出 11b = 启用电池温度输出

## 7.12 寄存器 0BH : CONTROL\_STATUS

图 7-20. CONTROL\_STATUS

7	6	5	4	3	2	1	0
BST_EN	CHGR_SOH_EN		ALRT_BST_ACTIVE	BST_ACTIVE	CHGR_ACTIVE	SOH_ACTIVE	STANDBY_ACTIVE
R/W-1b	R/W-00b		R-0b	R-0b	R-0b	R-0b	R-0b

图 7-21. CONTROL\_STATUS 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
[7]	BST_EN	R/W	1	0 = 禁用升压功能 1 = 启用升压功能
[6:5]	CHGR_SOH_EN	R/W	00b	00b = 禁用充电器和 SOH 功能 01b = 启用充电器功能 10b = 启用 SOH 功能
[4]	ALRT_BST_ACTIVE	R	0	只读。提供有关系统工作模式的信息 0 = 自上次读取后未激活升压模式 1 = 自上次读取后已激活升压模式 设置后锁存，读取时清除
[3]	BST_ACTIVE	R	0	只读。提供有关系统工作模式的信息 0 = 升压模式未激活 1 = 升压模式已激活
[2]	CHGR_ACTIVE	R	0	只读。提供有关系统工作模式的信息 0 = 充电器模式未激活 1 = 充电器模式已激活
[1]	SOH_ACTIVE	R	0	只读。提供有关系统工作模式的信息 0 = SOH 模式未激活 1 = SOH 模式已激活
[0]	STANDBY_ACTIVE	R	0	只读。提供有关系统工作模式的信息 0 = 待机模式未激活 1 = 待机模式已激活

## 7.13 寄存器 0CH : FAULT\_CONDITION

图 7-22. FAULT\_CONDITION

7	6	5	4	3	2	1	0
SYSTEM_OVP	TS_FAULT	BUB_SHORT	TIMER_FAULT	BUB_OVP	THRM_SD	保留	
R-0b	R-0b	R-0b	R-0b	R-0b	R-0b	R-00b	

图 7-23. FAULT\_CONDITION 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
[7]	SYSTEM_OVP	R	0	0 = VOUT 引脚没有过压 1 = VOUT 引脚过压
[6]	TS_FAULT	R	0	0 = TS 引脚电压处于冷/热温度阈值范围内 1 = TS 引脚电压超出冷/热温度阈值
[5]	BUB_SHORT	R	0	0 = 锂离子/磷酸铁锂电池无短路 1 = 锂离子/磷酸铁锂电池短路 注：此位仅对锂离子/磷酸铁锂电池有效
[4]	TIMER_FAULT	R	0	0 = 在安全时间内 1 = 超出安全时间
[3]	BUB_OVP	R	0	0 = 电池无过压 1 = 电池过压
[2]	THRM_SD	R	0	0 = 未发生热关断 1 = 热关断 ( $T_J > 175^{\circ}\text{C}$ )
[1:0]	保留	R	00b	保留



## 7.14 寄存器 0DH : STATUS\_PIN\_SET

图 7-24. STATUS\_PIN\_SET

7	6	5	4	3	2	1	0
INC_BST	INC_ABST	INC_ADN	INC_TSD	INC_TSFAULT	保留		
R-1b	R-0b	R-0b	R-0b	R-0b	R-000b		

图 7-25. STATUS\_PIN\_SET 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
[7]	INC_BST	R/W	1	0 = STATUS 引脚输出中不包含 BST_ACTIVE 状态，在进入升压模式时，STATUS 引脚会拉至低电平 1 = STATUS 引脚输出中包含 BST_ACTIVE 状态 查看 节 7.12 以了解有关 BST_ACTIVE 信号的说明
[6]	INC_ABST	R/W	0	0 = STATUS 引脚输出中不包含 ALRT_BST_ACTIVE 状态，自上次读取后进入升压模式时，STATUS 引脚会拉至低电平 1 = STATUS 引脚输出中包含 ALRT_BST_ACTIVE 状态 查看 节 7.12 以了解有关 ALRT_BST_ACTIVE 信号的说明
[5]	INC_ADN	R/W	0	0 = STATUS 引脚输出中不包含 ALRT_CHGR_MODE_DONE 状态，自上次读取后完成充电器操作时，STATUS 引脚会拉至低电平 1 = STATUS 引脚输出中包含 ALRT_CHGR_MODE_DONE 状态 查看 节 7.9 以了解有关 ALRT_CHGR_MODE_DONE 信号的说明
[4]	INC_TSD	R/W	0	0 = STATUS 引脚输出中不包含 THRM_SD 状态，触发热关断时，STATUS 引脚会拉至低电平 1 = STATUS 引脚输出中包含 THRM_SD 状态 查看 节 7.13 以了解有关 THRM_SD 信号的说明
[3]	INC_TSFAULT	R/W	0	0 = STATUS 引脚输出中不包含 TS_FAULT 状态，触发 TS_FAULT 时，STATUS 引脚会拉至低电平 1 = STATUS 引脚输出中包含 TS_FAULT 状态 查看 节 7.13 以了解有关 TS_FAULT 信号的说明
[2:0]	保留	R	000b	保留

### 7.15 寄存器 0EH : SW\_RST

SW\_RST ( 软件复位 ) 是一个只写寄存器/命令，可在 I2C SW\_RST 事务 ( 即数据字节 ACK ) 结束时将整个器件复位为其原始默认条件。仅在 DIN[7:0] = 0x00 时执行。SW\_RST 的作用与对器件进行下电上电相同。

TPS61381-Q1 还支持硬件复位，当两个 EN 引脚都为低电平 ( EN\_BST = 0 和 EN\_CHGR = 0 ) 时，整个寄存器将复位为其原始默认条件。

图 7-26. SW\_RST

7	6	5	4	3	2	1	0
CHIP_ID							
W-00000000b							

表 7-5. SW\_RST 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
[7:0]	SW_RST	W	00000000b	将整个器件复位到其原始默认条件



## 8.2.1 设计要求

下表提供了详细设计过程示例的参数：

表 8-1. 设计要求

参数	值
汽车电池输入电压：	典型值：6 至 18V，负载阻尼：高达 40V
备用电池	3 节镍氢电池
备用电池电压：	3 至 4.5V
充电电流：	100mA
充电时间	8h
电池运行状况检测电流：	500mA
升压输出电压：	6.2V
升压输出电流：	4A
模式选择	自动充电器和升压模式
模式瞬态期间的压降	<= 200mV

## 8.2.2 详细设计过程

### 8.2.2.1 选择外部 MOSFET

TPS61381-Q1 需要使用外部 MOSFET (Q1) 作为其升压低侧开关和 SOH 放电开关。外部 MOSFET 的选择取决于其热性能、 $V_{DS}$  电压和  $I_d$  电流。

- TPS61381-Q1 仅支持 n 通道 MOSFET 作为 Q1。
- 建议  $Q_{gd} < 5nC$ 。  $Q_{gd}$  最大不应超过 10nC。
- $V_{plateau} < 4V$ 。
- $R_{dson}$  应尽可能低。建议最大  $R_{dson}$  小于 15mΩ
- 漏源击穿电压， $V(BR)_{DSS} \geq 30V$
- 连续漏极电流应大于升压模式下的最大峰值电流：

$$I_{peak} = \frac{I_{OUT}}{(1-D) \cdot eff} + \frac{V_{BUB} \cdot D}{2L \cdot f_{sw}} \quad (7)$$

其中

- $I_{OUT}$  为升压模式下的最大负载电流。
- $D$  为升压操作的占空比
- $eff$  是升压模式效率
- $L$  是升压电感
- $f_{sw}$  为升压模式下的开关频率
- $V_{BUB}$  是 BUB 引脚上的输入电压

### 8.2.2.2 电感器选型

升压转换器通常需要两个主要无源元件，用于在功率转换过程中储存能量：一个电感器和一个输出电容器。电感器会影响稳态效率（包括纹波和效率）、瞬态行为和环路稳定性，因此电感器是应用中最关键的元件。

在选择电感器和电感时，其他重要参数包括：

- 最大额定电流（应考虑 RMS 和峰值电流）
- 串联电阻
- 工作温度

TPS61381-Q1 具有内置斜率补偿功能，可避免与电流模式控制相关的次谐波振荡。如果电感值过低，使电感峰值间纹波高于 2A，则其斜率补偿的转换率可能不足，环路可能不稳定。因此，建议在选择电感器时将峰值间电流纹波控制在 1.2A 至 2A 之间。

电感的计算方法如下：

$$L = \frac{V_{BUB} \left( 1 - \frac{V_{BUB} \cdot \text{eff}}{V_{OUT}} \right)}{\Delta I_L \cdot f_{sw}} \quad (8)$$

因此，TI 建议 400kHz 开关频率使用 2.2 μH 的电流。

流经电感器的电流为电感器纹波电流外加平均输入电流。在上电、负载故障或瞬态负载条件下，电感器电流可能会增加到计算的峰值电感器电流以上。

在没有电流偏置的情况下，电感值的容差可以为 ±20%，甚至是 ±30%。当电感器电流接近饱和水平时，其电感可以比 0A 偏置电流时的值减少 20% 至 35%，具体取决于电感器供应商对饱和电流的定义。选择电感器时，请确保额定电流（尤其是饱和电流）大于运行期间的峰值电流。

