

具有集成 I2T 线保护和低功耗模式的 TPS2HCS10-Q1 11.3mΩ 汽车类双通道 SPI 控制型高侧开关

1 特性

- 符合面向汽车应用的 AEC-Q100 标准
 - 温度等级 1: -40°C 至 125°C
 - 可承受 36V 负载突降
- 具有集成式 nFET 的双通道 SPI 受控智能高侧开关
- 集成线束保护, 无需 MCU 参与且采用 SPI 可编程熔断器曲线
 - 针对持续过载情况提供保护
- 通过 SPI 可编程可调节过流保护提高系统级可靠性
- SPI 可配置电容充电模式, 可满足各种容性输入 ECU 负载电流需求。
- 低静态电流, 低功耗导通状态, 可在负载电流增大时为具备自动唤醒功能的常开负载提供 MCU 的唤醒信号
- 强大的集成式输出保护:
 - 集成热保护
 - 针对对地短路提供保护
 - 反向电池事件保护包括 FET 通过反向电源电压自动开启
 - 电池电量耗尽和接地失效时自动关闭
 - 集成输出钳位对电感负载进行消磁
- 通过 SPI 的数字检测输出可配置为:
 - 使用集成式 ADC 准确地测量负载电流
 - 测量输出或电源电压、FET 温度
- 通过 SPI 接口提供全面的故障诊断, 并通过 FLT 引脚进行指示
 - 开路负载和电池短路检测

2 应用

- 汽车区域 ECU
- 配电模块
- 车身控制模块

3 说明

TPS2HCS10-Q1 器件是一款通过串行外设接口 (SPI) 控制的双通道智能高侧开关, 适用于配电和执行器驱动应用。该器件集成了强大的保护功能, 可确保在短路或过载情况下提供输出线路和负载保护。该器件具有可通过 SPI 配置的过流保护功能, 以及足够的灵活性, 可支持需要大浪涌电流的负载并提供改进的保护。此外, 该器件还集成了可编程熔断器曲线 (电流与时间的关系), 可在持续过载条件下关闭开关。这两个特性相互配合, 可针对任何负载曲线优化线束, 并提供全面保护。

该器件支持 SPI 可配置电容充电模式, 适用于配电开关应用中的 ECU 负载。该器件还包括两种低功耗模式 (LPM) 状态: 自动进入模式或手动进入模式, 这使器件能够向负载 ECU 提供电流, 同时仅消耗约 10 - 20 μ A 的电流。

TPS2HCS10-Q1 器件还通过 SPI 提供高精度数字电流检测, 从而改进负载诊断。通过向系统 MCU 报告负载电流、通道输出电压和输出 FET 温度, 该器件可实现开关和负载故障诊断。

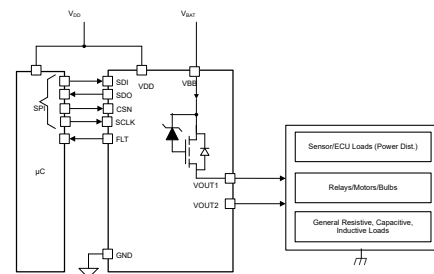
TPS2HCS10-Q1 器件采用 HTSSOP 封装方式, 以减小 PCB 占用空间。

封装信息

器件型号	封装 ⁽¹⁾	封装尺寸 ⁽²⁾
TPS2HCS10-Q1	PWP (HTSSOP , 16)	5mm x 6.4mm

(1) 有关所有可用封装, 请参阅节 12。

(2) 封装尺寸 (长 × 宽) 为标称值, 并包括引脚 (如适用)。



简化版原理图



内容

1 特性	1	8.1 概述	20
2 应用	1	8.2 功能方框图	21
3 说明	1	8.3 特性说明	21
4 器件比较表	3	8.4 器件功能模式	42
5 引脚配置和功能	4	8.5 TPS2HCS10-Q1 寄存器	65
5.1 版本 A 封装.....	4	9 应用和实施	106
5.2 引脚排列 — 版本 A.....	4	9.1 应用信息.....	106
5.3 版本 B 封装.....	5	9.2 典型应用.....	107
5.4 引脚排列 — 版本 B.....	5	9.3 电源相关建议.....	109
6 规格	6	9.4 布局.....	110
6.1 绝对最大额定值.....	6	10 器件和文档支持	112
6.2 ESD 等级.....	6	10.1 第三方产品免责声明.....	112
6.3 建议运行条件.....	6	10.2 接收文档更新通知.....	112
6.4 热性能信息.....	7	10.3 支持资源.....	112
6.5 电气特性.....	7	10.4 商标.....	112
6.6 SPI 时序要求.....	13	10.5 静电放电警告.....	112
6.7 开关特性.....	13	10.6 术语表.....	112
6.8 典型特性.....	15	11 修订历史记录	112
7 参数测量信息	19	12 机械、封装和可订购信息	113
8 详细说明	20		

4 器件比较表

表 4-1. 器件选项

器件版本	器件型号	ACTIVE 状态下的输出控制	基于 $R_{SNS} = 700\Omega$ 的 I _{2T} 范围	过流保护 (I _{OC} P) 范 围	Limp Home 状 态
A	TPS2HCS10A-Q1	通过 SPI 设置	8.8A ² s 至 350A ² s	10A 至 25A	是
B	TPS2HCS10B-Q1	仅通过 Dlx 引脚设置			否

5 引脚配置和功能

5.1 版本 A 封装

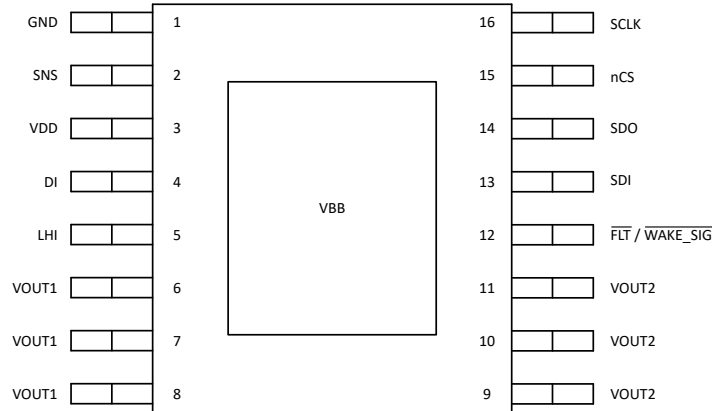


图 5-1. TPS2HCS10A-Q1 PWP 封装，16 引脚 HTSSOP (顶视图)

5.2 引脚排列 — 版本 A

引脚		类型	说明
编号	名称		
1	GND	GND	器件接地
2	SNS	O	SNS 电流输出 — 使用并联 RC 网络连接到 IC 的 GND 引脚。
3	VDD	电源	逻辑电源输入 — 使用陶瓷电容器靠近 IC 的 GND 引脚去耦。
4	DI	I	设置 LIMP HOME 模式下的输出行为 (如已配置为该模式)。该引脚需要通过 10K 电阻器连接到 MCU 或其他 HI/LO 源极, 以实现保护并使能反极性 FET 导通功能。
5	LHI	I	外部输入 (高电平有效) 以使能 LIMP HOME 模式。
6,7,8	VOUT1	O	通道 1 的输出
9、10、11	VOUT2	O	通道 2 的输出
12	FLT/ WAKE_SIG	O	故障输出 — 在任何 (一个或多个) 通道上: 开漏, 使用 4.7K 电阻器上拉至 VDD 引脚。在钥匙关闭模式下, 还可在满足负载电流需求时用作 MCU 的唤醒信号。
13	SDI	I	SPI 器件 (辅助) 数据输入
14	SDO	O	来自器件的 SPI 数据输出。内部上拉至 VDD。
15	CSN	I	芯片选择。内部上拉至 VDD
16	SCLK	I	SPI 时钟输入
散热焊盘	VBB	电源	电源

5.3 版本 B 封装

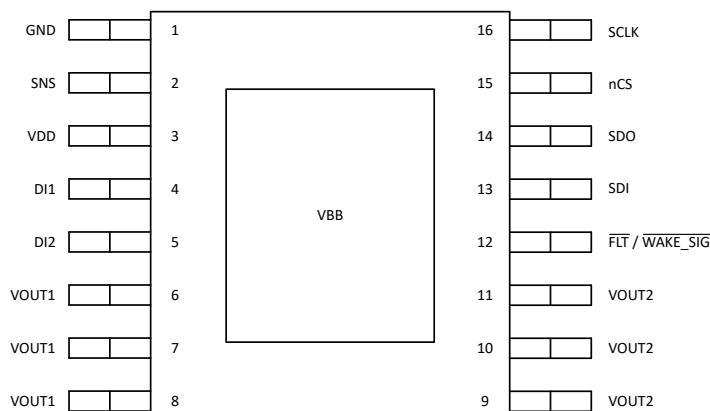


图 5-2. PWP 封装，16 引脚 HTSSOP (顶视图) — TPS2HCS10B-Q1

5.4 引脚排列 — 版本 B

引脚		类型	说明
编号	名称		
1	GND	GND	器件接地
2	SNS	O	SNS 电流输出 — 使用电阻器连接到 GND。
3	VDD	电源	逻辑电源输入 — 使用 1uF 陶瓷电容器靠近 IC 的 GND 引脚去耦。
4	DI1	I	使能通道 1 输出以导通。该引脚需要通过 10K 电阻器连接到 MCU 或其他 HI/LO 源极，以实现保护并使能反极性 FET 导通功能。
5	DI2	I	使能通道 2 输出以导通
6,7,8	VOUT1	O	通道 1 的输出
9、10、11	VOUT2	O	通道 2 的输出
12	FLT/ WAKE_SIG	O	故障输出 — 在任何 (一个或多个) 通道上：开漏，使用 4.7K 电阻器上拉至 VDD 引脚。在钥匙关闭模式下，还可在满足负载电流需求时用作 MCU 的唤醒信号。
13	SDI	I	SPI 器件 (辅助) 数据输入
14	SDO	O	来自器件的 SPI 数据输出。内部上拉至 VDD。
15	CSN	I	芯片选择。内部上拉至 VDD
16	SCLK	I	SPI 时钟输入
散热焊盘	VBB	电源	电源

6 规格

6.1 绝对最大额定值

在自然通风条件下的工作温度范围内 (除非另有说明) ⁽¹⁾

		最小值	最大值	单位
最大持续电源电压 (V_{VBB})			28	V
负载突降电压	ISO16750-2:2010(E)		36	V
VBB 引脚上的最大瞬态电压 (ISO 7637 脉冲 2a 瞬态期间的示例) V_{BBt}			54	V
短路电源电压能力	$I_{OCP} = 25A$ 、 $L_{OUT} = 5\mu H$ 、 $t_{SHORT} = 300ms$ 、 $T_A = 125^\circ C$		24	V
短路电源电压能力, 并联模式	PARALLEL_12 = 1、 $I_{OCP} = 20A$ 、 $L_{OUT} = 5\mu H$ 、 $t_{SHORT} = 300ms$ 、 $T_A = 125^\circ C$		24	V
VOUT 电压		-30	$V_{VS}+0.3$	V
VBB 引脚上的持续反极性电压		-18		V
低压电源引脚电压 V_{DD}		-0.3	7	V
数字输入引脚电压 V_{DIG}	SDI、SDO、SCLK、 \overline{CS}	-0.3	7	V
检测引脚电压, V_{SNS}		-0.3	7	V
FLT 引脚电压、 V_{FLT}		-0.3	7	V
Limp Home 激活引脚电压 V_{LHI}			V_{BB}	V
Limp Home 直接输入引脚电压 V_{DI}		-0.3	7	V
反向接地电流, I_{GND}	$V_{BB} < 0V$		-50	mA
最大结温, T_J			150	$^\circ C$
贮存温度, T_{stg}		-65	150	$^\circ C$

- (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。

6.2 ESD 等级

			值	单位
$V_{(ESD)}$	静电放电 ⁽¹⁾	人体放电模型 (HBM), 符合 AEC Q100-002 分类等级 H2	所有引脚, 包括 VBB 和 VOUTx	± 2000
		人体放电模型 (HBM), 符合 AEC Q100-002 分类等级 H3A ⁽²⁾	VBB 和 VOUTx	± 4000
		充电器件模型 (CDM), 符合 AEC Q100-011 分类等级 C5	所有引脚	± 750

- (1) AEC-Q100-002 指示应当按照 ANSI/ESDA/JEDEC JS-001 规范执行 HBM 应力测试。
 (2) ESD 冲击均以上述引脚到地 (GND) 为基准

6.3 建议运行条件

在自然通风条件下的工作温度范围内测得 (除非另有说明)

		最小值	最大值	单位
V_{BB_NOM}	标称电源电压	6	18	V
V_{BB_EXT}	扩展电源电压	3	28	V
V_{DD}	低电压电源电压	3.0	5.5	V

6.3 建议运行条件 (续)

在自然通风条件下的工作温度范围内测得 (除非另有说明)

		最小值	最大值	单位
V _{DIG}	所有数字输入引脚电压	-0.3	5.5	V
V _{FLT}	FLT 引脚电压	-0.3	5.5	V
V _{LHI}	Limp Home 激活引脚电压, LHI		V _{BB}	V
V _{DI}	Limp Home 直接引脚输入电压, DI	-0.3	5.5	V
T _A	自然通风条件下的工作温度	-40	125	°C

6.4 热性能信息

热指标 ^{(1) (2)}		TPS2HCS10-Q1	单位
		PWP	
		16 引脚	
R _{θJA}	结至环境热阻	33.0	°C/W
R _{θJC(top)}	结至外壳 (顶部) 热阻	26.2	°C/W
R _{θJB}	结至电路板热阻	9.4	°C/W
ψ _{JT}	结至顶部特征参数	3.0	°C/W
ψ _{JB}	结至电路板特征参数	9.3	°C/W
R _{θJC(bot)}	结至外壳 (底部) 热阻	1.1	°C/W

(1) 有关新旧热指标的更多信息, 请参阅 <https://www.ti.com/lit/an/spra953c/spra953c.pdf> 应用报告。

(2) 热参数基于符合 JESD51-5 和 JESD51-7 标准的 4 层 PCB。

6.5 电气特性

V_{BB} = 6V 至 18V, V_{DD} = 3.0V 至 5.5V, T_J = -40°C 至 150°C (除非另有说明)

参数		测试条件		最小值	典型值	最大值	单位
输入电压和电流							
V _{Clamp}	V _{DS} 钳位电压	I _{OUT} = 10mA、V _{BB} > 28V	T _J = 25°C 至 150°C	35	40	45	V
		I _{OUT} = 10mA，12V < V _{BB} < 28V	T _J = -40°C 至 150°C	30	34	38	V
		I _{OUT} = 10mA，V _{BB} = 3V	T _J = -40°C 至 150°C	27.5		36.5	V
V _{VBB_UVLOR}	V _{BB} 欠压锁定上升	以器件的 GND 引脚为基准测得。		3.0	3.5	4.0	V
V _{VBB_UVLOF}	V _{BB} 欠压锁定下降			2.6	2.8	3.0	V
V _{BB_UV_WRN_R}	V _{BB} 电压 UV_WRN 上升阈值	以器件的 GND 引脚为基准测得。		4.9		V	
V _{BB_UV_WRN_F}	V _{BB} 电压 UV_WRN 下降阈值			4.5		V	
V _{VDD_UVLOR}	V _{VDD} 欠压锁定上升	以器件的 GND 引脚为基准测得		1.94		2.2	V
V _{VDD_UVLOF}	V _{VDD} 欠压锁定下降			1.86		2.07	V
I _{SLEEP,VBB}	SLEEP 模式下的电流 (包括所有 MOSFET 通道在内的器件总漏电流)	V _{BB} ≤ 18V，器件处于 SLEEP 模式，V _{OUT} = 0V	T _J = 25°C			0.5	μA
			T _J = 85°C			2.2	μA
I _{SLEEP,VDD}	V _{DD} 引脚的 SLEEP 模式下电流	V _{VDD} ≤ 5.5V，器件处于 SLEEP 模式，V _{OUT} = 0V	T _J = 25°C			0.3	μA
			T _J = 85°C			0.5	μA