电感器峰值电流随负载、开关频率以及输入和输出电压的变化而变化。峰值电流的计算方法如下：

$$I_{peak} = \frac{I_{OUT}}{(1-D) \cdot \text{eff}} + \frac{V_{BUB} \cdot D}{2L \cdot f_{sw}} \quad (9)$$

选择饱和电流额定值高于最大电感器电流的电感器。

其中

- $I_{peak}$  是电感器的峰值电流
- $I_{OUT}$  是输出电流
- $D$  为占空比
- $\text{eff}$  是效率
- $V_{BUB}$  是输入电压
- $L$  是电感
- $f_{sw}$  为开关频率

额定热电流 (RMS) 可用以下公式计算：

$$I_{LRMS} = \sqrt{(I_{BUB}^2 + \Delta I_L^2) / 12} \quad (10)$$

其中

- $I_{LRMS}$  是电感器的 RMS 电流

- $I_{BUB}$  是电感器的输入电流
- $\Delta I_L$  是电感器的纹波电流

重要的是，峰值电流不能超过电感器的饱和电流，RMS 电流不能超过电感器的温度相关额定电流。

对于给定的物理电感器尺寸，电感增大通常会导致电感器具有较低的饱和电流。线圈的总损耗由直流电阻 (DCR) 损耗和以下与频率相关的损耗组成：

- 磁芯材料中的损耗（磁迟滞损耗，尤其是在高开关频率条件下）
- 趋肤效应对导体产生的额外损耗（高频下的电流位移）
- 相邻绕组的磁场损耗（接近效应）

对于某个电感器，较大的电流纹波（较小的电感器）会产生较高的直流损耗，以及与频率相关的损耗。为了提高效率，基本上建议使用具有较低 DCR 的电感器。然而，这通常需要在损耗和器件尺寸之间进行权衡。表 8-2 列出了一些推荐的电感器。在本应用示例中，选择了 Coilcraft 电感器 XGL6060-222，因为它具有小尺寸、高饱和电流和低 DCR。

表 8-2. 推荐用于 TPS61381-Q1 的电感器

器件型号	L (μH)	DCR 典型值 (mΩ)	饱和电流 (A)	额定热电流 (A)	尺寸 (长 × 宽 × 高)	供应商 <sup>(1)</sup>
XGL6060-222MED	2.2	4.3	12.1 (下降 20%)	20.7 (ΔT 40K)	6.51 × 6.71 × 6.1	Coilcraft
XGL1060-222MED	2.2	3.8	21.5 (下降 20%)	25.3 (ΔT 40K)	10.0 × 11.3 × 6.0	Coilcraft
IHLP-4040DZ-ER2R2	2.2	8.2	25.6 (下降 20%)	12.0 (ΔT 40K)	10.16 × 10.195 × 4.0	Vishay
IHLP-6767DZ-ER2R2	2.2	4.57	17.5 (下降 20%)	26 (ΔT 40K)	17.15 × 11.94 × 4.0	Vishay
B82464D6222M000	2.2	9	11.8 (下降 10%) 13.85 (下降 30%)	6 (ΔT 40K)	10.4 × 10.4 × 6.3	TDK
7843340220	2.2	10	14.7 (下降 30%)	8.4 (ΔT 50K)	8.1 × 8.1 × 9.0	Würth Elektronik
784373680022	2.2	7.8	25.7 (下降 30%)	13.6 (ΔT 50K)	10 × 10.85 × 3.8	Würth Elektronik

(1) 请参阅 [第三方产品](#) 免责声明

### 8.2.2.3 备用电池侧的电容

备用电池侧的电容会影响 BUB 环路稳定性。有效电容应介于 5 μF 至 10 μF 之间，需要应用 BUB 环路功能。如果不需要 BUB 环路功能，那么 BUB 侧的电容可以大到不受限制。

评估陶瓷电容器的有效电容时必须小心谨慎。对于陶瓷电容器，应考虑直流偏置电压、老化和交流信号导致的降额。以 Murata GCM21BR71C475KA73K 为例，施加 8V 直流电压时，电容器的有效电容降低 56%。

如果通过长电缆将备用电池连接到 IC，TI 建议在 BUB 侧添加额外的 100μF 至 200μF 电解电容器。此电容器有助于抑制备用电池电缆上的寄生电感引起的 LC 振铃。请注意，电解电容器不能替代陶瓷电容器，5 μF 至 10 μF 的陶瓷电容器仍需要放置在 IC 附近。

#### 8.2.2.4 选择输出电容器

设计输出电容器的主要考虑因素是在主电池发生故障且器件转换到升压模式时的输出压降要求。最小  $C_{out}$  可通过以下公式计算：

$$C_{out} > \frac{I_{outmax} \times 20\mu s}{\Delta V_{outmax}} \quad (11)$$

其中

- $C_{OUT}$  是输出电容
- $I_{OUTMAX}$  是最大输出电流
- $\Delta V_{OUTMAX}$  是转换到升压模式时允许的最大输出压降

20 $\mu$ s 是器件进入升压模式并开始切换的最长切换时间

输出纹波电压是影响  $C_{out}$  选择的另一个因素。假设电容器 ESR 为零，给定纹波所需的最小电容可通过如下计算得出

$$C_{out} > \frac{I_{outmax} \times (V_{out} - V_{BUB})}{f_{sw} \times \Delta V \times V_{out}} \quad (12)$$

其中

- $I_{OUT}$  是输出电流
- $V_{OUT}$  是输出 DC 电压
- $V_{BUB}$  是备用电池电压
- $\Delta V$  是所需的输出电压纹波
- $f_{sw}$  为切换频率

通常，需要结合使用陶瓷电容器和大容量电解电容器，来提供低 ESR、高纹波电流和低输出电压纹波。

陶瓷电容器具有 DC 偏置降额特性，可在施加 DC 电压时显著降低有效电容。因此，在计算电容时，请检查升压  $V_{out}$  目标电压处的 DC 偏置曲线。

电解电容器具有较大的 ESR，且电解电容器的 ESR 在低温条件下会增加 10 倍以上，严重影响环路稳定性。因此，在计算环路稳定性时，请确保考虑了低温条件下的 ESR。多混合电容器在低温下的 ESR 通常较小，因此较推荐使用。

根据应用要求，该应用选择并联四个 10 $\mu$ F 陶瓷电容器的 100 $\mu$ F 电解电容器。

### 8.2.2.5 环路稳定性与补偿设计

TPS61381-Q1 需要外部补偿，从而可以针对每个应用优化环路响应。COMP 引脚是内部误差放大器的输出。一个由电阻器 R5 和陶瓷电容器 C8 和 C9 组成的外部补偿网络连接至 COMP 引脚。补偿参数需要视情况计算。下一节举例说明了如何使用选定电感器和输出电容器计算补偿网络参数。