6.5 电气特性 (续)

$V_{BB} = 6V$ 至 $18V$, $V_{DD} = 3.0V$ 至 $5.5V$, $T_J = -40^{\circ}C$ 至 $150^{\circ}C$ (除非另有说明)

参数		测试条件		最小值	典型值	最大值	单位
I _{OUT(OFF)}	每个通道的输出漏电流	V _{OUT} = 0V、通道已禁用、ACTIVE/CONFIG 状态	T _J = -40 至 125°C	1	12		μA
I _{Q,VDD}	VDD 静态电流	ACTIVE 状态、SCLK 关闭	V _{DD} = 5.5V	1.4	1.6		mA
		ACTIVE 状态、SCLK 导通、			2.2		mA
V _{BB} I _Q	V _{BB} 静态电流	所有通道均已启用、I _{OUTx} = 0A、SCLK 关闭、诊断已禁用	V _{DD} = 5.5V	3.8	4.3		mA
			V _{DD} = 3.0V	4.25	5.2		mA
		所有通道均已启用、I _{OUTx} = 0A、SCLK 关闭、诊断已启用 (ISNS、ADC)	V _{DD} = 5.5V	3.9	4.5		mA
			V _{DD} = 0V	4.4	5.5		mA
I _{L,CONT}	每个通道的持续负载电流	所有通道均已启用，T _{AMB} = 85°C		7			A
		启用一个通道时，T _{AMB} = 85°C		12			A
RON 特性							
R _{ON}	导通电阻	6V ≤ V _{BB} ≤ 28V、I _{OUTx} = 1A、 OL_ON_EN_CH1 = 0	T _J = 25°C	11.3			m Ω
			T _J = 150°C	22			m Ω
R _{ON_OL}	导通电阻、OL_ON 模式	6V ≤ V _{BB} ≤ 28V、I _{OUTx} = 0.3A、OL_ON_EN_CHx = 1	T _J = 25°C	36			m Ω
			T _J = 150°C	70			m Ω
R _{ON(REV)}	反极性期间的导通电阻	- 18V ≤ V _{BB} ≤ - 7V、	T _J = 25°C	13			m Ω
			T _J = 150°C	26			m Ω
Δ R _{ON}	通道间导通电阻 (R _{ON,CHx} - R _{ON,CHy}) 的差异百分比	V _{BB} ≥ 6V、T _J = 25°C		0.5	7		%
电流检测特性							
K _{SNS}	电流检测比 I _{OUTx} / I _{SNS}	I _{OUT} = 1.0A、OL_ON_EN_CHx = 0		5000			
K _{SNS}	电流检测比 I _{OUTx} / I _{SNS}	I _{OUT} = 50mA、OL_ON_EN_CHx = 1		1400			
I _{SNS_SAT}	饱和检测电流	V _{BB} > 6V、RSNS = 374 Ω、OL_ON_EN_CHx = 0	I _{OUT} ≥ 30A	6			mA

6.5 电气特性 (续)

$V_{BB} = 6V$ 至 $18V$, $V_{DD} = 3.0V$ 至 $5.5V$, $T_J = -40^{\circ}C$ 至 $150^{\circ}C$ (除非另有说明)

参数		测试条件		最小值	典型值	最大值	单位			
K _{SNS1}	K _{SNS1} 检测比 I _{OUT} / I _{SNS1} , 在 I _{OUT} 全量程范围内	RSNS = 374 Ω、 OL_ON_EN_CHx = 0	I _{OUT} = 20A	5000						
				-3	3	%				
		RSNS = 698 Ω OL_ON_EN_CHx = 0	I _{OUT} = 10A	5000						
				-5	5	%				
			I _{OUT} = 5A	5000						
				-5	5	%				
			I _{OUT} = 2.5A	5000						
				-5	5	%				
			I _{OUT} = 1A	5000						
				-5	5	%				
			I _{OUT} = 500mA	5000						
				-7	7	%				
I _{OUT} = 250mA	5000									
	-10	10	%							
I _{OUT} = 100mA	5000									
	-20	20	%							
K _{SNS2}	K _{SNS2} 检测比 I _{OUT} / I _{SNS2} , 在 I _{OUT} 全量程范围内	RSNS = 698Ω OL_ON_EN_CHx = 1	I _{OUT} = 250mA	1400						
				-10	10	%				
			I _{OUT} = 100mA	1400						
				-10	10	%				
			I _{OUT} = 50mA	1400						
				-12	12	%				
			I _{OUT} = 25mA	1400						
				-20	20	%				
			I _{OUT} = 10mA	1400						
				-40	40	%				
			I _{ENTRY_OL_ON}	进入 OL_ON 模式的 I _{OUT} 电流 (OL_ON_EN_CHx = 1)			0.5			A
			I _{EXIT_OL_ON}	退出 OL_ON 模式的 I _{OUT} 电流 (OL_ON_EN_CHx = 1)			1.7			A
ADC 特性										
V _{ADCEFFHI}	ADC 基准电压			2.76	2.81	2.9	V			
I _{sample}	电流检测消隐时间	包括多路复用器时序和 ADC 转换时间		50			μs			
I _{ADC}	ADC 电流消耗					0.5	mA			
SNS 特性										
I _{SNS} _{ADC,ACC}	I _{SNS} ADC 精度	OL_ON_EN_CHx = 0、 I _{SNS_SCALE_CHx} = 0	SNS 引脚电压 = 2.7V	-3	3	%				
			SNS 引脚电压 = 1.4V	-3.25	3.25	%				
			SNS 引脚电压 = 0.7V	-4	4	%				
			SNS 引脚电压 = 0.1V	-15	15	%				
		OL_ON_EN_CHx = 1、 I _{SNS_SCALE_CHx} = 1	SNS 引脚电压 = 0.04V	-10.5	10.5	%				
			SNS 引脚电压 = 0.01V	-37.5	37.5	%				
ADC _{TSNS}	T _{SNS} ADC 输出代码	T _J = 25°C	包括缓冲器增益	474						
TSNS _{ACC}	T _{SNS} 测量精度			-17	17	°C				
ADC _{VSNS}	输出电压测量的 ADC 代码	VOUTx = 13.5V、以器件 GND 为基准	包括缓冲器增益	459						

6.5 电气特性 (续)

$V_{BB} = 6V$ 至 $18V$, $V_{DD} = 3.0V$ 至 $5.5V$, $T_J = -40^{\circ}C$ 至 $150^{\circ}C$ (除非另有说明)

参数		测试条件		最小值	典型值	最大值	单位
VSNS _{ACC}	VOUT SNS (VSNS) 测量精度			-5		5	%
ADC _{VBBSNS}	VBB 电压测量的 ADC 代码	VBB = 13.5V、以器件 GND 为基准	包括缓冲器增益		452		
VBBSNS _{ACC}	VBB SNS (VBBSNS) 测量精度			-5		5	%
过流保护特性							
I _{OCP_RANGE}	过流保护阈值，立即关断 - 范围	di/dt = 2A/μs		10		25	A
I _{OCP}	过流保护阈值，立即关断	di/dt = 2A/μs T _J = - 40°C 至 150°C	ILIMIT_SET_CHx = 0x0		10		A
			ILIMIT_SET_CHx = 0x1		12.5		A
			ILIMIT_SET_CHx = 0x2		15		A
			ILIMIT_SET_CHx = 0x3		17.5		A
			ILIMIT_SET_CHx = 0x4		20		A
			ILIMIT_SET_CHx = 0x5		22.5		A
			ILIMIT_SET_CHx = 0x6		25		A
I _{OCP_RANGE,PARALLEL}	过流保护阈值，立即关断 - 并联模式下的范围	di/dt = 2A/μs PARALLEL_12 = 1		10		20	A
t _{OCP_DETECT}	立即关断检测时间	T _J = -40°C 至 150°C	从 I _{OUT} = I _{OCP} 到 I _{OCP} 检测 R _{OUT} = I _{OCP} 的 150%、L _{IN} = L _{OUT} = 0nH	0.3		1.5	us
t _{OCP_TOFF}	立即关断关闭时间	T _J = -40°C 至 150°C	从 I _{OCP} 检测到 V _{OUTx} 的 10% R _{OUT} = I _{OCP} 的 150%、L _{IN} = L _{OUT} = 0nH			7.5	us
电容充电电流限制							
I _{CL_Reg}	浪涌期间的电流调节模式电流	T _J = -40°C 至 150°C、di/dt < 0.01A/ms	INRUSH_LIMIT_CHx = 0	0.82	1.5	2.18	A
			INRUSH_LIMIT_CHx = 1		1.85		A
			INRUSH_LIMIT_CHx = 2		2.25		A
			INRUSH_LIMIT_CHx = 3		2.6		A
			INRUSH_LIMIT_CHx = 4	1.8	3	4.2	A
			INRUSH_LIMIT_CHx = 5		3.4		A
			INRUSH_LIMIT_CHx = 6		3.8		A
			INRUSH_LIMIT_CHx = 7		5		A
			INRUSH_LIMIT_CHx = 8		6.25		A
			INRUSH_LIMIT_CHx = 9		7.5		A
			INRUSH_LIMIT_CHx = A		8.7		A
			INRUSH_LIMIT_CHx = B		10.1		A
			INRUSH_LIMIT_CHx = C		11.3		A
t _{INRUSH_RANGE}	浪涌持续时间设置范围	INRUSH_DURATION_CHx 范围		0		100	ms
故障特性							
I _{OL_OFF}	关断状态开路负载 (OL) 检测 内部上拉电流	开关已禁用、 OL_OFF_EN_CHx = 已启用	OL_PULLUP_STR = 00	20.1	26.5	100	μA
			OL_PULLUP_STR = 01	48.1	60	126	μA
			OL_PULLUP_STR = 10	103.2	127	208	μA
			OL_PULLUP_STR = 11	213	260	348	μA

6.5 电气特性 (续)

 $V_{BB} = 6V$ 至 $18V$, $V_{DD} = 3.0V$ 至 $5.5V$, $T_J = -40^{\circ}C$ 至 $150^{\circ}C$ (除非另有说明)

参数		测试条件		最小值	典型值	最大值	单位
R_{SHRT_VBB}	关断状态短接至 V_{BB} 检测下拉电阻	通道已禁用、关断状态、short_VBB 诊断已启用		5.5	6.8	8	$k\Omega$
$V_{OL_OFF_TH}$	关断状态开路负载 (OL) 检测电压	通道已禁用、关断状态、开路负载诊断已启用、 V_{OUTx}		1.9	2.5	2.95	V
T_{ABS}	热关断			155	180	205	$^{\circ}C$
T_{OTW}	热关断警告			130	150	170	$^{\circ}C$
T_{REL}	相对热关断温度				60		$^{\circ}C$
T_{HYS}	热关断磁滞			20	25	30	$^{\circ}C$
t_{RETRY}	重试时间	从故障关断到开关重新启用的时间 (热关断或过流)。PWM 将等待到下一个周期进行恢复			2		ms
t_{WAKE_SIG}	指示退出 LPM 的 WAKE_SIG/FLT 引脚				100		μs
时序特性							
OSC_{ACC}	振荡器精度			-10		10	%
PWM_{FREQ}	PWM 频率	PWM_EN = 1	PWM_FREQ_CHx = 101	372	425	478	Hz
低功耗模式特征							
$R_{ON_LPM_AUTO}$	R_{ON} 在 AUTO_LPM 模式下的行为		$T_J = -40^{\circ}C$ 至 $105^{\circ}C$		11.3	22	$m\Omega$
$R_{ON_LPM_MAN}$	R_{ON} 在 MANUAL_LPM 模式下与的协同行为		$T_J = -40^{\circ}C$ 至 $105^{\circ}C$		36	70	$m\Omega$
$I_{ENTRY_LPM_AUTO}$	进入 AUTO_LPM 状态的 I_{OUT} 电流		$T_J = -40^{\circ}C$ 至 $105^{\circ}C$		0.95		A
$I_{EXIT_LPM_AUTO}$	退出 AUTO_LPM 状态的 I_{OUT} 电流		$T_J = -40^{\circ}C$ 至 $105^{\circ}C$		1.05		A
$I_{SCP_LPM_AUTO}$	AUTO_LPM 状态下的短路检测阈值		$T_J = -40^{\circ}C$ 至 $105^{\circ}C$		13.7		A
$I_{EXIT_LPM_MAN}$	退出 MANUAL_LPM 状态时的 I_{OUTx} 阈值	$1mA/\mu s$ $T_J = -40^{\circ}C$ 至 $85^{\circ}C$ 时的电流斜率	MAN_LPM_EXIT_CURR_CHx = 00	330	500	670	mA
			MAN_LPM_EXIT_CURR_CHx = 01	450	625	900	mA
			MAN_LPM_EXIT_CURR_CHx = 10	100	150	225	mA
			MAN_LPM_EXIT_CURR_CHx = 11	220	325	450	mA
$I_{SCP_LPM_MAN}$	通道检测到短路时的负载电流	$di/dt = 5mA/\mu s$			4.0		A
t_{RETRY_LPM}	进入 LPM 状态时的重试时间				5		μs
$t_{STBY_LPM_AUTO}$	进入 AUTO_LPM 状态之前的待机时间	$I_{OUTx} \leq I_{ENTRY_LPM_AUTO}$			20		ms
t_{LPM_ENTRY}	进入 LPM 状态的时间				200		μs
t_{WAKE}	$I_{EXIT_LPM_MAN}$ 检测时间				5		μs
t_{SLEW}	$I_{EXIT_LPM_MAN}$ 之后, 在主 FET 上进行转换的时间				200		μs
I_{Q,VDD,LPM_MAN}	进入 MANUAL_LPM 时的 VDD 静态电流	$V_{DD} = 5.0V$ 、 $I_{OUTx} = 0A$ 、 $T_J = -40^{\circ}C$ 至 $85^{\circ}C$	两个通道都关闭		9	18	μA
			一个通道导通		12.3	21.6	μA
			两个通道均导通		15.6	23	μA

6.5 电气特性 (续)

$V_{BB} = 6V$ 至 $18V$, $V_{DD} = 3.0V$ 至 $5.5V$, $T_J = -40^{\circ}C$ 至 $150^{\circ}C$ (除非另有说明)