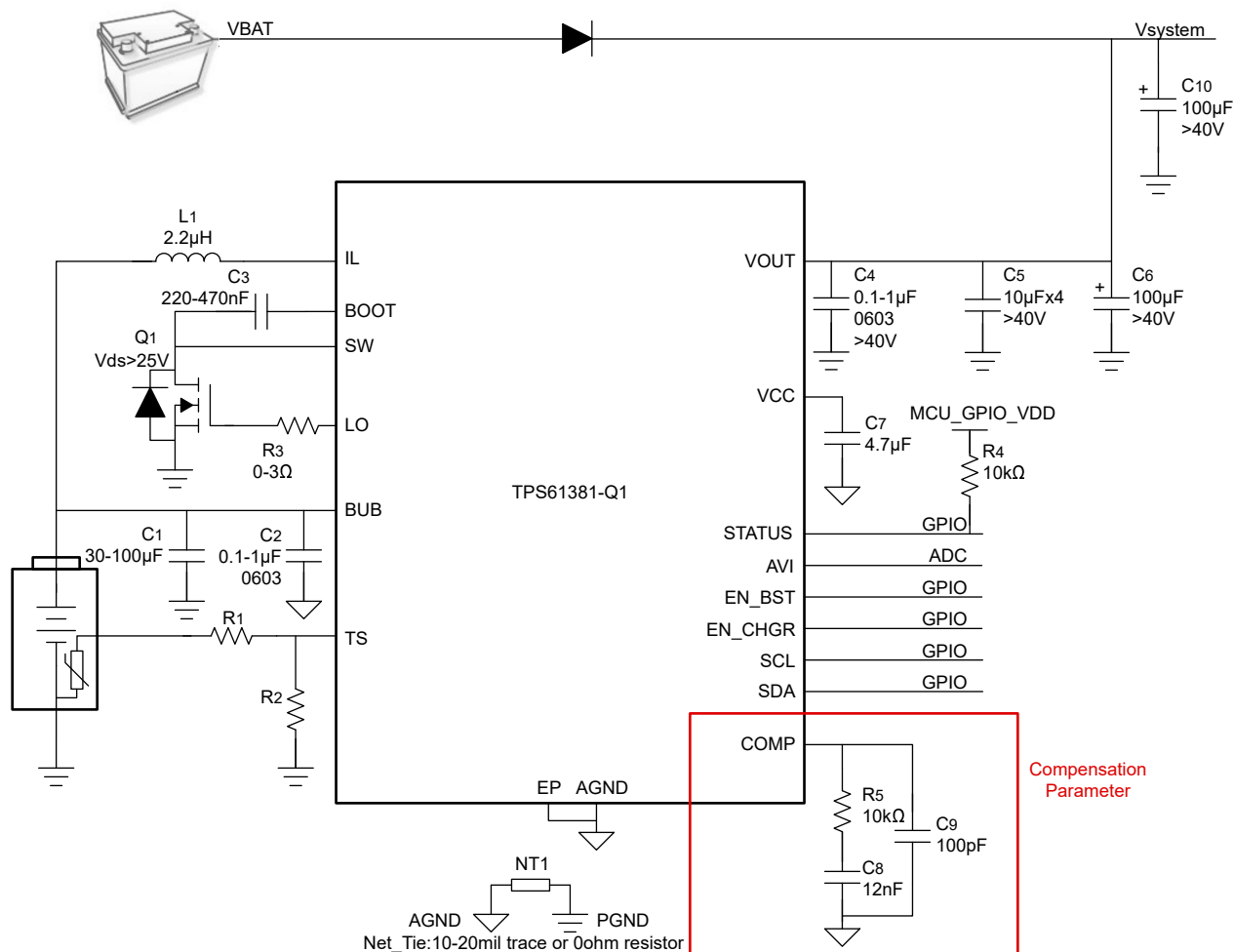


图 8-2. TPS61381-Q1 补偿设计



### 8.2.2.5.1 微小信号分析

TPS61381-Q1 使用固定频率的峰值电流模式控制，集成了内部适应性斜率补偿，以避免次谐波振荡。通过感应电感器电流信息，功率级的微小信号模型从由 L 和 C<sub>OUT</sub> 创建的双级系统减少到由 R<sub>OUT</sub> 和 C<sub>OUT</sub> 创建的单极系统。单极系统可以轻松地与环路补偿结合使用。下图显示了升压转换器的等效微小信号元件。

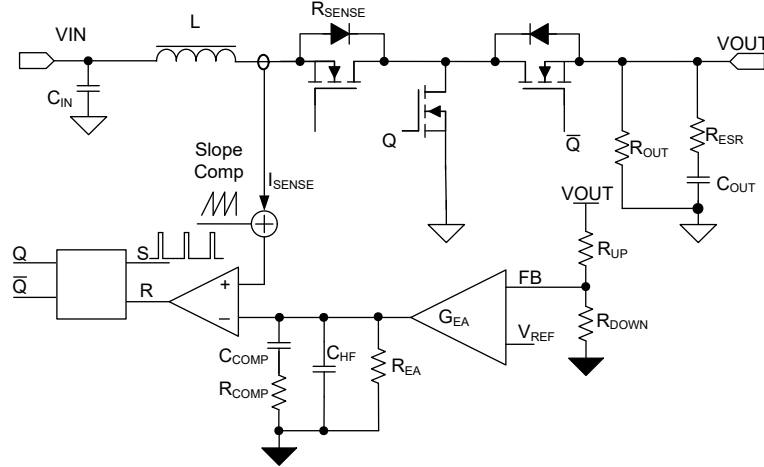


图 8-3. TPS61381-Q1 控制等效电路模型

功率级的微小信号可通过以下方式提供：

$$K_{PS}(s) = \frac{R_{out}(1-D)}{2R_{sense}} \times \frac{\left(1 + \frac{s}{2\pi \times f_{zESR}}\right)\left(1 - \frac{s}{2\pi \times f_{zRHP}}\right)}{\left(1 + \frac{s}{2\pi \times f_{pPS}}\right)} \quad (13)$$

其中

- D 为占空比
- R<sub>out</sub> 是输出负载电阻
- R<sub>sense</sub> 是等效的内部电流感应电阻器，通常为 6mΩ

功率级的单极可通过以下方式提供：

$$f_{pPS} = \frac{2}{2\pi \times C_{out} \times R_{out}} \quad (14)$$

其中

- C<sub>out</sub> 是输出电容。对于具有多个相同并联输出电容器的升压转换器，只需将电容器与等效电容组合在一起即可
- 输出电容器的 ESR 产生的零点可通过以下方式提供：

$$f_{zESR} = \frac{1}{2\pi \times C_{out} \times R_{ESR}} \quad (15)$$

其中

- R<sub>ESR</sub> 为输出电容器串联的等效电阻

右平面零点可通过以下方式提供：

$$f_{zRHP} = \frac{R_{out}(1-D)^2}{2\pi \times L} \quad (16)$$

其中

- D 为占空比
- $R_{out}$  是输出负载电阻器
- L 是电感

方程式 17 展示了反馈电阻器网络和补偿网络的公式。

$$H_{COMP}(s) = G_{comp} \times R_{EA} \times \frac{R_{up} + R_{down}}{R_{down}} \times \frac{\left(1 + \frac{s}{2\pi \times f_{zCOMP}}\right)}{\left(s1 + \frac{s}{2\pi \times f_{pCOMP1}}\right)\left(1 + \frac{s}{2\pi \times f_{pCOMP2}}\right)} \quad (17)$$

其中

- $G_{COMP}$  是误差放大器的增益，通常  $G_{EA} = 24uS$
- $R_{EA}$  是误差放大器的输出阻抗，通常  $R_{EA} = 5M\Omega$
- $f_{pCOMP1}$ 、 $f_{pCOMP2}$  是补偿极点的频率
- $f_{zCOMP}$  是补偿网络零点的频率

$f_{pCOMP1}$  可通过以下方式提供：

$$f_{pCOMP1} = \frac{1}{2\pi \times R_{EA} \times C_{COMP}} \quad (18)$$

其中

- $C_{COMP}$  是补偿电容器

$f_{pCOMP2}$  可通过以下方式提供：

$$f_{pCOMP2} = \frac{1}{2\pi \times R_{COMP} \times C_{HF}} \quad (19)$$

其中

- $C_{HF}$  是 COMP 引脚上的高频率旁路电容器
- $R_{COMP}$  是补偿网络的电阻器

$f_{zCOMP}$  可通过以下方式提供：

$$f_{zCOMP} = \frac{1}{2\pi \times R_{COMP} \times C_{COMP}} \quad (20)$$

其中

- $C_{COMP}$  是零点电容器补偿
- $R_{COMP}$  是补偿网络的电阻器

#### 8.2.2.5.2 环路补偿设计

根据前面对小型信号模型的分析，我们可以使用给定的电感器和输出电容器参数计算补偿网络参数。本节提供了一个环路补偿计算示例。

##### 1. 设置交叉频率 $f_C$ 。

第一步是设置环路交叉频率  $f_C$ 。交叉频率越高，环路的响应速度就越快。通常，环路增益交叉点不高于开关频率  $f_{SW}$  的 1/10 或 RHPZ 频率  $f_{zRHP}$  的 1/5 (以较低者为准)。

##### 2. 设置补偿电阻 $R_{COMP}$ 。

对于补偿良好的升压系统， $f_C$  由  $R_{COMP}$  决定。对于设计合理的升压系统， $f_{zCOMP}$  应放置在  $f_C$  以下，以确保相位裕度。对于常见的  $R_{COMP}$  范围， $R_{COMP}$  应远小于放大器输出电阻  $R_{EA}$ ，使得  $R_{COMP} \parallel R_{EA} \approx R_{COMP}$ 。因此，在下面的公式中，初始增益  $R_{COMP} \times G_{COMP} \times K_{FB}$  由  $R_{COMP}$  决定。因此可使用如下公式计算  $f_C$ ：闭环总增益  $T(s) = K_{PS}(s) + H_{COMP}(s)$  在  $f_C$  处为零。

$$H_{COMP} = 20lg\left(G_{COMP} \times R_{COMP} \times \frac{R_{down}}{R_{up} + R_{down}}\right) = -K_{PS}(f_C) \quad (21)$$

其中

- $K_{PS}$  是功率级增益
- $G_{EA}$  是放大器的跨导， $G_{EA}$  的典型值 =  $24 \mu S$

### 3. 设置补偿零点电容器 $C_{COMP}$ 。

补偿零点应该置于功率级极点  $f_{pPS}$  处，以补偿  $f_{pPS}$  附近的相位下降。设置  $f_Z = f_P$ ，可以计算  $C_{COMP}$ 。

$$C_{COMP} = \frac{R_{out} \times C_{out}}{2R_{COMP}} \quad (22)$$

### 4. 设置补偿极点电容器 $C_{HF}$ 。

补偿极点的设置位置应该消除  $R_{ESR}$  和  $C_{out}$  产生的 ESR 零点。设置  $f_{pCOMP2} = f_{zESR}$  并获取：

$$C_{HF} = \frac{R_{ESR} \times C_{out}}{R_{COMP}} \quad (23)$$

### 5. 检查相位裕度与增益裕度

计算得出的补偿参数并非总能确保稳定性。尤其是在  $C_{out}$  的 ESR 较大时，会将  $f_{zESR}$  引入带宽之中。TI 提供了 Excel 计算工具，该工具可在选择所有补偿参数后生成波德图。因此请在步骤 1-4 后查看波德图，以了解稳定性。TI 建议相位裕度大于 60 度，增益裕度大于 10db。如果裕度不满足要求，请降低所需  $f_C$  并在步骤 1-4 中重新计算补偿值。