参数		测试条件		最小值	典型值	最大值	单位
I _{Q,VDD,LPM_AUTO}	进入 AUTO_LPM 状态时的 VDD 静态电流	V _{DD} = 5.0V、I _{OUTx} = 0A、T _J = - 40℃ 至 85℃	两个通道都关闭		9	18	μA
			一个通道导通		12.3	21.6	μA
			两个通道均导通		15.6	23	μA
I _{Q,VBB,LPM_MAN}	进入 MANUAL_LPM 状态时的 VBB 静态电流	V _{DD} = 5.0V、I _{OUTx} = 0A、T _J = - 40℃ 至 85℃	两个通道都关闭		3.72	7	μA
			一个通道导通		5.1	9.1	μA
			两个通道均导通		6.42	9.5	μA
I _{Q,VBB,LPM_AUTO}	进入 AUTO_LPM 状态时的 VBB 静态电流	V _{DD} = 5.0V、I _{OUTx} = 0A、T _J = - 40℃ 至 85℃	两个通道都关闭		10.4	15.5	μA
			一个通道导通		11	15.8	μA
			两个通道均导通		11.6	16.1	μA
数字输入引脚特性							
V _{IH, SPI}	输入电压高电平 (SCLK、SDI、CSN)	3.0V ≤ VDD ≤ 5.5V		0.7 × V _{VDD}			V
V _{IL, SPI}	输入电压低电平 (SCLK、SDI、CSN)	3.0V ≤ VDD ≤ 5.5V				0.3 × V _{VDD}	V
R _{PD,SCLK}	SCLK 内部下拉电阻			1.80	2	2.26	M Ω
I _{IH, SCLK}	输入电流高电平	SCLK	V _{SCLK} = 5V	2.5			μA
R _{PD,SDI}	SDI 内部下拉电阻			1.80	2	2.26	M Ω
I _{IH, SDI}	输入电流高电平	SDI	V _{SDI} = 5V	2.5			μA
R _{PU,CSN}	CSN 内部上拉电阻			85	90	96	k Ω
V _{IH,DI}	输入电压高电平	DI (版本 A)		1.65			V
V _{IL,DI}	输入电压低电平					0.8	V
R _{PD,DI}	内部下拉电阻器			772	850	915	k Ω
I _{IH,DI}	输入电流高电平		V _{DI} = 5V	6			μA
V _{IH,DI1}	输入电压高电平	DI1 (版本 B)		1.65			V
V _{IL,DI1}	输入电压低电平					0.8	V
R _{PD,DI1}	内部下拉电阻器			772	850	915	k Ω
I _{IH,DI1}	输入电流高电平		V _{DI1} = 5V	6			μA
V _{IH,LHI}	输入电压高电平	LHI (版本 A)		1.65			V
V _{IL,LHI}	输入电压低电平					0.8	V
R _{PD,LHI}	内部下拉电阻器			772	850	915	k Ω
I _{IH,LHI}	输入电流高电平		V _{LHI} = 5V	6			μA
V _{IH,DI2}	输入电压高电平	DI2 (版本 B)		1.65			V
V _{IL,DI2}	输入电压低电平					0.8	V
R _{PD,DI2}	内部下拉电阻器			772	850	915	k Ω
I _{IH,DI2}	输入电流高电平		V _{DI2} = 5V	6			μA
数字输出引脚特性							
V _{OH,SDO}	输出逻辑高压降	SDO 引脚电流 = -2mA				0.2	V
V _{OL,SDO}	输出逻辑低电平电压	SDO 引脚电流 = 2mA				0.2	V
V _{OL_FLT}	输出逻辑低压降	FLT 引脚电流 = 4mA				0.55	V

6.6 SPI 时序要求

过工作结温 $T_J = -40^{\circ}\text{C}$ 至 150°C , $V_{DD} = 3.0\text{V}$ 至 5.5V (相对于器件的 GND 引脚测量)

参数		测试条件	最小值	标称值	最大值	单位
f_{SPI}	SPI 时钟 (SCLK) 频率	$C_{\text{SDO}} = 30\text{pF}$, IO 保护电阻 $0.47\text{k}\Omega$			8	MHz
t_{high}	高电平时间 : SCLK 逻辑高电平持续时间		45			ns
t_{low}	低电平时间 : SCLK 逻辑低电平持续时间		45			ns
t_{sucs}	$\overline{\text{CS}}$ 设置时间 : $\overline{\text{CS}}$ 的下降沿与 SCLK 上升沿之间的时间延迟		45			ns
$t_{\text{su_SDI}}$	SDI 设置时间 : SCLK 下降沿之前 SDI 的设置时间		15			ns
$t_{\text{h_SDI}}$	SDI 保持时间 : SCLK 下降沿之前的 SDI 保持时间		30			ns
$t_{\text{d_SDO}}$	延迟时间 : 从 SCLK 上升沿到 SDO 上的有效数据的延时时间				30	ns
t_{hcs}	保持时间 : SCLK 下降沿与 $\overline{\text{CS}}$ 上升沿之间的时间		45			ns
$t_{\text{dis_cs}}$	$\overline{\text{CS}}$ 禁用时间 , $\overline{\text{CS}}$ 高电平到 SDO 高阻抗			10		ns
t_{hics}	SPI 传输非活动时间 (两次传输之间的时间) , 在此期间 $\overline{\text{CS}}$ 必须保持高电平		500			ns

6.7 开关特性

$V_{\text{BB}} = 13.5\text{V}$, $R_L = 2\Omega$, $T_J = -40^{\circ}\text{C}$ 至 150°C (除非另有说明)

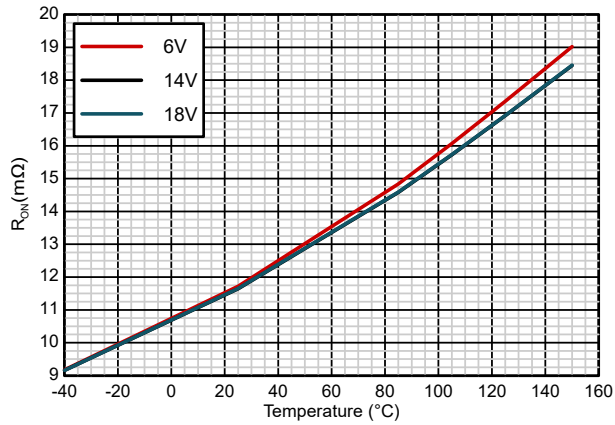
参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
t_{DR}	通道导通延迟时间 ($\overline{\text{CS}}$ 或 Dix 的 50% 至 V_{OUT} 的 10%)	SLRT_CHx = 00	45			μs
		SLRT_CHx = 01	35			μs
		SLRT_CHx = 10 (默认值)	30			μs
		SLRT_CHx = 11	23			μs
t_{DF}	通道关断延迟时间 ($\overline{\text{CS}}$ 或 Dix 的 50% 至 V_{OUT} 的 90%)	SLRT_CHx = 00	35			μs
		SLRT_CHx = 01	25			μs
		SLRT_CHx = 10 (默认值)	20			μs
		SLRT_CHx = 11	16			μs
SR_R	V_{OUT} 上升压摆率 (V_{OUT} 的 20% 至 80%)	SLRT_CHx = 00	0.14			$\text{V}/\mu\text{s}$
		SLRT_CHx = 01	0.2			$\text{V}/\mu\text{s}$
		SLRT_CHx = 10 (默认值)	0.25			$\text{V}/\mu\text{s}$
		SLRT_CHx = 11	0.32			$\text{V}/\mu\text{s}$
SR_F	V_{OUT} 下降压摆率 (V_{OUT} 的 80% 至 20%)	SLRT_CHx = 00	0.13			$\text{V}/\mu\text{s}$
		SLRT_CHx = 01	0.2			$\text{V}/\mu\text{s}$
		SLRT_CHx = 10 (默认值)	0.26			$\text{V}/\mu\text{s}$
		SLRT_CHx = 11	0.33			$\text{V}/\mu\text{s}$
t_{ON}	通道导通时间 ($\overline{\text{CS}}$ 或 Dix 的 50% 至 V_{OUT} 的 90%)	SLRT_CHx = 00	130			μs
		SLRT_CHx = 01	95			μs
		SLRT_CHx = 10 (默认值)	75			μs
		SLRT_CHx = 11	60			μs
t_{OFF}	通道关断时间 ($\overline{\text{CS}}$ 或 Dix 的 50% 至 V_{OUT} 的 10%)	SLRT_CHx = 00	115			μs
		SLRT_CHx = 01	75			μs
		SLRT_CHx = 10 (默认值)	60			μs
		SLRT_CHx = 11	50			μs

6.7 开关特性 (续)

$V_{BB} = 13.5V$, $R_L = 2\Omega$, $T_J = -40^\circ C$ 至 $150^\circ C$ (除非另有说明)

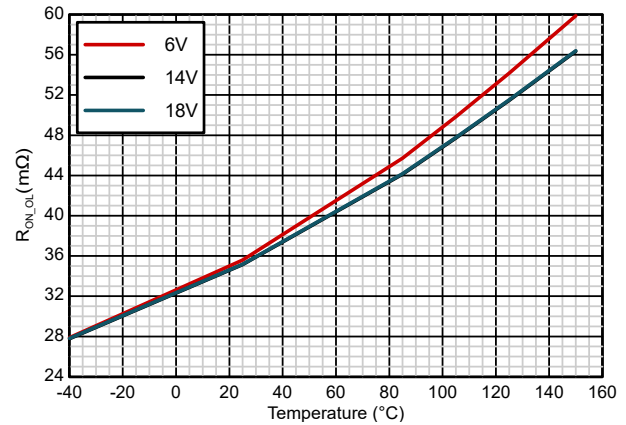
参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
E_{ON}	导通期间的开关能量损耗 (V_{OUT} 从 10% 到 90%)	SLRT_CHx = 00		1.43		mJ
		SLRT_CHx = 01		1.03		mJ
		SLRT_CHx = 10 (默认值)		0.77		mJ
		SLRT_CHx = 11		0.64		mJ
E_{OFF}	关断期间的开关能量损耗 (V_{OUT} 从 90% 到 10%)	SLRT_CHx = 00		1.48		mJ
		SLRT_CHx = 01		0.95		mJ
		SLRT_CHx = 10 (默认值)		0.68		mJ
		SLRT_CHx = 11		0.54		mJ

6.8 典型特性



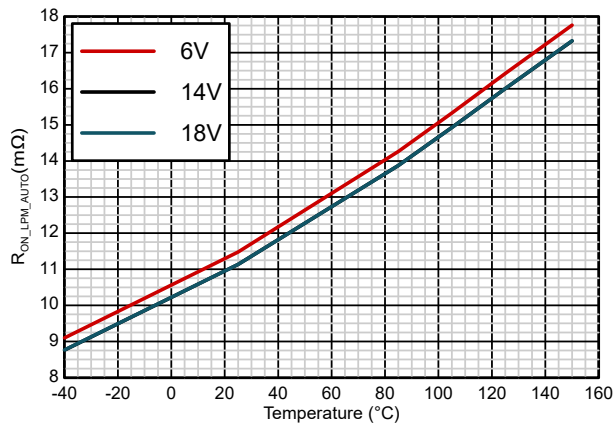
$I_{OUT} = 500\text{mA}$ ACTIVE 状态
OL_ON_EN_CHx = 0

图 6-1. 导通电阻 (R_{ON}) 与温度间的关系



$I_{OUT} = 500\text{mA}$ ACTIVE 状态
OL_ON_EN_CHx = 1

图 6-2. 导通电阻、OL_ON 模式 (R_{ON_OL}) 与温度间的关系



$I_{OUT} = 500\text{mA}$ AUTO_LPM 状态

图 6-3. AUTO_LPM 状态下的导通电阻 ($R_{ON_LPM_AUTO}$) 与温度间的关系

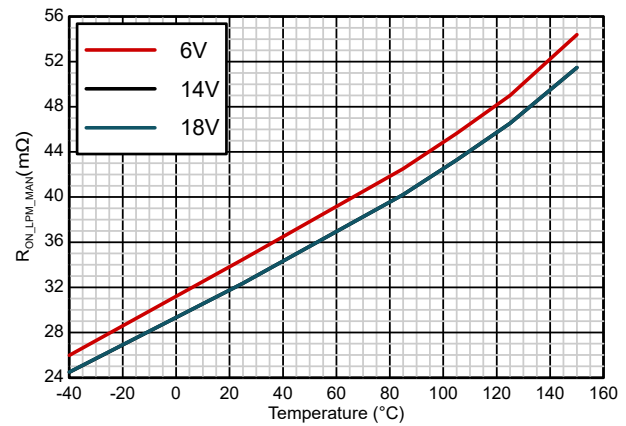
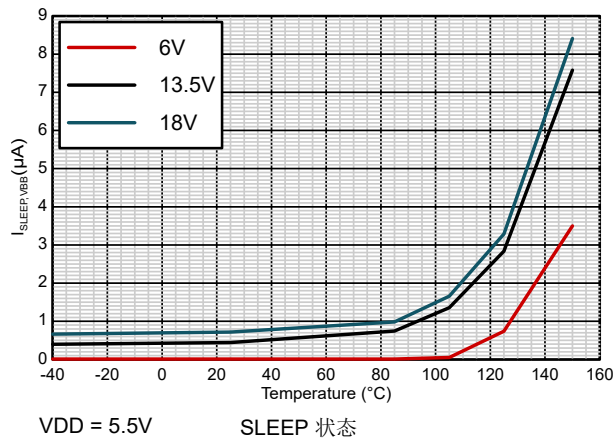
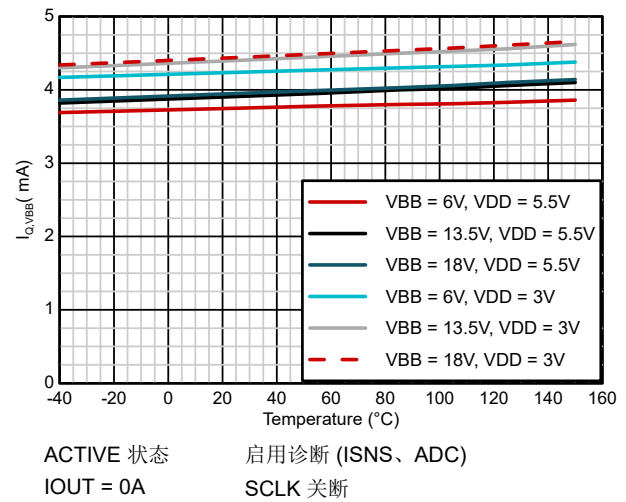
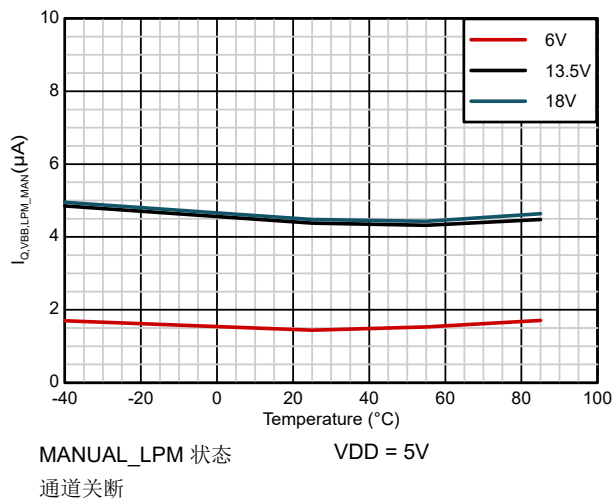
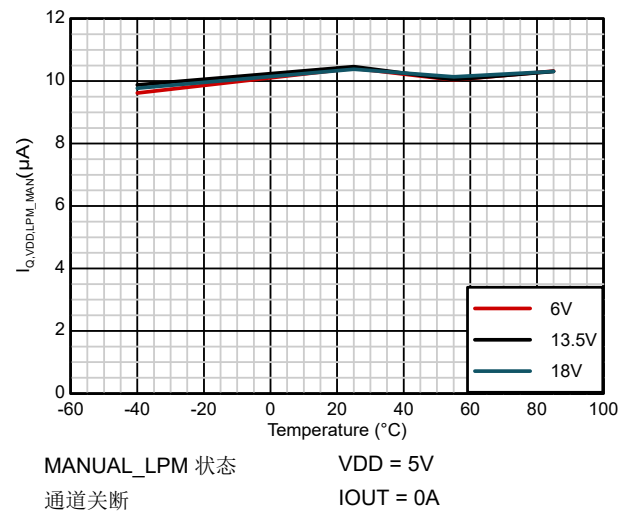
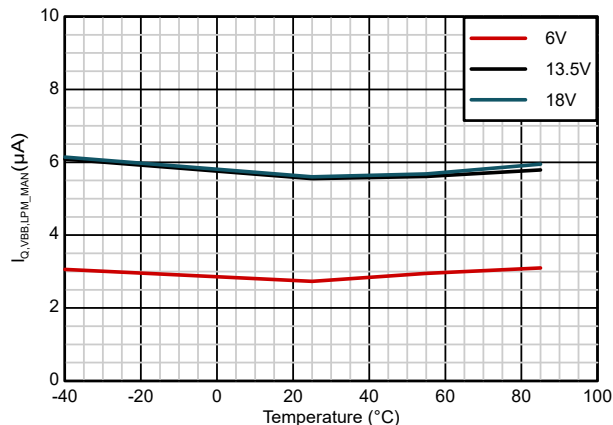