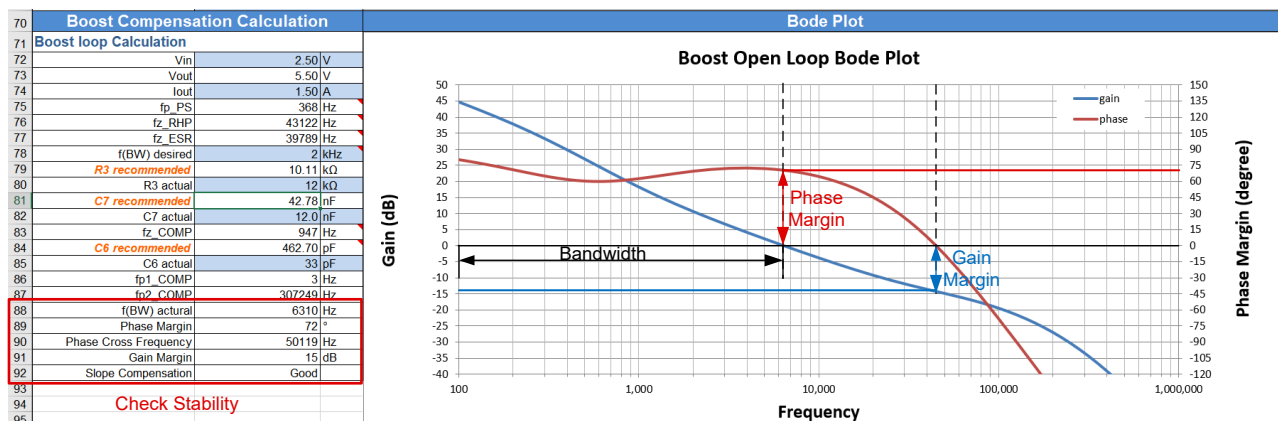


图 8-4. 评估环路稳定性

### 8.2.3 应用曲线

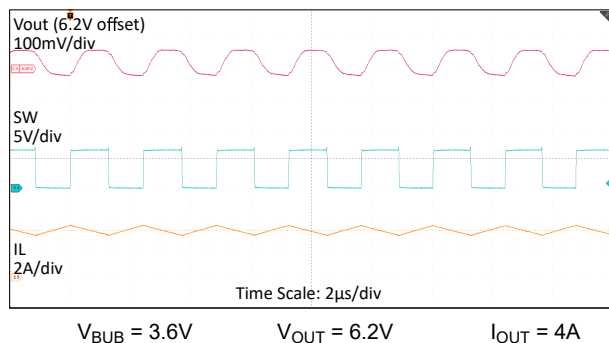


图 8-5. 重负载状态下的升压开关

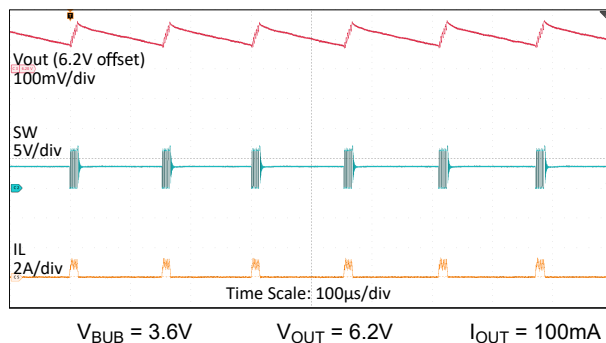


图 8-6. 轻负载状态下的升压开关

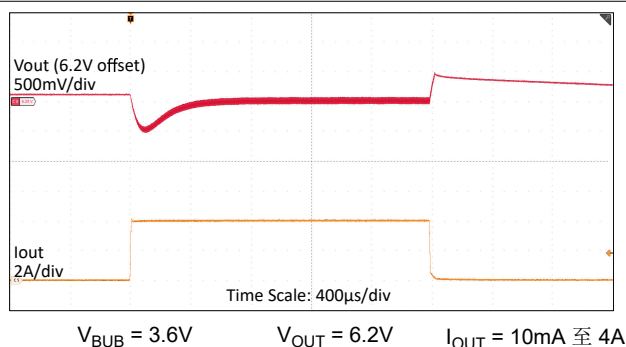


图 8-7. 升压模式下的负载瞬态

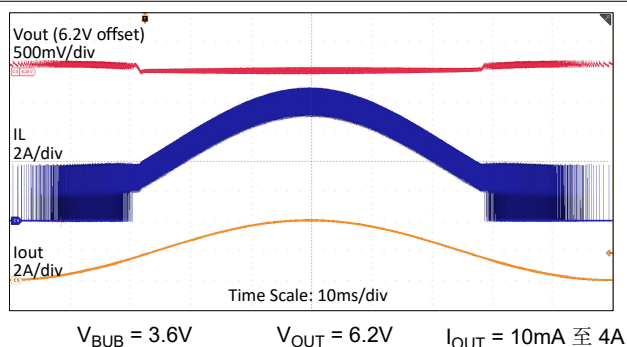


图 8-8. 升压模式下的负载扫描

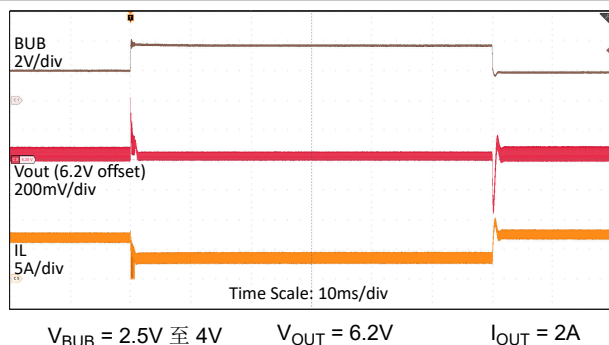


图 8-9. 升压模式下的线路瞬态

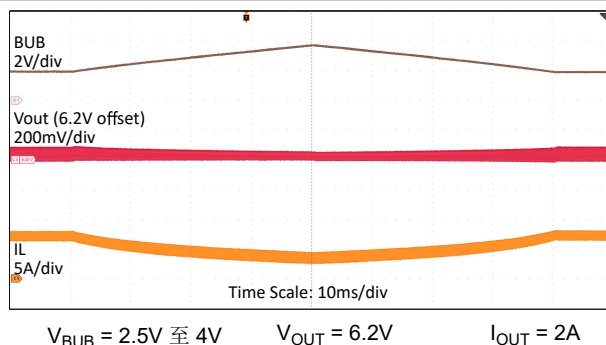


图 8-10. 升压模式下的线路扫描

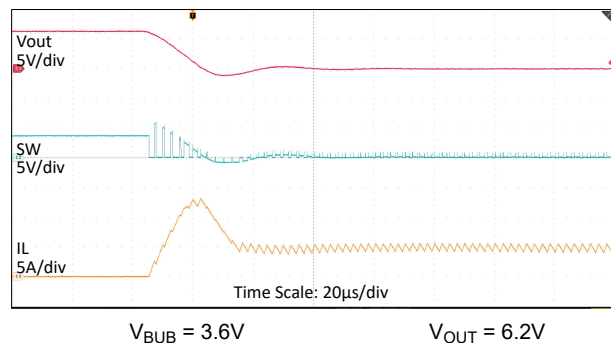


图 8-11. 升压输出短路保护

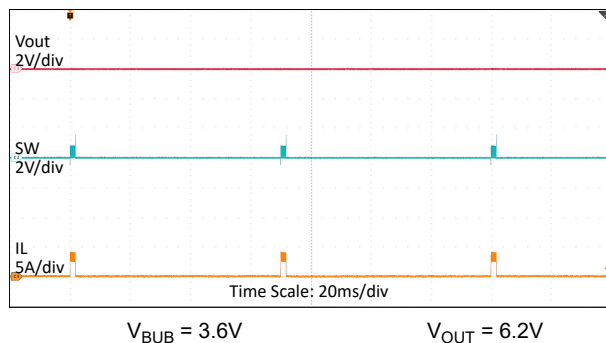


图 8-12. 升压输出短路断续

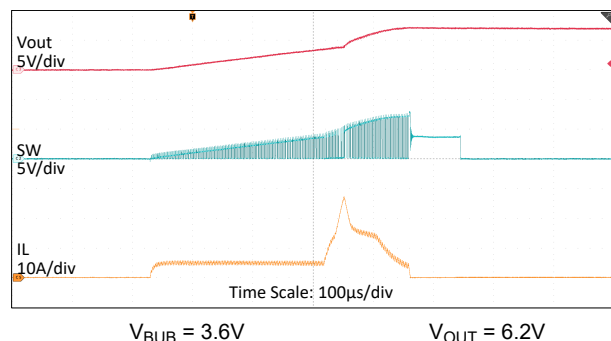


图 8-13. 升压输出短路恢复

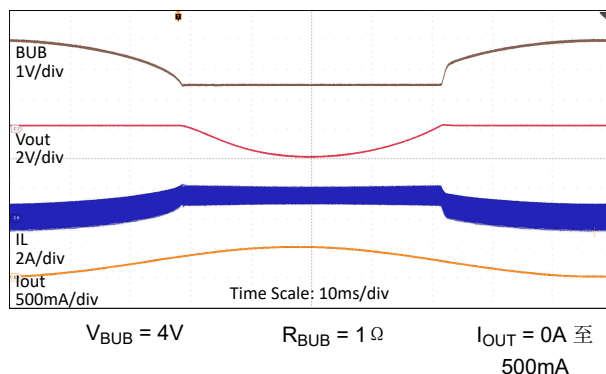


图 8-14. BUB 环路

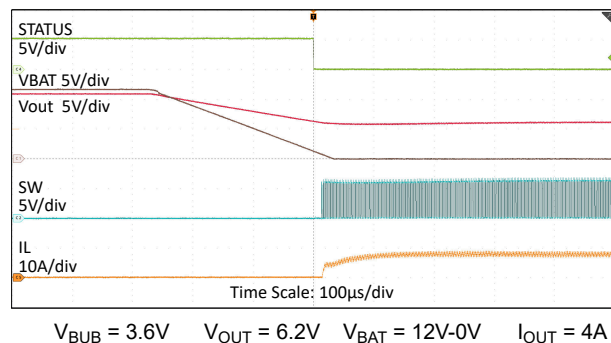


图 8-15. 切换到升压模式 (12V 电池中断)

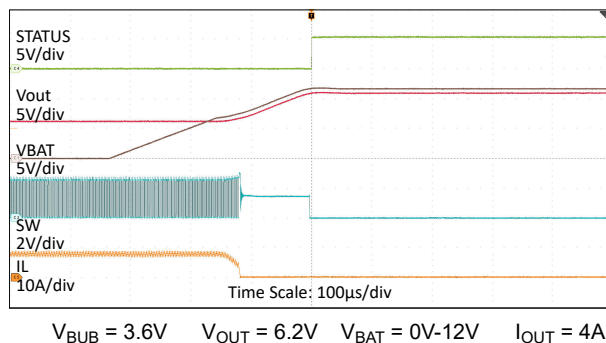


图 8-16. 切换到待机模式 (12V 电池恢复)

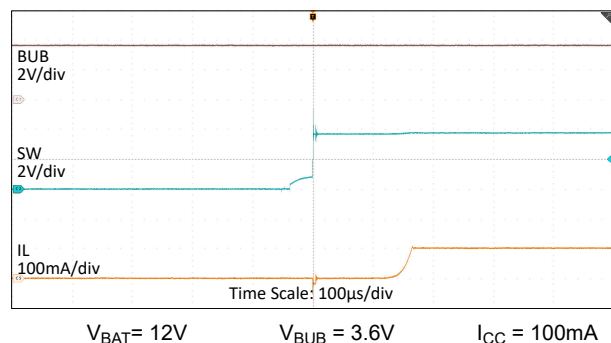


图 8-17. 充电器启动

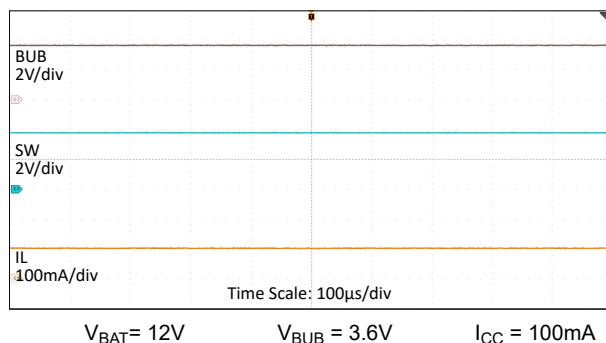


图 8-18. 充电器稳定状态

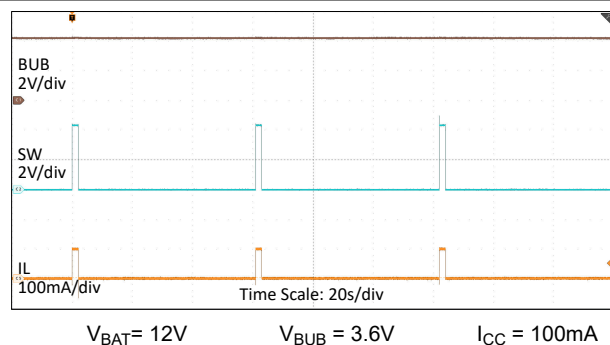


图 8-19. 镍氢电池间歇充电

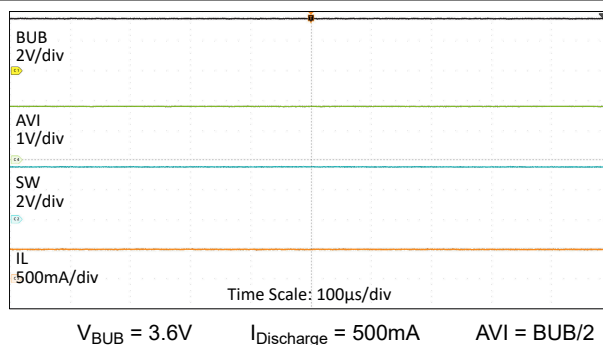


图 8-20. SOH 稳定状态

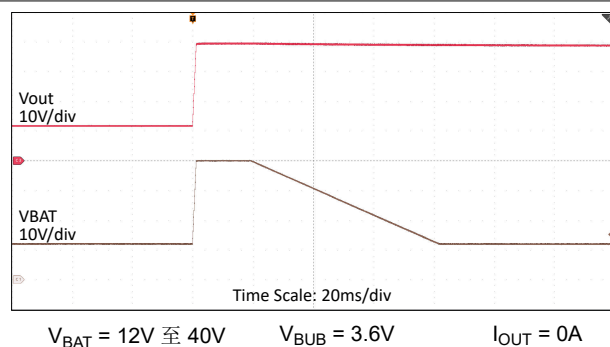


图 8-21. 12V 电池负载突降

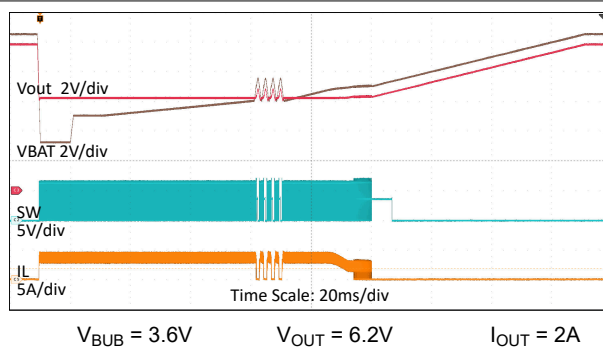


图 8-22. 12V 电池冷启动

### 8.3 电源相关建议

输入电源的特性必须能够向负载稳压器提供所需的输入电流。可以使用以下公式来估算平均输入电流。

$$I_{BUB} = \frac{V_{out} \times I_{out}}{V_{BUB} \times \eta} \quad (24)$$

其中

- $\eta$  是效率

如果稳压器通过长导线或 PCB 布线连接到输入电源，则需要特别谨慎，以实现良好的性能。输入电缆的寄生电感和电阻可能会对稳压器的运行造成不良影响。寄生电感与低 ESR 陶瓷输入电容器相结合，可以构成 LC 谐振电路。这可能导致稳压器输入端出现过压瞬态或触发 UVLO。考虑在向输出端施加负载瞬态时，电源电压可能会下降，这取决于线束的寄生电阻和电感以及电源的特性。如果应用的工作电压接近最小输入电压，此下降会导致稳压器暂时关断并复位。解决这些问题的最佳方法是缩短输入电源与稳压器之间的距离。此外，将一个铝输入电容器与陶瓷电容器并联使用。此类电容器的中等 ESR 有助于抑制输入谐振电路并减少任何过冲或下冲。47μF 至 100μF 范围内的值通常足以提供输入抑制，并有助于在大负载瞬变期间保持输入电压稳定。

### 8.4 布局

#### 8.4.1 布局指南

任何直流/直流转换器的 PCB 布局对于实现设计的出色性能而言都至关重要。PCB 布局不良会生成额外噪声，因此会破坏原本良好的原理图设计的运行。即使转换器在一些初步测试中正确调节，不良的 PCB 布局仍然会影响可靠性并增加大规模生产的风险。此外，稳压器的 EMI 性能在很大程度上取决于 PCB 布局。

在升压转换器中，对 EMI 最关键的 PCB 功能是由输出电容器和低侧 MOSFET 接地形成的环路。该环路承载具有高 di/dt 的不连续电流，这会在布局寄生电感上产生高电压峰值。过高的瞬态电压会破坏转换器的正常运行，影响 EMI，甚至损坏 MOSFET。为降低布局中的寄生电感，需要将陶瓷 Cout 放置在尽可能靠近 Vout 引脚（在 1mm 以内）的位置，且低侧 MOSFET Q1 应尽可能靠近 SW 引脚放置。TI 还建议将较小的 Cout（100nF-1μF，0603 封装）靠近 Vout 引脚，以滤除高频噪声。避免通过过孔连接这个较小的 Cout。

除 Cout 环路外，GND 连接对于避免开关噪声形式影响 IC 也非常重要。如果 AGND 未正确连接，则存在 IC 内部电路失控甚至损坏的风险。确保 AGND 与 PGND 分开，并将 VCC、COMP、AGND 引脚、散热焊盘连接到 AGND。AGND 需要通过单点（网络连接、0Ω 电阻器或 10-20mil 宽度的迹线）连接到 PGND。网络连接应在低侧 MOSFET 源（PGND）和 VCC 电容器的 AGND 焊盘之间由单独短布线连接。有关 GND 连接的详细布线示例，请参阅 节 8.4.2。