图 6-4. MANUAL_LPM 状态下的导通电阻 ($R_{ON_LPM_MAN}$) 与温度间的关系

6.8 典型特性 (续)

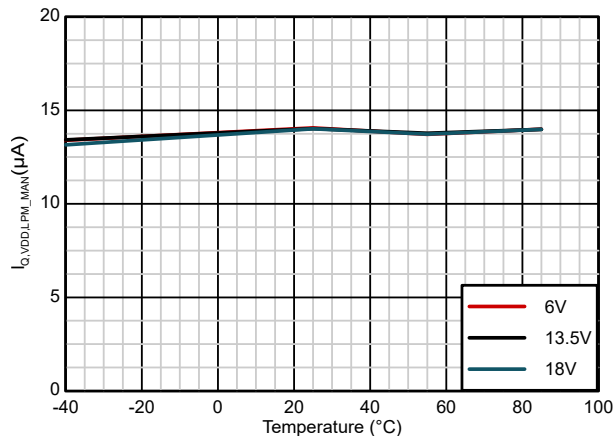
图 6-5. VBB 休眠电流 ($I_{\text{SLEEP,VBB}}$) 与温度间的关系图 6-6. VBB IQ 电流 ($I_{\text{Q,VBB}}$) 与温度间的关系图 6-7. MANUAL_LPM 状态下的 VBB IQ 电流 ($I_{\text{Q,VBB,LPM_MAN}}$) - 通道关闭与温度间的关系图 6-8. MANUAL_LPM 状态下的 VDD IQ 电流 ($I_{\text{Q,VDD,LPM_MAN}}$) - 通道关闭与温度间的关系

6.8 典型特性 (续)



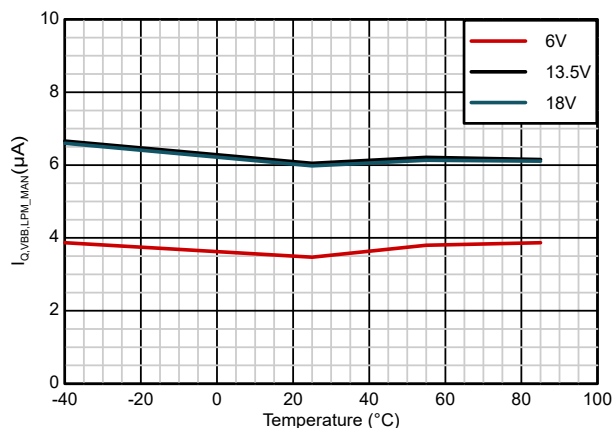
MANUAL_LPM 状态 VDD = 5V
启用一个通道 IOUT = 0A

图 6-9. MANUAL_LPM 状态下的 VBB IQ 电流 (I_{Q,VBB,LPM_MAN}) - 启用单通道与温度间的关系



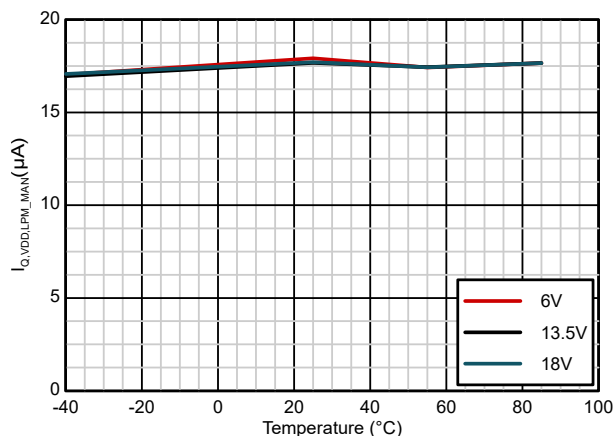
MANUAL_LPM 状态 VDD = 5V
启用一个通道 IOUT = 0A

图 6-10. MANUAL_LPM 状态下的 VDD IQ 电流 (I_{Q,VDD,LPM_MAN}) - 启用单通道与温度间的关系



MANUAL_LPM 状态 VDD = 5V
两个通道均启用 IOUT = 0A

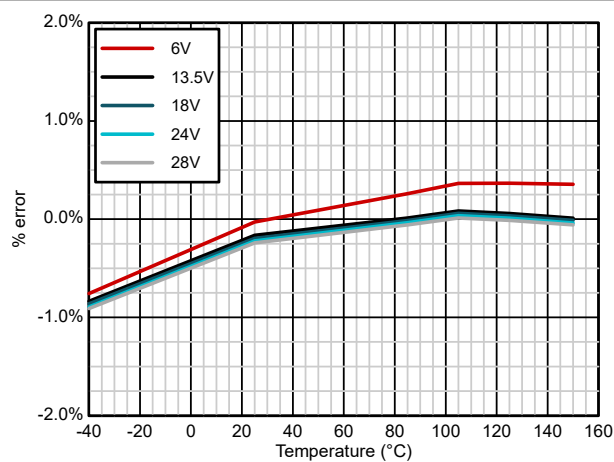
图 6-11. MANUAL_LPM 状态下的 VBB IQ 电流 (I_{Q,VBB,LPM_MAN}) - 两个通道均启用与温度间的关系



MANUAL_LPM 状态 VDD = 5V
两个通道均启用 IOUT = 0A

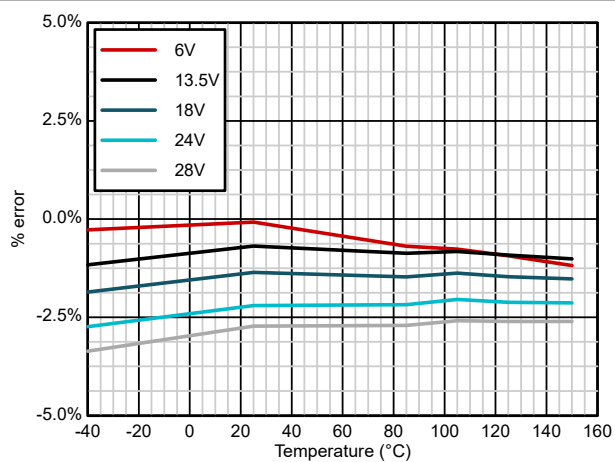
图 6-12. MANUAL_LPM 状态下的 VDD IQ 电流 (I_{Q,VDD,LPM_MAN}) - 两个通道均启用与温度间的关系

6.8 典型特性 (续)

 k_{SNS1} 参考 = 5000

OL_ON_EN_CHx = 0

IOUT = 2A

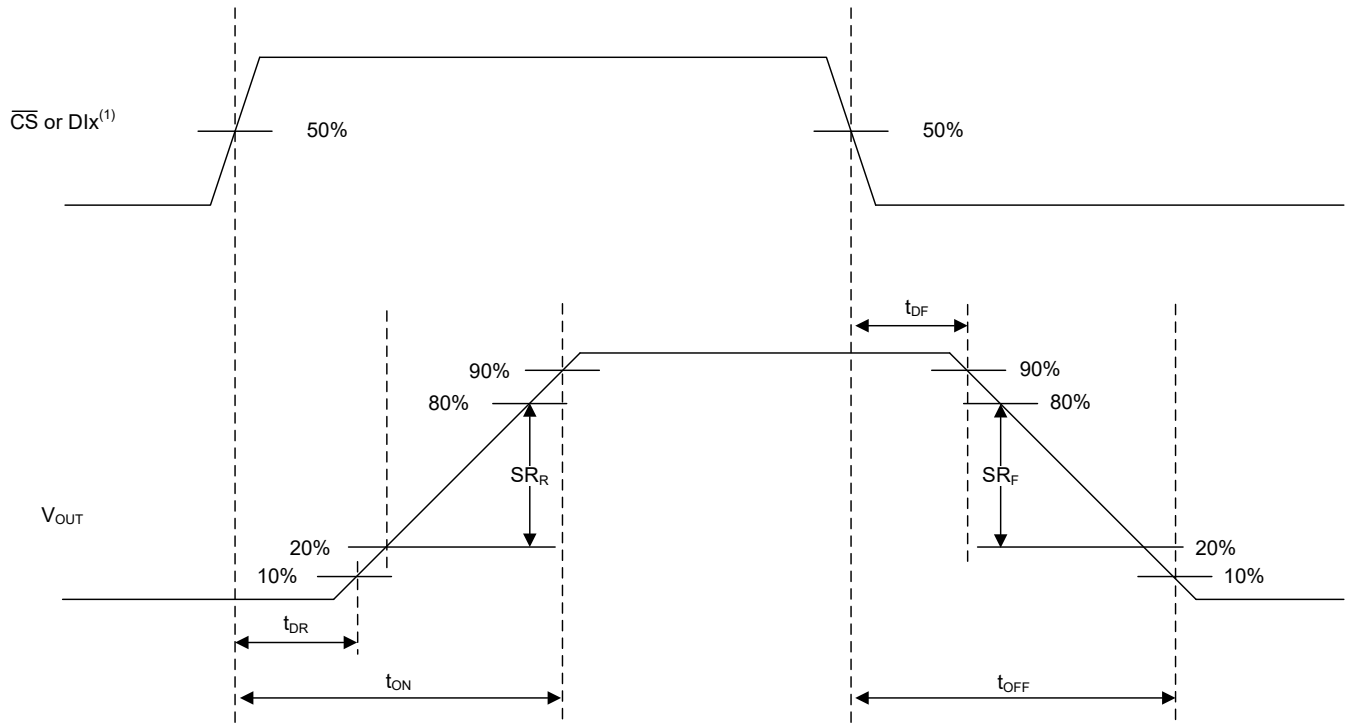
图 6-13. K_{SNS1} % 误差与温度间的关系 k_{SNS2} 参考 = 1400

OL_ON_EN_CHx = 1

IOUT = 25mA

图 6-14. K_{SNS2} % 误差与温度间的关系

7 参数测量信息



⁽¹⁾ Rise and fall time of \overline{CS} or Dlx is 100 ns.

图 7-1. 开关特性定义

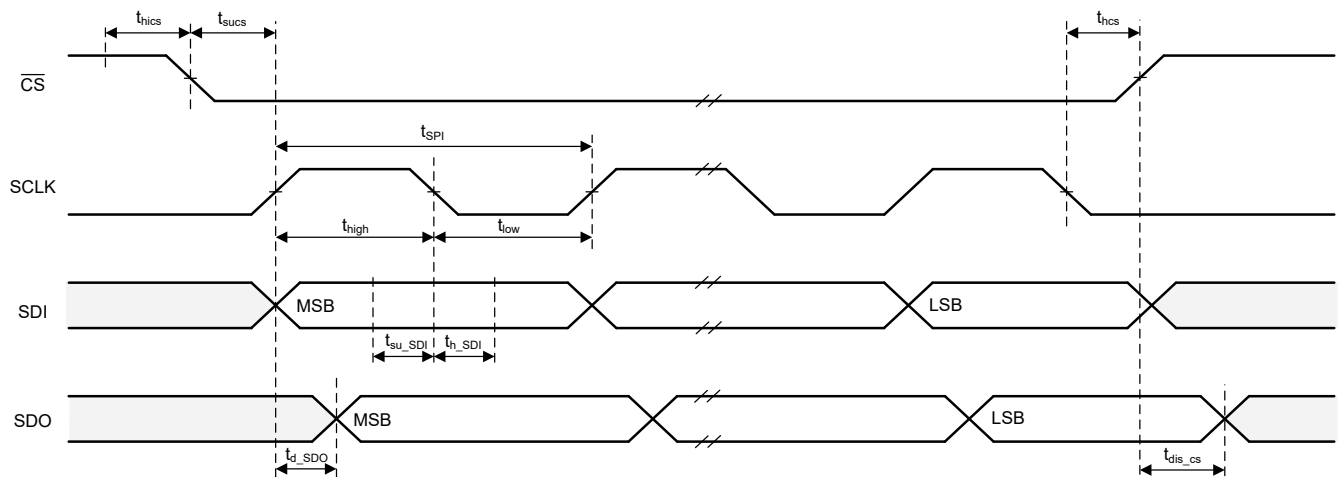


图 7-2. SPI 时序特性定义

8 详细说明

8.1 概述

TPS2HCS10-Q1 器件是一款适用于 12V 汽车电池的双通道智能高侧开关。TPS2HCS10-Q1 器件集成了 SPI 控制和配置，以及具有关键器件和负载诊断功能的 ADC 数字读数。该器件集成了配电开关所需的所有特定功能，以及用于执行器驱动应用的高侧开关中的传统保护和诊断功能。

诊断功能包括可通过 SPI 串行接口读取的数字电流、输出电压和 FET 温度检测输出。高精度负载电流检测可用于诊断复杂负载。器件中的输出电压检测和 FET 温度检测功能支持诊断开关和负载故障。

该器件通过热关断、过流保护、瞬态耐受和反接电池操作提供保护。此外，该器件还通过一个定义的保险丝或时间-电流曲线提供 SPI 可配置线束保护功能。该保护功能与即时关断过流保护功能配合使用，后者具有 SPI 可配置阈值，可全面防止过载和短路故障。

TPS2HCS10-Q1 器件还集成了低静态电流模式；在该模式下，器件可以提供数百毫安范围的电流，同时仅消耗数微安的电流。负载电流增加时，该器件自动切换到高电流模式，并向 MCU 发出唤醒信号。此外，该器件还包含电容充电模式，可降低电源上的峰值电流负载。这两项功能共同支持适用于非板载 ECU 应用的配电开关。