将 VCC 电容器靠近 VCC 引脚和 AGND 引脚放置：必须使用短而宽的布线将该电容器连接到 VCC 引脚和 AGND 引脚。

使 PCB 的第 2 层成为接地平面：该层充当噪声屏蔽层和散热路径。使用第 2 层作为 GND 平面可减小 Cout 环路的封闭面积并降低寄生电感。

为 IL、SW、VOUT 和 PGND（低侧 MOSFET 源）提供宽多边形覆铜：这些路径必须尽可能宽和直，以减少转换器输入或输出路径上的任何压降，从而最大限度地提高效率。

提供足够大的覆铜平面，以实现适当的散热：考虑到重负载和高温，必须使用足够大的铜面积来确保实现低  $R_{\theta JA}$ 。在 PCB 顶层和底层应用至少 4 层电路板并覆有 2 盎司铜。如果 PCB 设计使用多个铜层（建议），则散热过孔也可以连接到内层散热接地平面。请注意，该器件的封装通过所有引脚进行散热。除为避免噪声而需要尽可能减小面积之外，所有引脚都可以使用宽布线

#### 8.4.2 布局示例

依据为之前对 GND 连接进行的分析。AGND 和 PGND 之间的网络连接应连接在低侧 MOSFET 源与 VCC 电容器的 AGND 焊盘之间。将驱动器电流返回路径从 PGND 覆铜处切断，借助栅极追踪，将其作为差分对分别进行并联布线，这样它们的相互电感就可以消除寄生电感。此外，VCC 电容器应尽可能靠近 IC 放置。



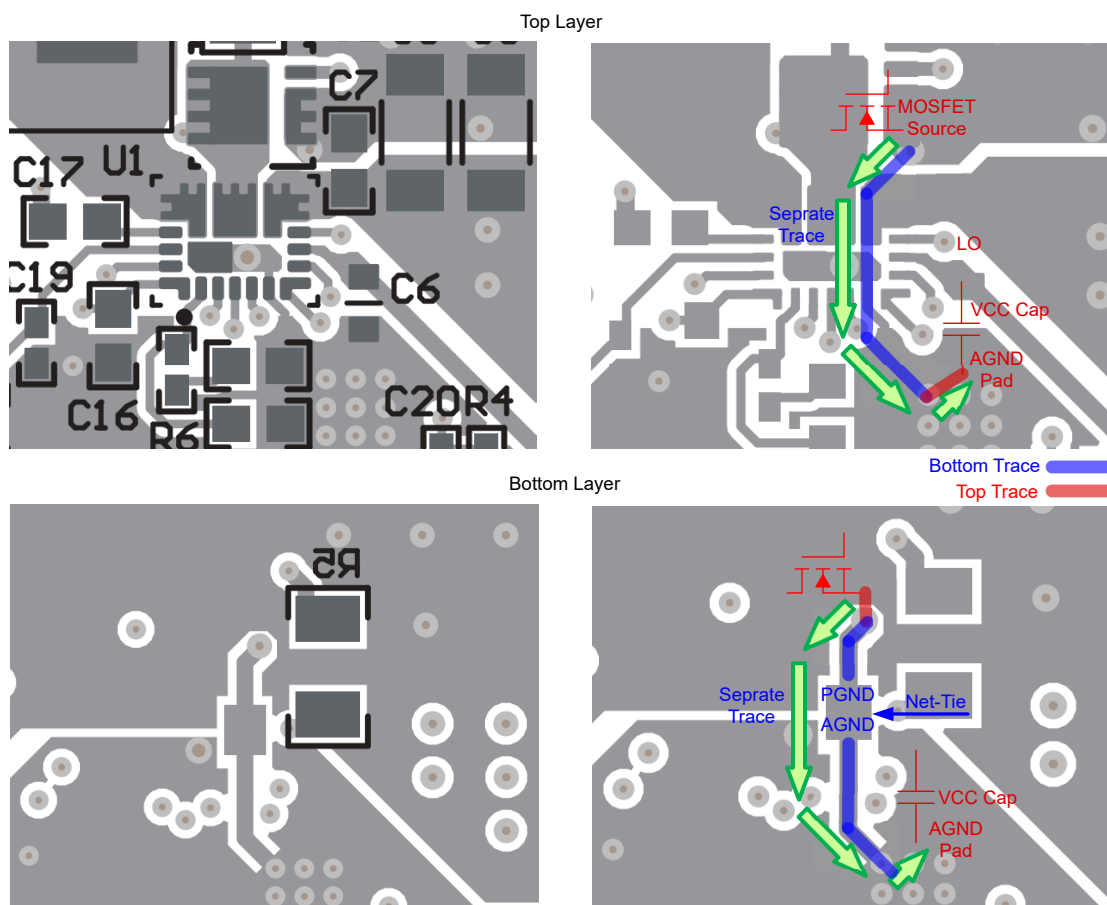


图 8-23. GND 连接布局示例



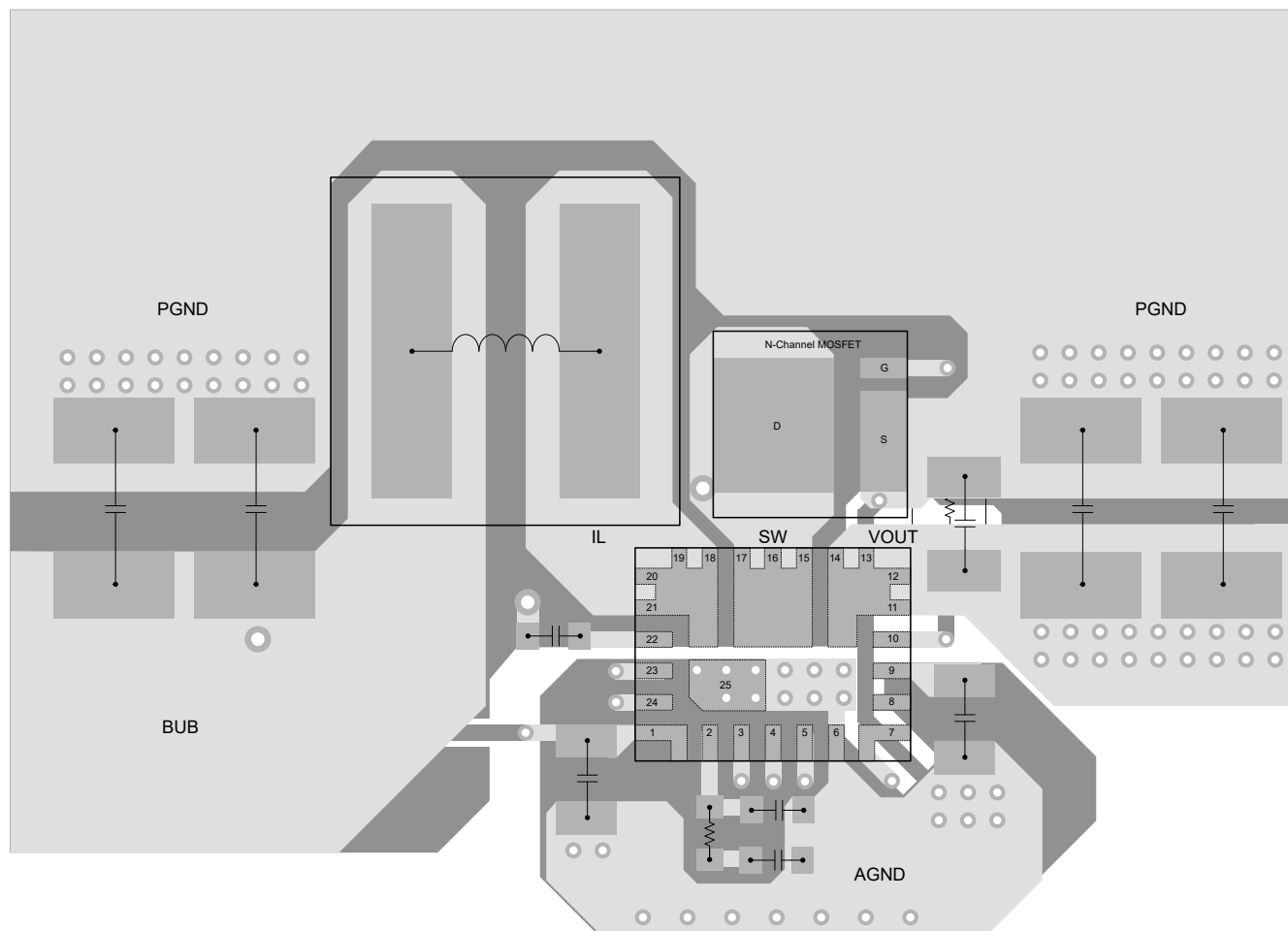


图 8-24. TPS61381Q 常见布局顶层

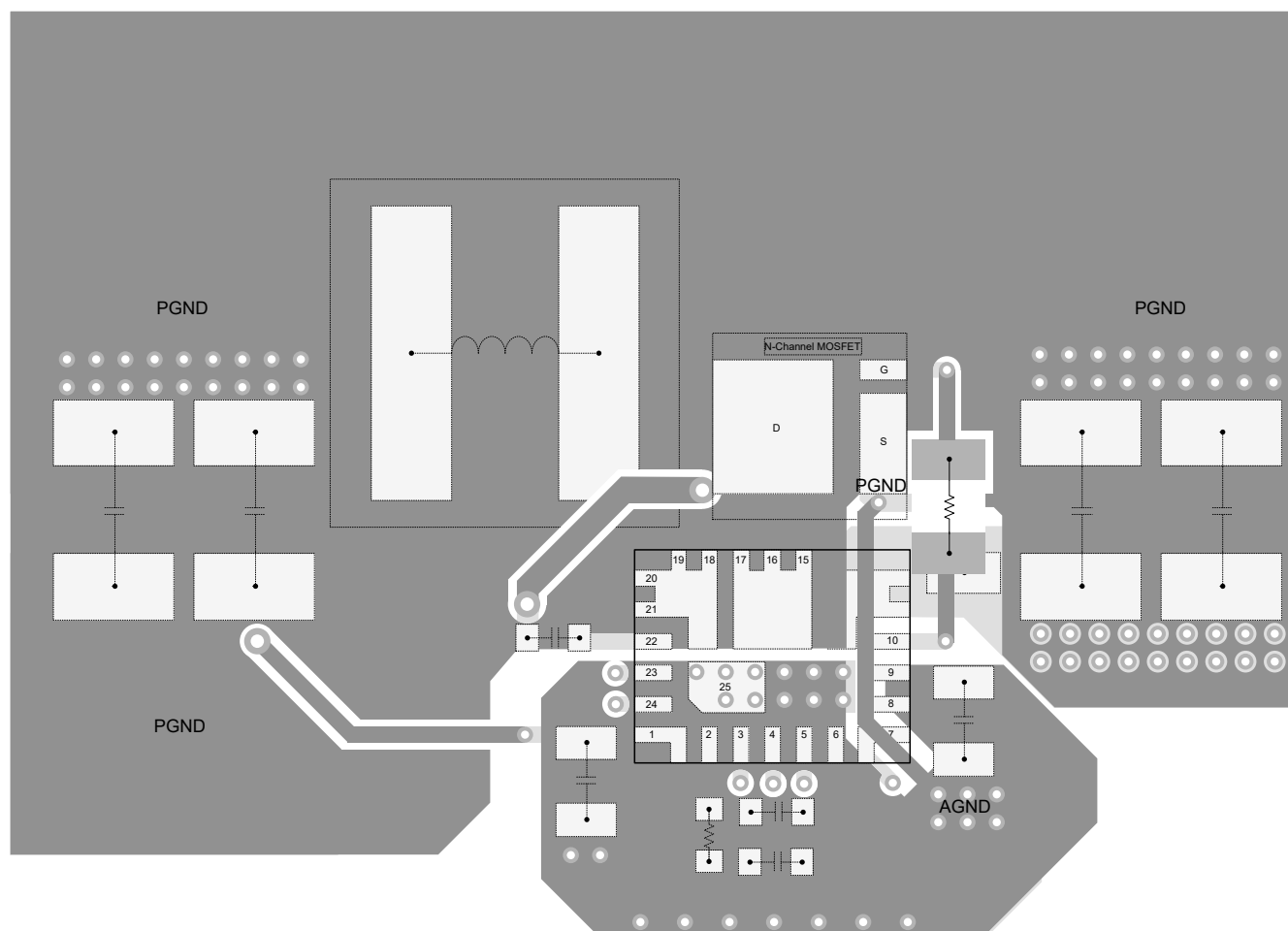


图 8-25. TPS61381Q 常见布局顶层到底层

## 9 器件和文档支持

### 9.1 器件支持

#### 9.1.1 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。

### 9.2 文档支持

#### 9.2.1 相关文档

请参阅以下相关文档：

- 德州仪器 (TI)，[“精确测量 PFM 模式效率”应用报告](#)
- 德州仪器 (TI)，[“精确测量超低 IQ 器件的效率”技术简报](#)
- 德州仪器 (TI)，[“IQ：定义、常见误解及其使用方式”技术简报](#)

### 9.3 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。

### 9.4 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](#)。

### 9.5 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。

### 9.6 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。

### 9.7 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。

## 10 修订历史记录

日期	修订版本	注释
2024 年 3 月	*	初始发行版

## 11 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)
<a href="#">TPS61381QRAVRQ1</a>	Active	Production	WQFN-FCRLF (RAV)   24	3000   LARGE T&R	Yes	NIPDAU	Level-2-260C-1 YEAR	-40 to 125	S61381Q
TPS61381QRAVRQ1.A	Active	Production	WQFN-FCRLF (RAV)   24	3000   LARGE T&R	Yes	NIPDAU	Level-2-260C-1 YEAR	-40 to 125	S61381Q

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

<sup>(2)</sup> **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.

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

<sup>(4)</sup> **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.

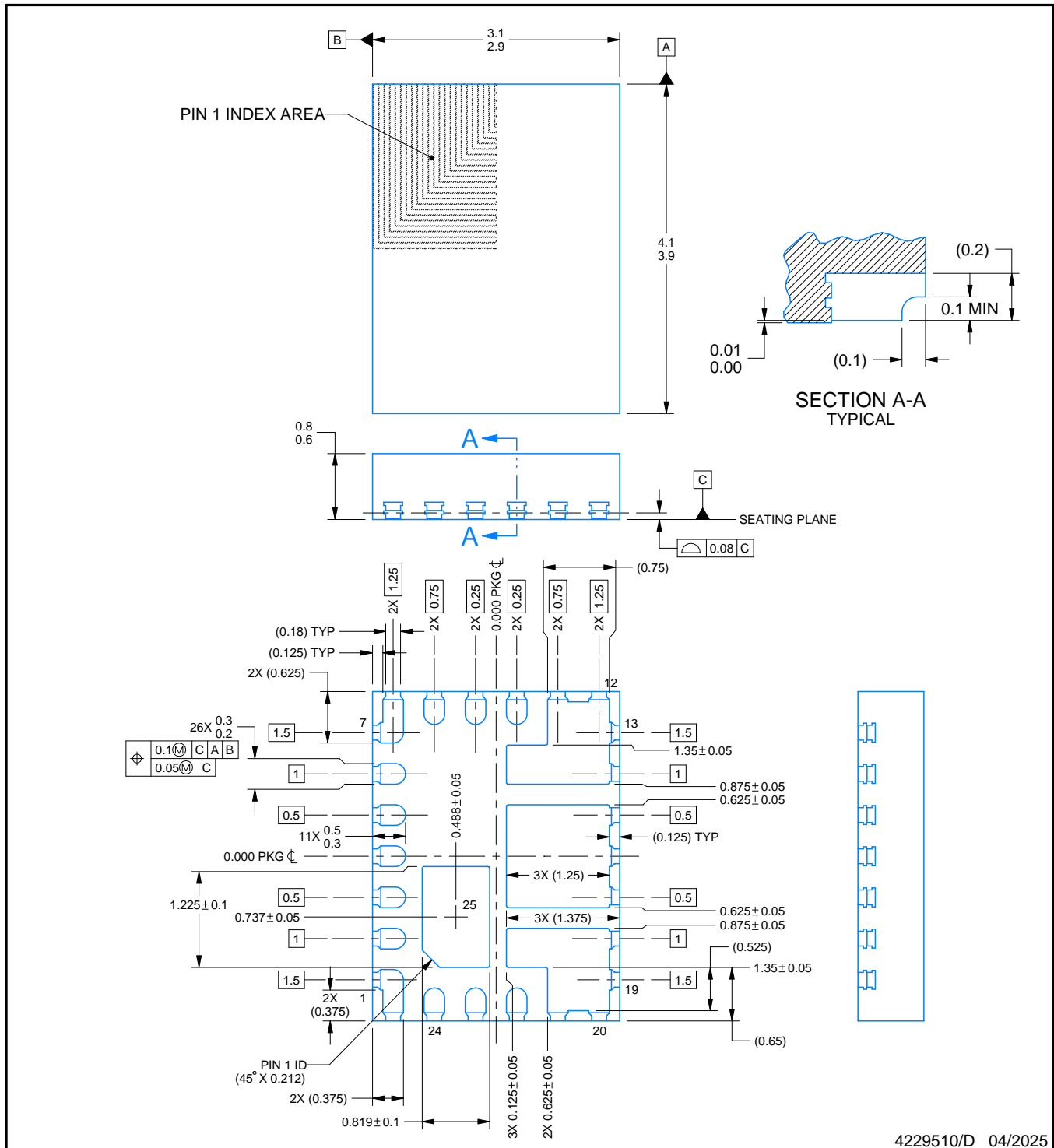
<sup>(5)</sup> **MSL rating/Peak reflow:** The moisture sensitivity level ratings and peak solder (reflow) temperatures. In the event that a part has multiple moisture sensitivity ratings, only the lowest level per JEDEC standards is shown. Refer to the shipping label for the actual reflow temperature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

<sup>(6)</sup> **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.