有关诊断、配电和保护功能的更多详细信息，请参阅该文档的[特性说明](#)和[应用信息](#)部分。

TPS2HCS10-Q1 是 TI 高侧开关系列中的一款器件。对于每个器件，器件型号均指示器件行为元素。图 8-1 给出了器件命名规则示例。

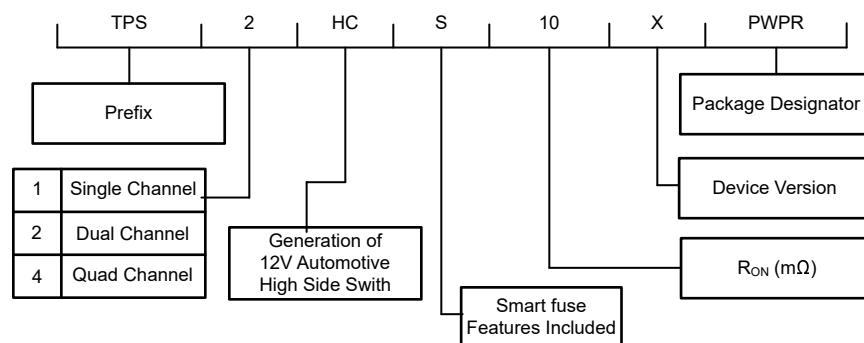


图 8-1. 命名约定

8.2 功能方框图

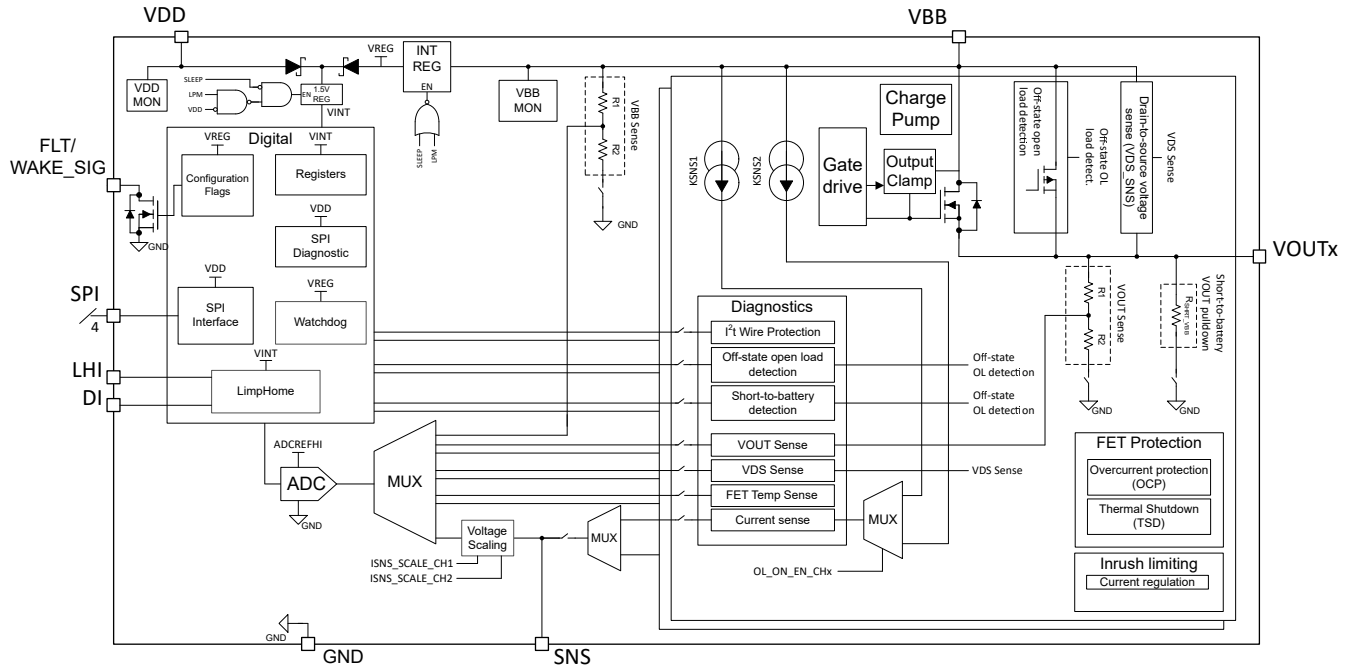


图 8-2. TPS2HCS10A-Q1 功能方框图

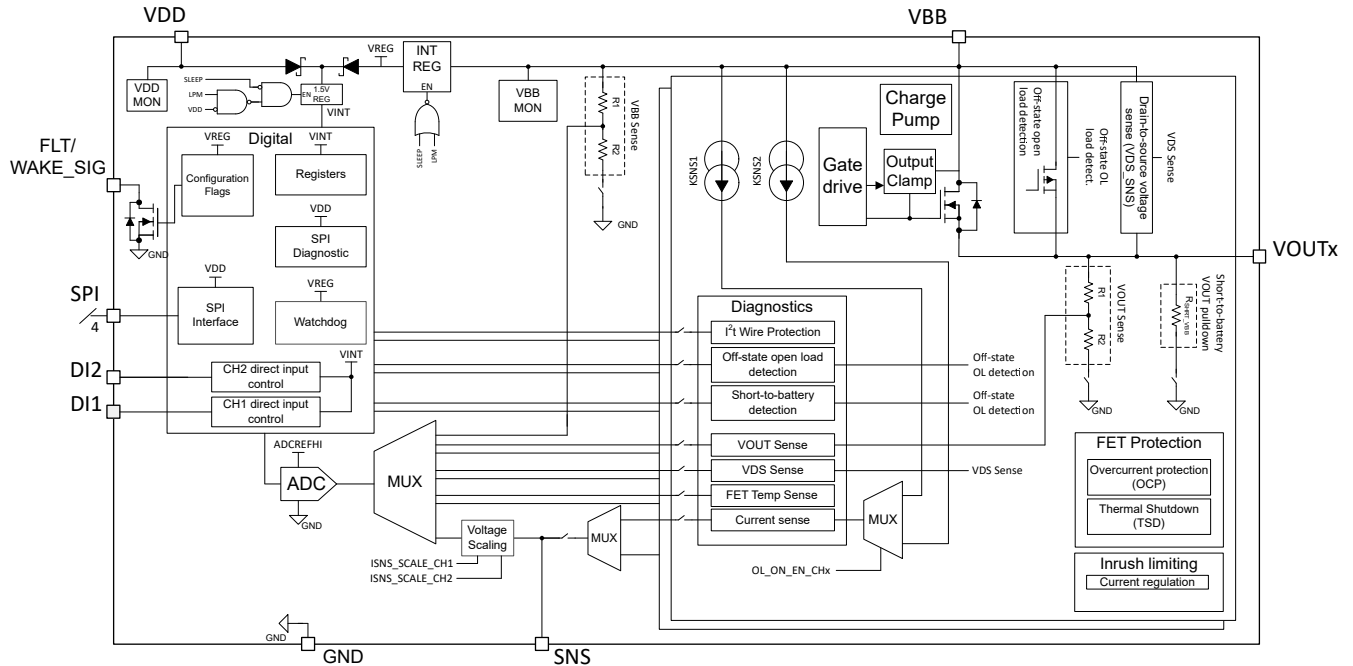


图 8-3. TPS2HCS10B-Q1 功能方框图

8.3 特性说明

8.3.1 保护机制

8.3.1.1 过流保护

TPS2HCS10-Q1 器件提供以下功能，以确保器件免受不同过流事件的影响：

- 电容负载在浪涌期间充电
- 立即关断过流保护 (I_{OCP})
- 可编程熔断保护 (或 I_{2T} 保护) (如果已启用)
- 热关断 (T_{REL} 和 T_{ABS})
- LPM 状态下的短路保护 ($I_{SCP_LPM_MAN}$ 或 $I_{SCP_LPM_AUTO}$)

关于过流保护，器件有两种工作模式：通道启动时和稳态运行期间的可选浪涌期。可以配置可选浪涌期，使器件能够在通道初始开启时处理不同的浪涌电流（例如灯泡、电机失速电流或电容负载）。ILIM_CONFIG_CHx 寄存器中的 CAP_CHRG_CHx、INRUSH_DURATION_CHx 和 INRUSH_LIMIT_CHx 位控制器件在浪涌期内的运行。如果 CAP_CHRG_CHx = 00 且 $V_{DS} < V_{DS_LT_2V}$ ，则 I_{2T} 保护功能（如果已启用）仅在浪涌期内有效。浪涌期结束后，将进入稳态运行状态。在稳态运行期间，过流保护 (I_{OCP}) 处于活动状态， I_{2T} 保护功能也处于活动状态（如果已启用）。

在浪涌期间，可以使用所有电压检测 (V_{BB} 、 V_{OUT} 和 V_{DS}) 和 FET 温度检测功能（如果已启用）。当 $V_{DS} < V_{DS_LT_2V}$ 或浪涌期完成且器件处于稳态运行状态后，仅在 CAP_CHRG_CHx = 00 时进行电流检测。所有电压检测、FET 温度检测和电流检测功能均在稳定运行模式下提供。

图 8-4 概述了可选浪涌期和稳态运行中的过流保护。

有关浪涌期和稳态下可用的不同保护功能的更多详细信息，请参阅以下部分。LPM 部分介绍了 LPM 状态下的过流保护。

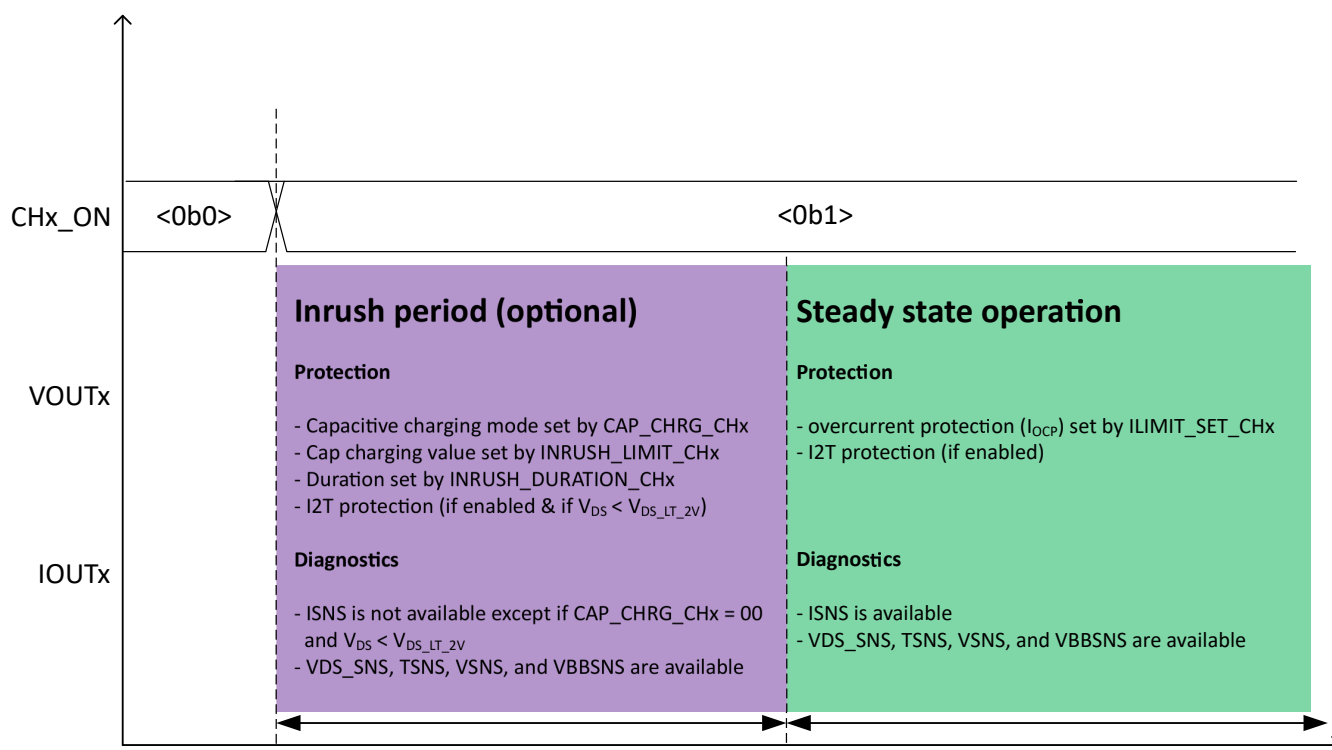


图 8-4. 过流保护模式概述

8.3.1.1.1 浪涌期间 - 过流保护

浪涌期间是器件的一种可选模式，可将其配置为允许器件在通道初始开启时处理不同的浪涌电流，例如灯泡、电机失速电流或电容负载。可通过 ILIM_CONFIG_CHx 寄存器中的 CAP_CHRG_CHx、INRUSH_DURATION_CHx 和 INRUSH_LIMIT_CHx 位配置浪涌期间。如果启用了浪涌期，并且在 ACTIVE 状态或 LIMP_HOME 状态下启用了通道，它将在其中任何一种状态下生效。

该器件在浪涌期间提供两种不同的过流保护设置，可通过 CAP_CHRG_CHx 位进行设置：

- 无电容充电 - 仅立即关断过流保护 (I_{OCP})
- 电流限制调节 (I_{CL_REG})

在无电容充电设置中，器件在浪涌期间与稳定状态相比具有不同的过流保护 (I_{OCP}) 值，从而允许灯泡电流浪涌或电机失速电流。此外，在无电容充电设置中，如果 $V_{DS} < V_{DS_LT_2V}$ ，I2T 保护（如果已启用）将处于活动状态。在电流限制调节模式下，该器件可为大型电容（例如下游 ECU 上的输入电容器）充电。根据 CAP_CHRG_CHx 位设置，INRUSH_LIMIT_CHx 的值将改变。每个通道的过流保护是独立的，可针对每个通道进行设置。表 8-1 概述了浪涌期间的两种过流保护。

表 8-1. 浪涌期间的电容充电模式概述

电容充电模式 (CAP_CHRG_CHx)	过流类型	范围	持续时间设置依据	值设置依据	支持 I2T
00	立即关断 (I_{OCP})	10A 至 25A	INRUSH_DURATION_CHx [2:0]	INRUSH_LIMIT_CHx [3:0]	是，如果 $V_{DS} < V_{DS_LT_2V}$
01	不支持				
10	电流限制调节 (I_{CL_REG})	1.5A 至 11.3A	INRUSH_DURATION_CHx [2:0]	INRUSH_LIMIT_CHx [3:0]	否
11	不支持				

INRUSH_DURATION_CHx 位可设置浪涌期的持续时间。可以在 0ms 至 100ms 范围内设置。如果 INRUSH_DURATION_CHx = 0，则浪涌期持续时间将设置为 0ms，并且在通道最初启用时不会进入浪涌期间。如果浪涌期间由于过流或热关断故障而重试，则用于退出浪涌期的计时器将在每次重试后复位。

无电容充电 - CAP_CHRG_CHx [1:0] = 00

在无电容充电设置中，器件在浪涌期间与稳态运行相比具有不同的即时关断过流保护 (I_{OCP}) 值，从而允许在启动时发生不同的浪涌事件，例如灯泡电流浪涌或电机失速电流。

如果 CAP_CHRG_CHx [1:0] = 00，则浪涌期内的立即关断过流保护 (I_{OCP}) 值由 INRUSH_LIMIT_CHx [3:0] 位设置，持续时间由 INRUSH_DURATION_CHx [2:0] 位设置。当到达浪涌持续时间计时器时间后，在稳态运行中，立即关断过流保护 (I_{OCP}) 值将由 ILIMIT_SET_CHx [3:0] 位设置。