4229510/D 04/2025

### NOTES:

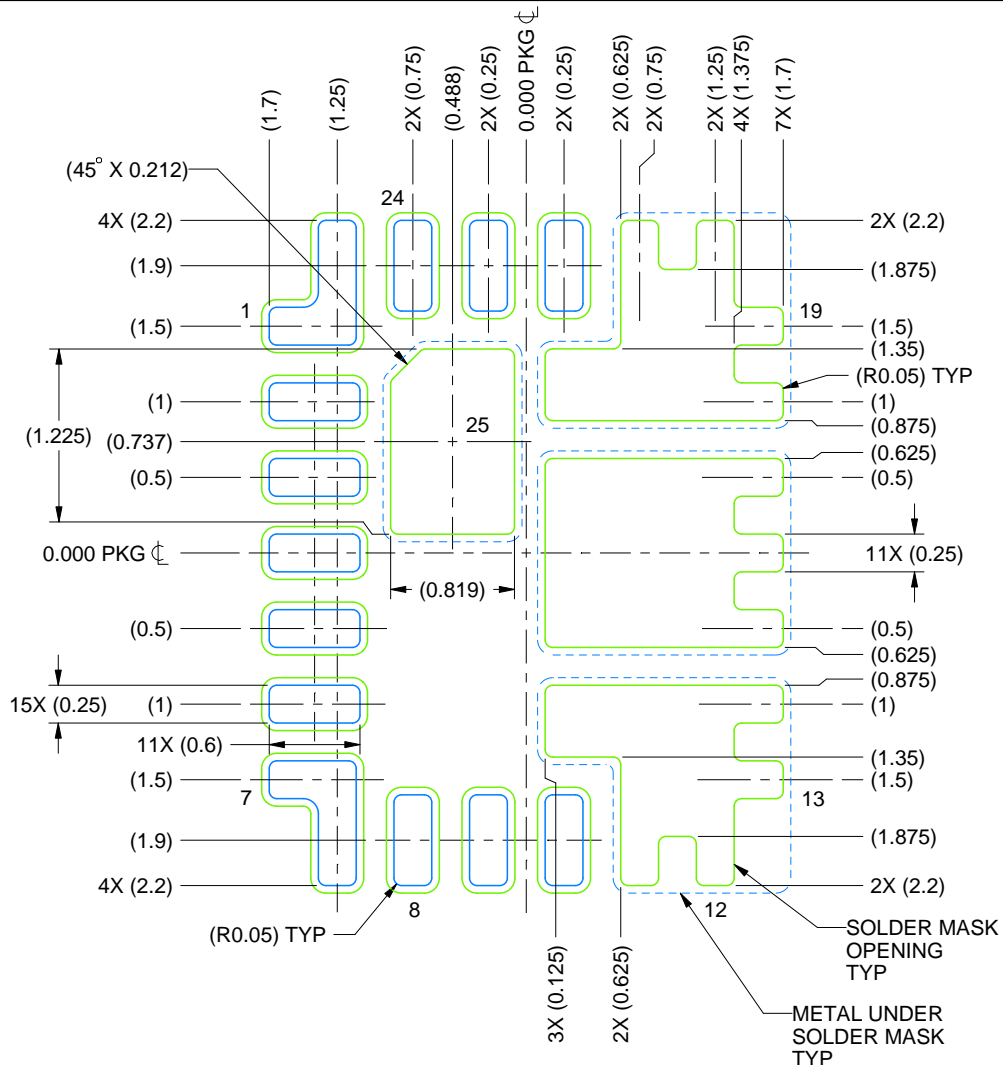
1. All linear dimensions are in millimeters. Any dimensions in parenthesis are for reference only. Dimensioning and tolerancing per ASME Y14.5M.
2. This drawing is subject to change without notice.
3. The package thermal pad must be soldered to the printed circuit board for thermal and mechanical performance.

# EXAMPLE BOARD LAYOUT

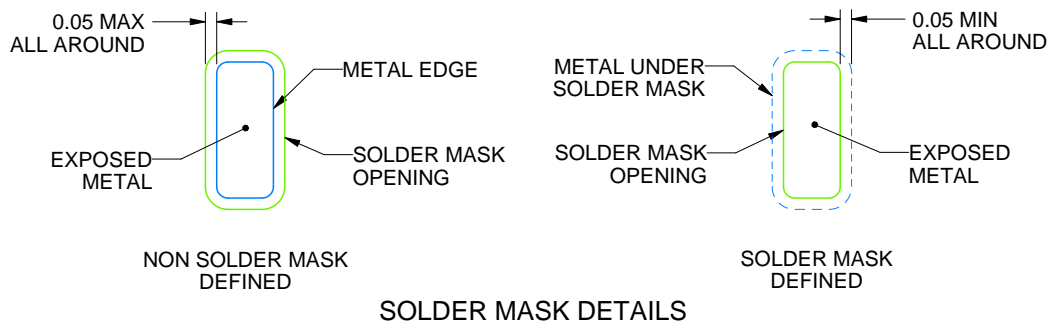
RAV0024A

WQFN-FCRLF - 0.8 mm max height

PLASTIC QUAD FLATPACK - NO LEAD



LAND PATTERN EXAMPLE  
SCALE: 20X



4229510/D 04/2025

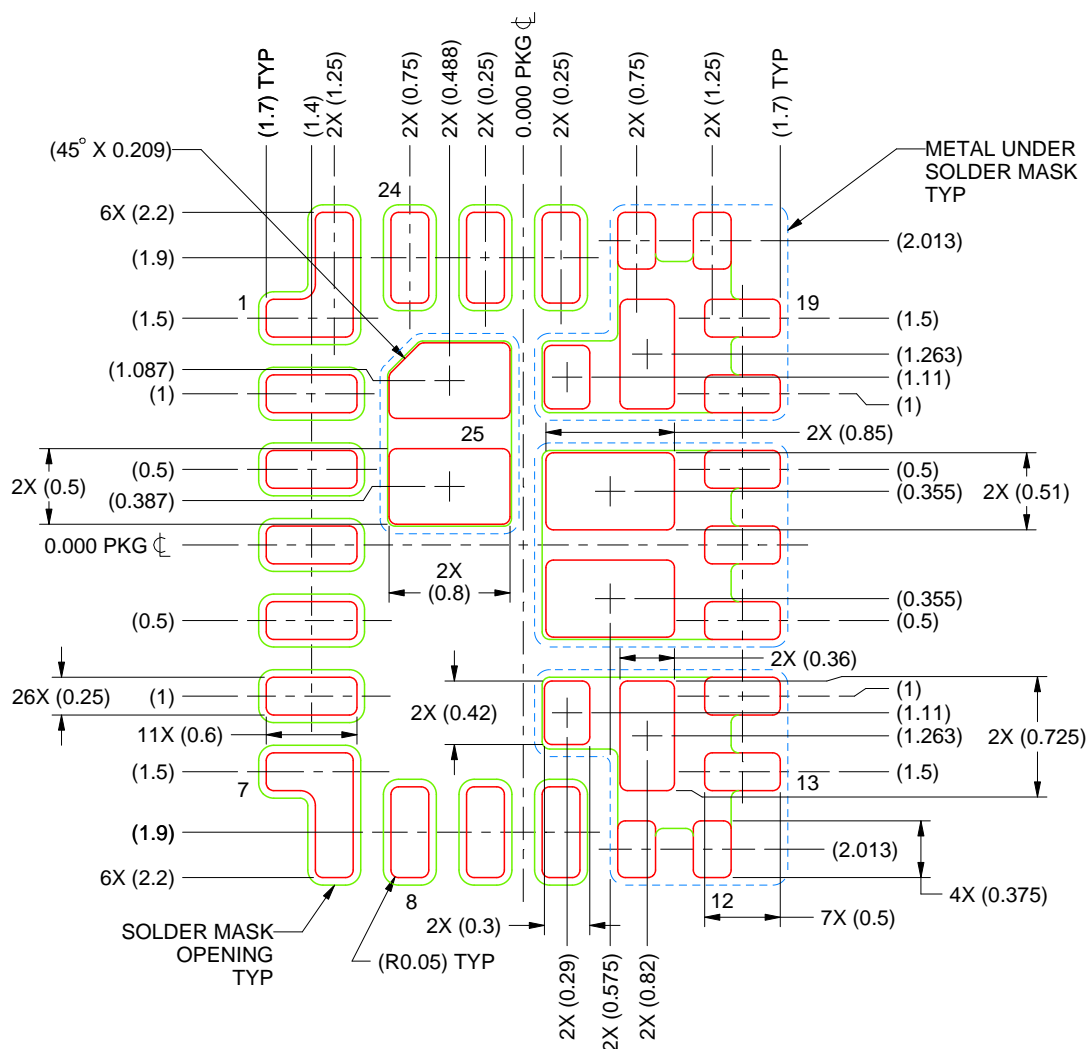
NOTES: (continued)

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/sluea271](http://www.ti.com/lit/sluea271)).
5. 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.

RAV0024A

## WQFN-FCRLF - 0.8 mm max height

PLASTIC QUAD FLATPACK - NO LEAD



SOLDER PASTE EXAMPLE  
BASED ON 0.125 mm THICK STENCIL  
SCALE: 20X

PRINTED SOLDER COVERAGE BY AREA UNDER PACKAGE  
FUSED PAD 11 - 14 & 18-20: 62%  
FUSED PAD 15-17: 68%  
PAD 25: 79%

4229510/D 04/2025

NOTES: (continued)

6. 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