如果 CAP_CHRG_CHx [1:0] = 00，则 I2T 保护（如果已启用）和电流检测在 $V_{DS} < V_{DS_LT_2V}$ 时可用。

这种情况的一个示例如图 8-5 所示。

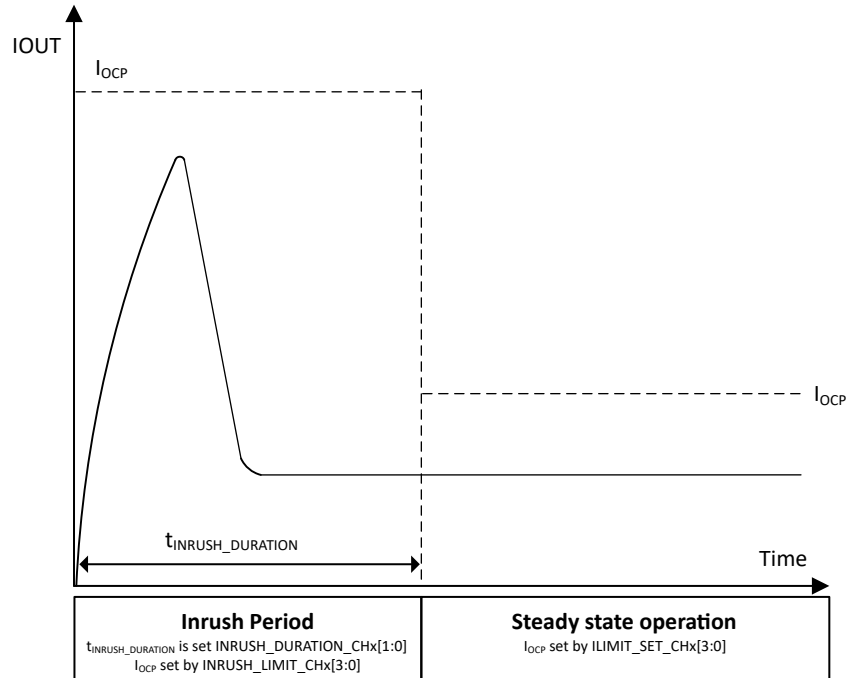


图 8-5. 无电容充电 (CAP_CHRG_CHx [1:0] = 00) - 灯泡驱动示例

电流限制调节电容充电模式 - CAP_CHRG_CHx [1:0] = 10

该器件提供电流限制调节电容充电模式来为大型下游容性负载（例如 ECU 上的大容量输入电容器）充电。如果 CAP_CHRG_CHx [1:0] = 10，则电流限制调节模式会在通道最初启用时，将输出电流钳位至 INRUSH_LIMIT_CHx [3:0] 设定的值。该器件将持续限制电流，直到容性负载完成充电、浪涌期结束或发生热关断。可通过 INRUSH_LIMIT_CHx [3:0] 进行编程的设置范围为 1.5A 至 11.3A，在电气特性表中指定为 I_{CL_REG} 。如果 VOUT 电压大于 $V_{BB} - 2V$ 并且尚未到达浪涌期计时器时间，则器件能够缓慢退出电流限制调节模式，而不会出现较大的峰值。电流限制调节电容充电模式和到达浪涌期计时器时间前缓慢退出的示例如图 8-6 所示。

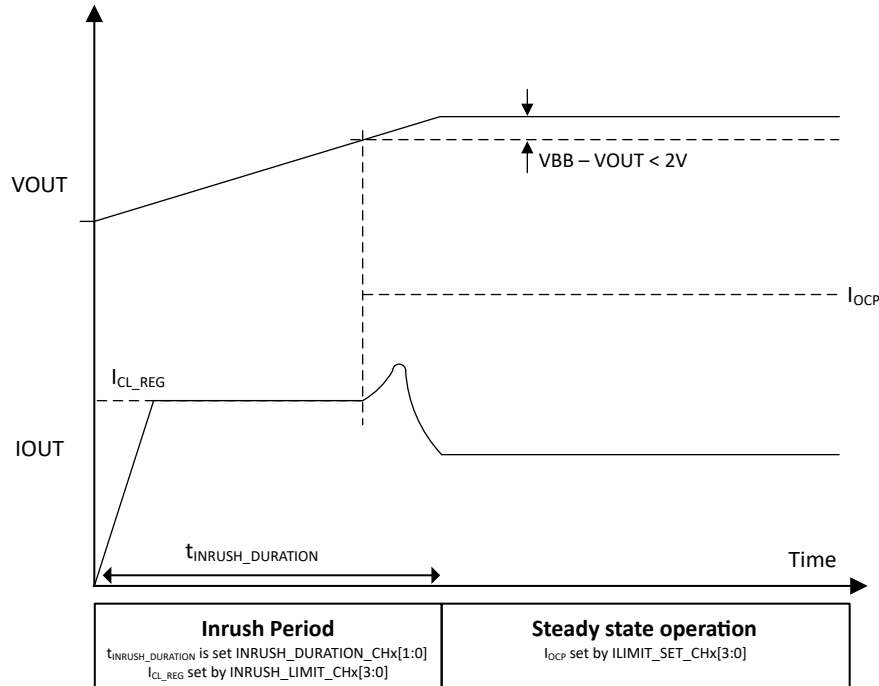


图 8-6. 电流限制调节电容充电 (CAP_CHRG_CHx [1:0] = 10) - ECU 输入大容量电容驱动示例

8.3.1.1.2 过流保护 - 稳态运行

器件完成可选浪涌期（如果启用）后，将进入稳定运行状态。在此运行状态，过流保护由立即关断过流保护 (I_{OCP}) 和 I2T 保护功能（如果已启用）提供。 I_{OCP} 是一种过流保护功能，如果输出电流超过由 ILIMIT_SET_CHx [3:0] 位设置的 I_{OCP} 阈值，该功能会立即关闭通道。启用器件时， I_{OCP} 功能无法禁用并且在稳态运行期间始终有效。I2T 保护功能可提供基于定义的时间电流曲线的可编程熔断保护。I2T 保护的目的是匹配熔断型保险丝的行为。I2T 保护的时间电流曲线可通过 NOM_CUR_CHx [2:0] 位和 I2T_TRIP_CHx [3:0] 位设置。ISWCL_CHx [1:0] 和 I_{OCP} 还有助于定义 I2T 保护的时间电流曲线。如果通道在浪涌期后处于稳态运行状态，则 I_{OCP} 和 I2T 保护功能（如果启用）将在 ACTIVE 状态和 LIMP_HOME 状态下处于有效状态。

接下来的几节将介绍 I2T 保护和 I_{OCP} 保护功能。

8.3.1.1.3 可编程保险丝保护装置

器件为每条通道提供可编程保险丝保护，该功能基于定义的时间-电流曲线，通常在熔断型保险丝数据表中称为 I2T 保护。其目的是匹配熔断型保险丝的开关关断行为。NOM_CUR_CHx [2:0] 位和 I2T_TRIP_CHx [3:0] 位设置时间-电流曲线，但该器件还使用固定延迟关断 (I_{SWCL}) 和即时关断保护 (I_{OCP}) 为器件建立全面的 I2T 保护。TPS2HCS10-Q1 的 I2T 保护包含四个区域：

1. 标称电流
2. 保险丝关断
3. 固定延迟关断
4. 即时关断保护 (I_{OCP})

标称电流区域 (1) 定义了器件在不关断的情况下可以无限期提供电流的区域。这大致相当于熔断型保险丝的额定电流。该区域通过 NOM_CUR_CHx [2:0] 位设置，如果输出电流小于 NOM_CUR_CHx 设置，则器件可以如前所述无限期提供电流，而不会开始 I2T 累加。如果输出电流大于或等于 NOM_CUR_CHx 设置，则器件将进入 I2T 累加循环并开始累加，直到满足 I2T_TRIP_CHx [3:0] 阈值。如果输出电流在达到 I2T_TRIP_CHx 值之前回落到 NOM_CUR_CHx 以下，则器件将停止 I2T 累加，但只要向器件供电，就会继续累加能量。

高于标称电流区域的是保险丝关断区域 (2)，该区域通过 I2T_TRIP_CHx [3:0] 位设置。该区域定义了时间-电流曲线的曲率以及器件 I2T 累加有效的区域。根据输出电流电平和 NOM_CUR_CHx 设置，器件将以不同的时间间隔跳闸，具体视设置的 I2T_TRIP 值而定。器件的时间-电流曲线通过方程式 1 定义。

$$I2T_TRIP = \left(I_{OUT}^2 - NOM_CUR_CHx^2 \right) \times t \quad (1)$$

如果累加未超过 I2T_TRIP 值且电流降至低于 NOM_CUR_CH，则使用公式 1 基于 ISNS 值递减累加的能量，直到其降至零。在器件继续递减至零期间，I2T_MOD 位将保持为 1，直到累加的能量恢复为零，然后 I2T_MOD 位将重置为零。如果由于通道进入 I2T 循环而禁用任何转换，则当 I2T_MOD = 0 时，这些转换将重新启用。

高于保险丝关断区域的是固定延迟关断区域 (3)，其中器件提供通过 ISWCL_CHx [1:0] 和 SWCL_DLY_TMR_CHx [1:0] 位设置的固定延迟关断。ISWCL_CHx [1:0] 设置输出电流值，SWCL_DLY_TMR_CHx 设置时间。如果输出电流持续超过 ISWCL_CHx 电平的时间达到 SWCL_DLY_TMR_CHx，则通道将立即关断。

如果由于超过 I2T_TRIP_CHx 值或由于 ISWCL_CHx 功能而发生关断，则器件将在通过 TCLDN_CHx [1:0] 设置的时段内保持关断状态。如果 TCLDN_CHx [1:0] = 00，则器件将保持关闭状态而不会重试。要在此设置中重试，需要将 TCLDN_CHx [1:0] 位更改为其他设置。设置更改后，器件将在经过新设置定义的冷却时间后重试。请注意，当通道进入 I2T 关断状态时，累加器值将复位为 0，因此应调整重试时间，以确保经过足够的时间，让线束冷却下来。另请注意，当通道进入 I2T 关断状态时，不能更改 NOM_CUR_CHx、I2T_TRIP_CHx 和 ISWCL_CHx 的值。

高于固定延迟关断区域的是即时关断过流保护 (I_{OCP}) 区域 (4)。该区域通过 ILIMIT_SET_CHx [3:0] 位设置。如果输出电流超过 I_{OCP} 电平，则该器件将立即关断。I_{OCP} 的重试或锁存行为通过 LATCH_CHx 位设置，将在下一节中介绍。

I2T 保护的这些运行区域如图 8-7 所示。

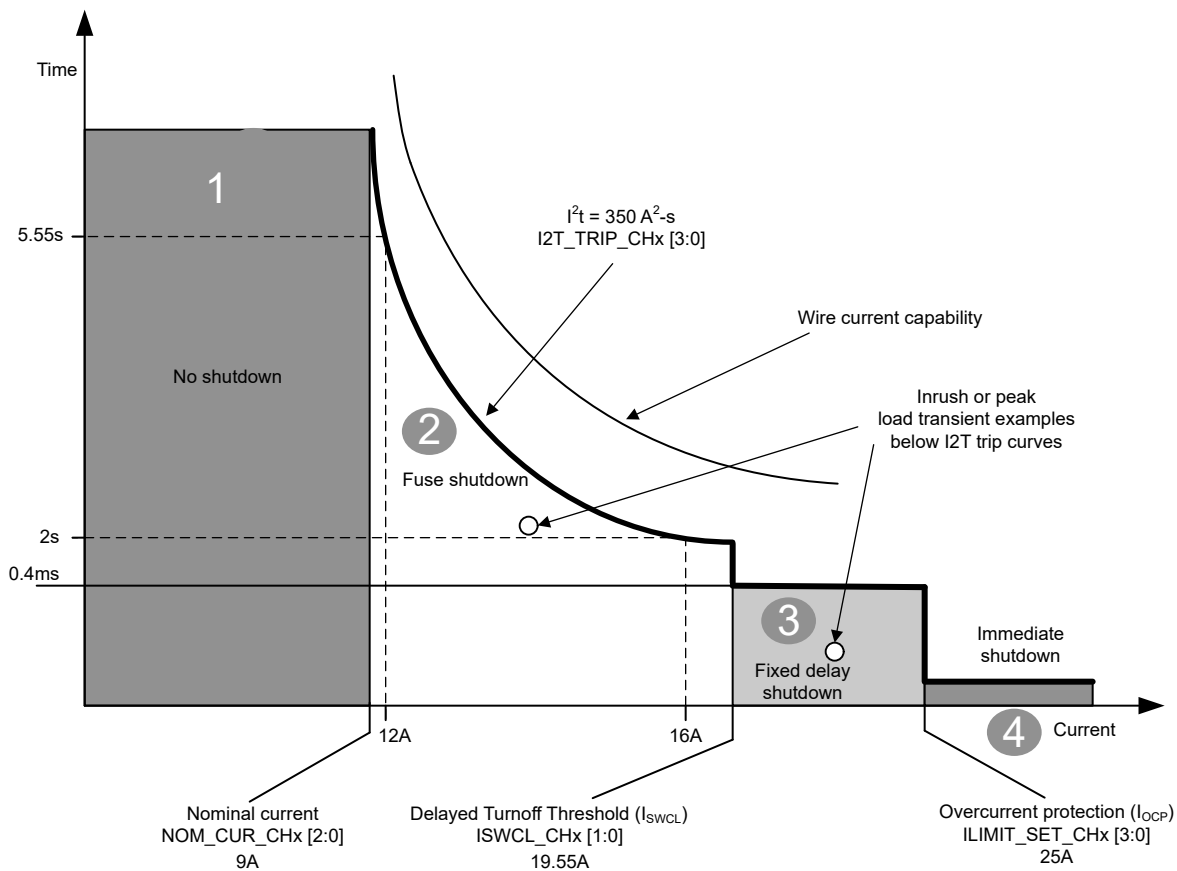


图 8-7. 基于保险丝关断的运行区域

寄存器映射中 `NOM_CUR_CHx`、`I2T_TRIP_CHx` 和 `ISWCL_CHx` 的值基于 $700\ \Omega$ 的 R_{SNS} 值。器件可根据不同的 R_{SNS} 值灵活地调整这些值。下面定义了用于调整 `NOM_CUR_CHx`、`I2T_TRIP_CHx` 和 `ISWCL_CHx` 的公式。

$$NOM_CUR_{ADJ, TYP} = \frac{NOM_CUR_{700} \times 700}{R_{SNS, ADJ, TYP}} \quad (2)$$

$$ISWCL_{ADJ, TYP} = \frac{ISWCL_{700} \times 700}{R_{SNS, ADJ, TYP}} \quad (3)$$

$$I2T_{ADJ, TYP} = I2T_{700} \times \left(\frac{700}{R_{SNS, ADJ, TYP}} \right)^2 \quad (4)$$

其中，

$$NOM_CUR_{700} = \text{NOM_CUR_CHx value in the datasheet based on } R_{SNS} \text{ of } 700\ \Omega \quad (5)$$

$$ISWCL_{700} = \text{ISWCL value in the datasheet based on } R_{SNS} \text{ of } 700\ \Omega \quad (6)$$

$$I2T_{700} = \text{I2T trip value in the datasheet based on } R_{SNS} \text{ of } 700\ \Omega \quad (7)$$

8.3.1.1.4 立即关断过流保护 (I_{OCB})

在稳态运行时，器件提供即时关断过流保护 (I_{OC}P)，这是一种过流保护功能，如果输出电流超过由 ILIMIT_SET_CHx [3:0] 位设置的 I_{OC}P 阈值，该功能会立即关闭通道。ILIMIT_SET_CHx [3:0] 位使 I_{OC}P 功能能够基于每个通道进行设置。启用器件时，I_{OC}P 功能无法禁用并且在稳态运行期间始终有效。

如果超过 I_{OC} 电平，通道将立即关闭，并且通道将根据 **LATCH_CHx** 位的设置进行重试或闭锁。如果 **LATCH_CHx** = 0、设备将在 t_{RETRY} 后重试。如果到达重试时间，器件将启动并进入浪涌期（如果已配置）。如果 **LATCH_CHx** = 1 并且超过 I_{OC} 电平，器件将闭锁，并且在切换 **CHx_ON** 位（版本 A）、**Dlx** 引脚（版本 B）或 **LATCH_CHx** 位之前不会重试。有关重试和闭锁如何针对不同器件设置工作的更多详细信息，请参阅下面的重试和闭锁行为部分。

请注意，在 LIMP_HOME 状态下，如果通道通过 CHx_LH_IN 位配置为在 LIMP_HOME 状态下导通，那么无论 LATCH CHx 设置如何，器件都将持续重试。

8.3.1.1.5 自动重试与闭锁行为

发生热关断或过流保护故障时，出现故障的通道将根据 CHx_CONFIG 寄存器中的 LATCH_CHx 位设置自动重试或闭锁。根据 CAP_CHRG_CHx 设置，自动重试响应的行为会有所不同。

请注意，在 LIMP_HOME 状态下，如果通道通过 CHx_LH_IN 位配置为在 LIMP_HOME 状态下导通，那么无论 LATCH_CHx 设置如何，器件都将持续重试。LIMP_HOME 状态下的重试行为将遵循以下部分，具体取决于 CAP_CHRG_CHx 位的配置方式。

自动重试行为 - 无电容充电模式 (CAP_CHRG_CHx = 00)

如果 CAP_CHRG_CHx = 00 且 LATCH_CHx = 0 并且发生短路事件，则在通道关闭且到达 t_{RETRY} 时间后，器件将在浪涌期间重试，并通过 INRUSH_LIMIT_CHx [3:0] 位设置 I_{OCp} 电平。INRUSH_DURATION_CHx [2:0] 仍设置浪涌期的持续时间。图 8-8 展示了稳态运行中发生的这种热短路情况。浪涌期间发生短路会导致与稳态热短路相同的重试行为，但第一个初始过流关断电平将由 INRUSH_LIMIT_CHx [3:0] 确定。

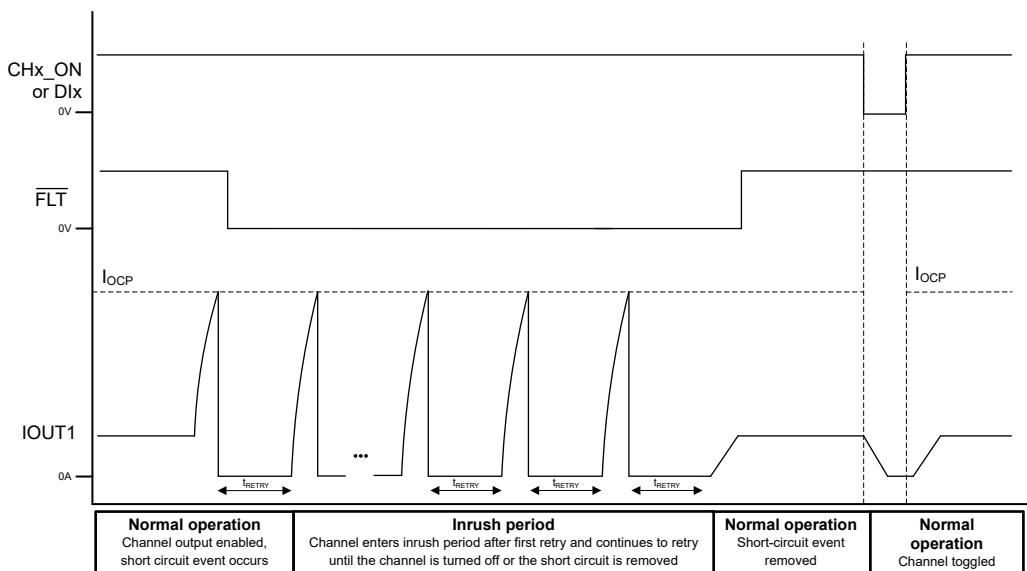


图 8-8. 如果 CAP_CHRG_CHx = 00 且启用了自动重试模式 (LATCH_CHx = 0)，则会在稳态运行期间发生热短路事件

闭锁行为 - 无电容充电模式 (CAP_CHRG_CHx = 00)

如果 LATCH_CHx = 1、CAP_CHRG_CHx = 00 且超过 I_{OCP} 电平，器件将闭锁并且在切换 CHx_ON 位 (版本 A)、Dlx 引脚 (版本 B) 或 LATCH_CHx 位之前不会重试。通过输出切换或 LATCH_CHx 位切换复位锁存器后，通道将启动并进入浪涌期 (如果已配置)。下面的图 8-9 显示了在稳态运行期间发生热短路且 LATCH_CHx = 1 时的锁存行为。图 8-10 显示了通道在浪涌期间发生短路事件时的闭锁行为。

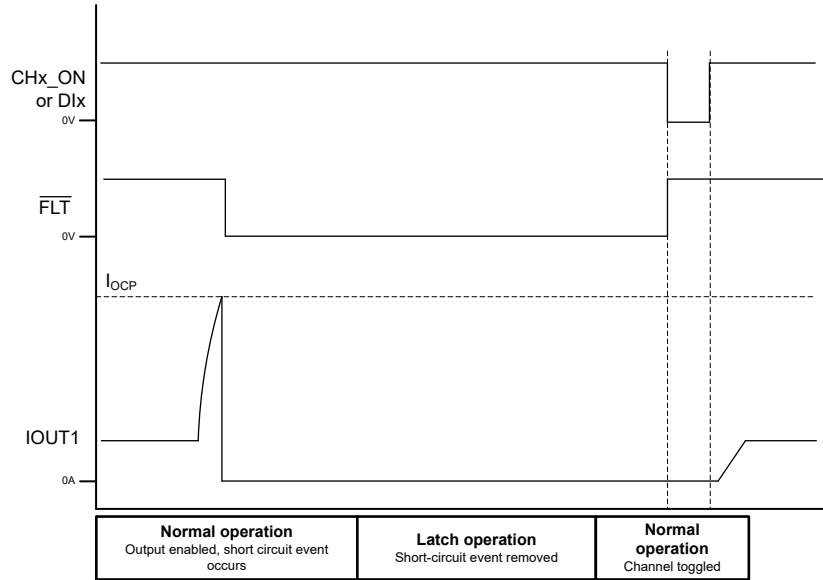


图 8-9. 如果 CAP_CHRG_CHx = 00 且启用了闭锁模式 (LATCH_CHx = 1)，则会在稳态运行期间发生热短路事件

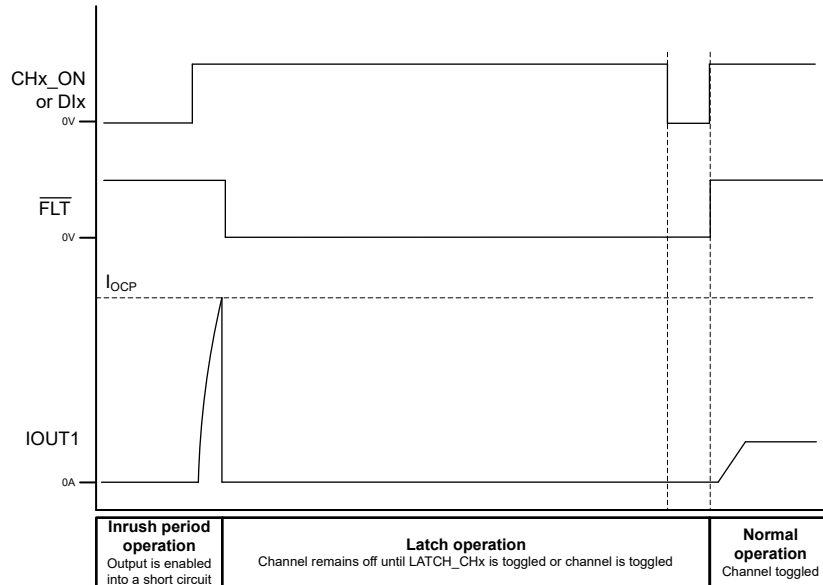


图 8-10. 如果 CAP_CHRG_CHx = 00 且启用了闭锁模式 (LATCH_CHx = 1)，则会发生热短路事件

自动重试行为 - 电流限制调节充电模式 (CAP_CHRG_CHx = 10)

如果在稳态运行期间发生短路事件 (CAP_CHRG_CHx = 10 且 LATCH_CHx = 0)，则在通道关闭且到达 t_{RETRY} 时间后，器件将重试进入浪涌期，并通过 INRUSH_LIMIT_CHx [3:0] 位设置电流限制调节 (I_{CL_REG})。图 8-11 显

示了稳态运行期间 ($CAP_CHRG_CHx = 10$ 且 $LATCH_CHx = 0$) 发生的热短路事件。图 8-12 显示了通道在浪涌期间发生短路事件时的自动重试行为。

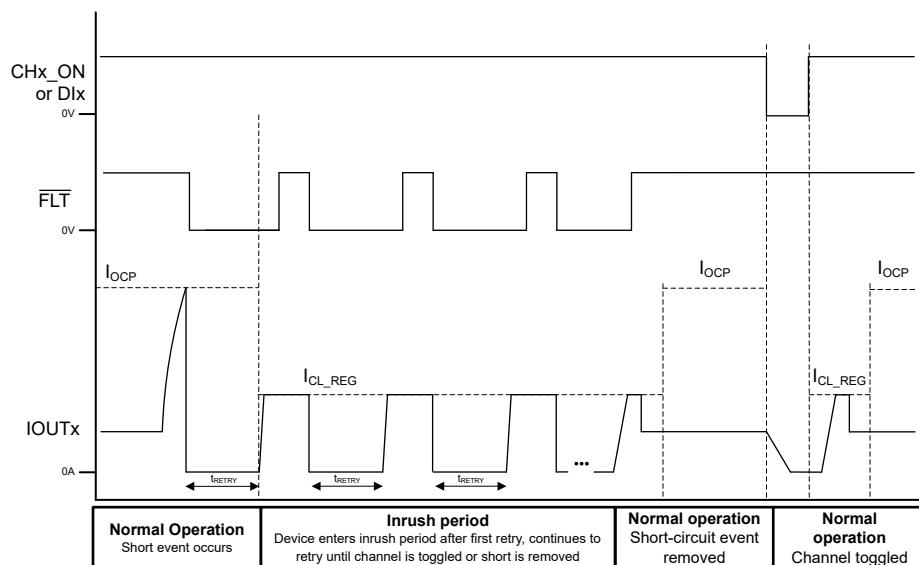


图 8-11. 如果 $CAP_CHRG_CHx = 10$ 且启用了自动重试模式 ($LATCH_CHx = 0$)，则会在稳态运行期间发生热短路事件

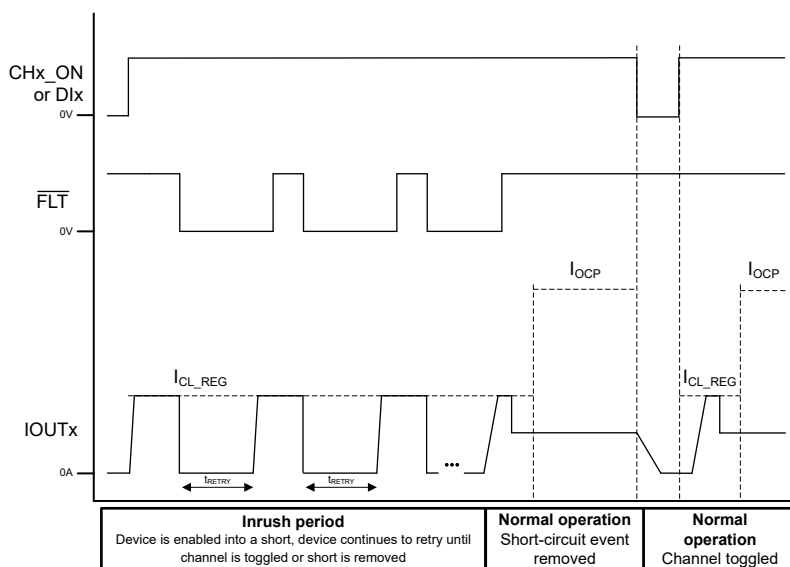


图 8-12. 如果 $CAP_CHRG_CHx = 10$ 且启用了自动重试模式 ($LATCH_CHx = 0$)，则会发生热短路事件

闭锁行为 - 电流限制调节电容充电模式 ($CAP_CHRG_CHx = 10$)

如果 $LATCH_CHx = 1$ 、 $CAP_CHRG_CHx = 10$ 且超过 I_{OCP} 电平，器件将闭锁并且在切换 CHx_ON 位 (版本 A)、 Dlx 引脚 (版本 B) 或 $LATCH_CHx$ 位之前不会重试。通过输出切换或 $LATCH_CHx$ 位切换复位锁存器后，通道将启动并进入浪涌期 (如果已配置)。下面的图 8-13 显示了在稳态运行期间发生热短路且 $LATCH_CHx = 1$ 时的锁存行为。图 8-14 显示了通道在浪涌期间发生短路事件时的闭锁行为。

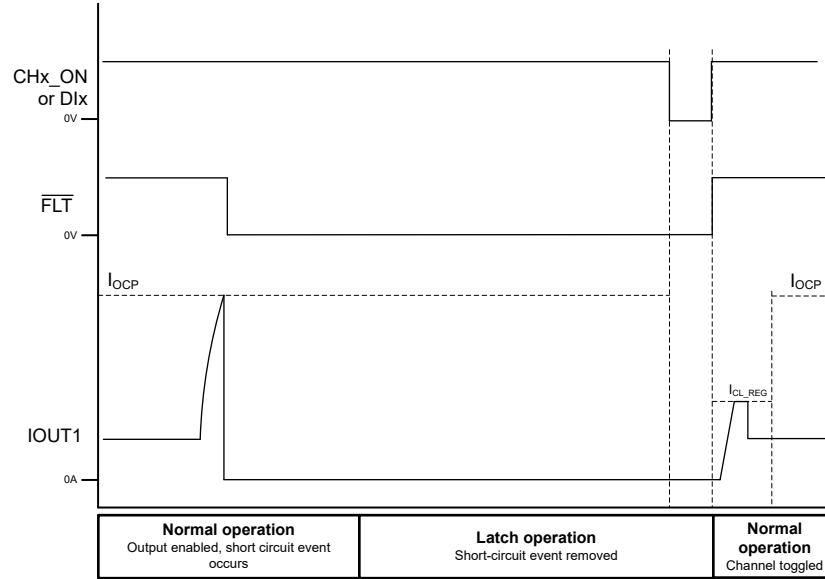


图 8-13. 如果 CAP_CHRG_CHx = 10 且启用了闭锁模式 (LATCH_CHx = 1)，则会在稳态运行期间发生热短路事件

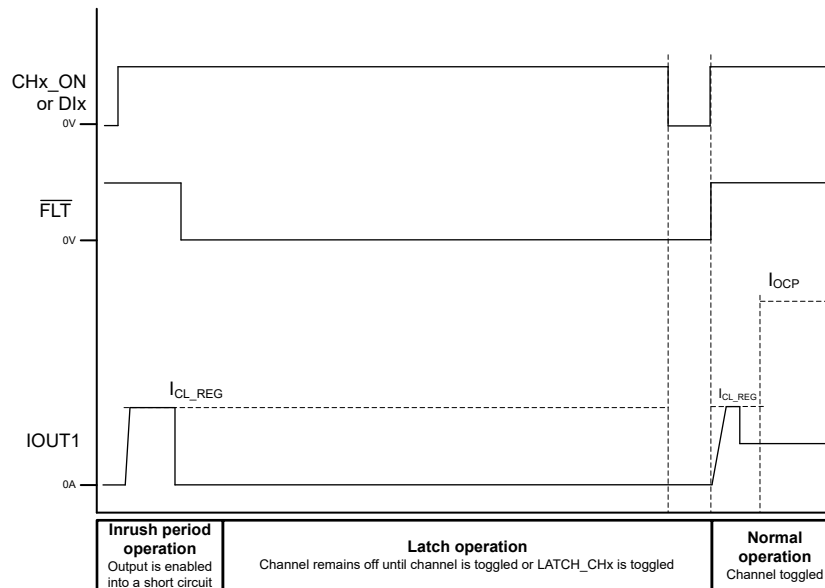


图 8-14. 如果 CAP_CHRG_CHx = 10 且启用了闭锁模式 (LATCH_CHx = 1)，则会发生热短路事件

8.3.1.2 热关断

该器件在每个功率 FET 上和器件的控制器部分内包含一个温度传感器，用于监测每个 FET 的温度 ($T_{J,FET}$) 和控制器的温度 ($T_{J,CONTROLLER}$)。在两种情况下，器件将被视为出现热关断故障：

- 相对热关断 (T_{REL}) : $T_{J,FET} - T_{J,CONTROLLER} > T_{REL}$
- 绝对热关断 (T_{ABS}) : $T_{J,FET} > T_{ABS}$

如果发生上述任一故障，相关开关将关闭。每个通道将根据该通道的温度传感器测量结果关闭。因此，如果仅在一个通道上检测到热故障，另一个通道将继续运行。

相对热关断 (T_{REL})

当存在较大峰值功率事件时，例如，FET 温度 ($T_{J,FET}$) 相对于控制器温度 ($T_{J,CONTROLLER}$) 迅速上升的接地短路事件，则可能会发生相对热关断事件。一旦相对温度 ($T_{J,FET} - T_{J,CONTROLLER}$) 超过 T_{REL} ，该相对通道将会关闭。

绝对热关断 (T_{ABS})

当 FET 温度 ($T_{J,FET}$) 上升到高于 T_{ABS} 时，会发生绝对热关断。当通道长时间过流时（例如永久短路用例），可能会发生这种情况。一旦 FET 温度 ($T_{J,FET}$) 超过 T_{ABS} ，相关通道将会关闭。

8.3.1.3 电池反向

在电池反向条件下，无论输出状态如何（由 SW_STATE 寄存器设置），开关都将自动启用，以防止 MOSFET 体二极管内部产生过多功率耗散。在许多应用（例如电阻负载）中，电池反向期间可能存在满载电流。为了激活自动开关导通特性，DI 引脚（版本 A）或 DI1（版本 B）必须具有从 MCU 到接地的路径，如果未使用，则需要通过 R_{PROT} 接地。

有两种方法可以处理系统中的反向电池。第一种方法是将阻断器件（FET 或二极管）与电池电源串联，从而阻断所有电流路径。第二种方法是在高侧开关的 GND 节点上将阻断二极管与电阻器并联。这种方法通过限制流经内部电路的电流，来保护开关（路径 2）的控制器部分。此外，在第二种方法中，器件的自动导通功能将允许器件进入低 R_{ON} 状态，以使电流有效地流经开关并流经负载（路径 3）。用于第二种方法的二极管可在多个高侧开关之间共享。

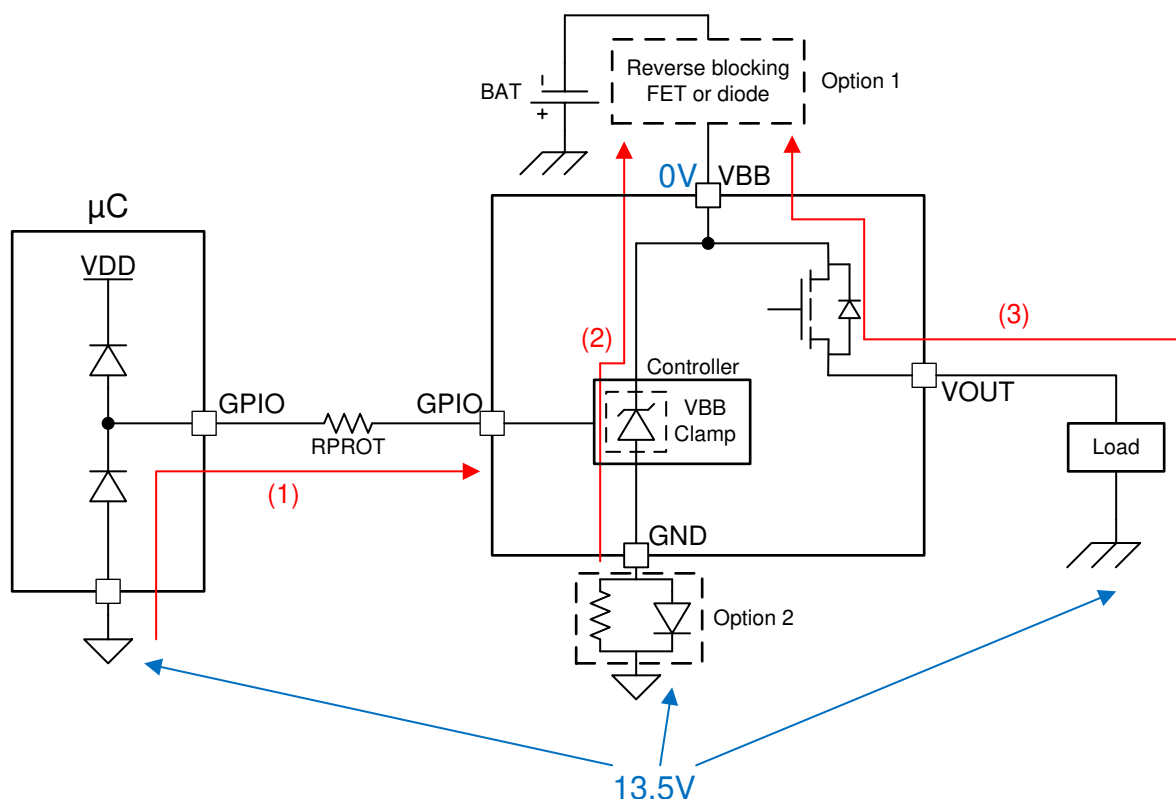


图 8-15. 电池反向期间的电流路径

有关电池反向保护的更多信息，请参阅 TI 的 [适用于高侧开关的电池反向保护](#) 应用手册。

8.3.2 诊断机制

8.3.2.1 集成型 ADC

TPS2HCS10-Q1 提供一个集成式逐次逼近型 10 位 ADC，能够将不同的模拟信号转换为可通过 SPI 读取的数字信号。ADC 可转换以下模拟信号：

- CH1 和 CH2 电流检测 (ISNS1/2)
- CH1 和 CH2 MOSFET 温度检测 (TSNS1/2)
- VBB 电压检测 (VBB_SNS)
- CH1 和 CH2 VOUT 电压检测 (VSNS1/2)
- CH1 和 CH2 MOSFET 漏源电压 (VDS) 检测 (VDS_SNS1/2)

图 8-18 提供了集成式 ADC 的功能方框图以及 ADC 的模拟信号输入。

可以通过 ADC_CONFIG 寄存器全局禁用任何模拟信号的转换，也可以通过 CHx_CONFIG 寄存器基于每条通道禁用转换，温度检测除外。温度检测无法逐条通道禁用，只能通过 ADC_TSNS_DIS 位全局禁用。

为帮助降低静态电流，仅当 ADC 转换任一 ISNSx 信号时器件才会使能电流检测电路，并在所有其他信号转换期间禁用该电路。该器件还提供可配置的延迟，还有助于通过降低 ADC 的采样率来进一步降低器件的静态电流。可配置的延迟通过 ADC_CONFIG 寄存器中的 ADC_ISNS_SAMPLE_CONFIG [1:0] 位设置。

如果 I2T 保护已使能 (I2T_EN_CHx = 1) 且任一通道未处于 I2T 模式 (I2T_MOD_CHx = 0)，则器件将以循环顺序转换每个模拟信号，并使用可配置的延迟。下面的图 8-16 显示了没有任何通道处于 I2T 模式 (I2T_MOD_CHx = 0) 且所有模拟信号转换均已使能时的 ADC 调度。如果已禁用 I2T 保护，则以下循环顺序同样适用。

	ISNS1	ISNS2	TSNS1	TSNS2	VBB_SNS	VSNS1	VSNS2	VDS_SNS1	VDS_SNS2	Configurable delay ADC_ISNS_SAMPLE_CONFIG [1:0]
ISNS_EN	1		0							
I2T_MOD_CHx	0									

图 8-16. ADC 序列 (I2T_MOD_CHx = 0)

如果 I2T 保护已使能 (I2T_EN_CHx = 1) 且一条或两条通道处于 I2T 模式 (I2T_MOD_CHx = 1)，则器件会禁用所有转换，用于内部 I2T 保护的 ISNSx 转换除外。该器件还禁用可配置的延迟功能。下面的图 8-17 显示了一条或两条通道处于 I2T 模式 (I2T_MOD_CHx = 1) 时的 ADC 调度。

	ISNS1	ISNS2	ISNS1	ISNS2	...	ISNS1	ISNS2
ISNS_EN	1						
I2T_MOD_CHx	1						

图 8-17. ADC 序列 (I2T_MOD_CHx = 1)

ADC 的基准电压在内部是固定的，可通过 V_{ADCREFH} 参数在电气特性表中指定。ADC 的接地基准在内部连接至器件的 GND。为获得准确的电流检测结果， R_{SNS} 电阻器的接地连接应连接至器件的 GND 引脚。可以在下面的各个部分中找到每个模拟信号的转换公式。

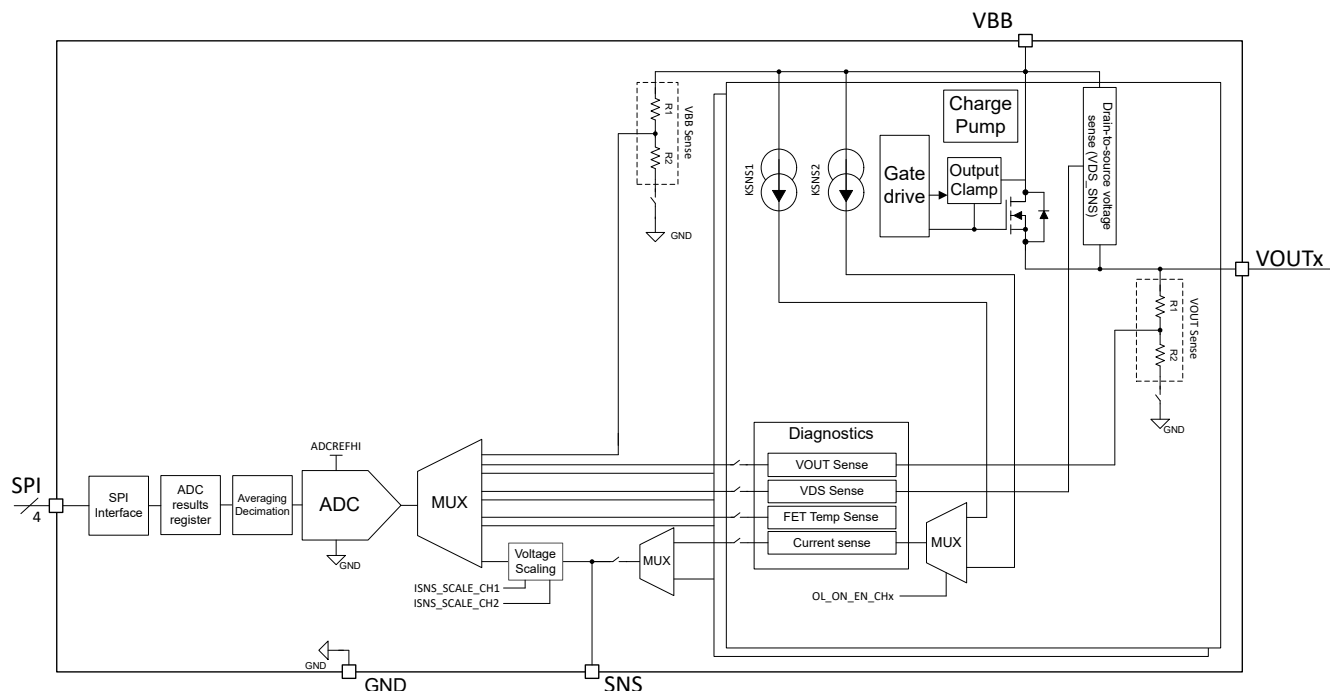


图 8-18. 集成式 ADC 功能方框图

8.3.2.2 数字电流检测输出

该器件的集成电流检测电路可提供与每个通道的负载电流 (I_{OUTx}) 成正比的检测电流 (I_{SNS})，方法是：通过将 **SNS** 引脚连接到外部检测电阻 (R_{SNS}) 以产生电压。每个通道的电流检测在内部多路复用，并由 **ADC** 调度器在 **SNS** 引脚上输出。 I_{SNS} 和 R_{SNS} 产生的电压然后由内部 10 位 **ADC** 进行采样，其中每个通道的 **ADC** 转换结果存储在 **ADC_RESULT_CHx_I** 中。如果自上次读取寄存器以来存在新的 **ADC** 转换结果，**ISNS_RDY_CHx** 位将设置为 1。

为确保内部 ADC 进行精确的检测测量，检测电阻应连接到 IC GND。

该器件为每个通道提供两个电流检测比 (K_{SNS1}) 和 (K_{SNS2})，可通过 CHx_CONFIG 寄存器中的 $OL_ON_EN_CHx$ 位进行设置。较高的 K_{SNS1} 比率 ($OL_ON_EN_CHx = 0$ 模式) 允许通道准确测量高输出电流电平，而较低的 K_{SNS2} 比率 ($OL_ON_EN_CHx = 1$ 模式) 使通道能够准确测量低输出电流电平。 K_{SNS1} 利用全 MOSFET，而 K_{SNS2} 利用一个具有导通电阻 R_{ON_OL} 的小型 MOSFET 来提供较低的电流检测比。要使用 K_{SNS2} 比率，那么在 $OL_ON_EN_CHx$ 位设置为 1 之前，输出电流电平必须低于 $I_{ENTRY_OL_ON}$ 。如果电流不低于 $I_{ENTRY_OL_ON}$ ，则不会进入 K_{SNS2} 操作模式，且 K_{SNS1} 操作模式仍将处于活动状态。如果通道以 K_{SNS2} 模式运行并且输出电流增加到高于 $I_{EXIT_OL_ON}$ ，器件将自动从 K_{SNS2} 切换为 K_{SNS1} ，其中 $OL_ON_EN_CHx$ 位将复位为 0 并且整个 MOSFET 将处于活动状态。如果电流再次降至低于 $I_{ENTRY_OL_ON}$ ，则 $OL_ON_EN_CHx$ 位需要重新设置为 1，以再次转换到 K_{SNS2} 操作模式。系统可以通过写入 $OL_ON_EN_CHx = 0$ 来手动退出 K_{SNS2} 操作模式。在 K_{SNS2} 操作模式下测量通过集成式 ADC 的输出电流时，系统应继续监测 $OL_ON_EN_CHx = 1$ 位，以确保在读取输出电流测量值时器件仍处于 K_{SNS2} 操作模式。

该器件还提供电压调节选项，用于放大 **ADC** 输入端的电流检测电压。在低输出电流电平下，这有助于使电流检测电压处于集成式 **ADC** 的更高电平。电压调节通过 **ISNS_SCALE_CHx** 位进行设置。下面的 [表 8-2](#) 提供了 **ISNS_SCALE_CHx** 的不同设置。仅在 **OL_ON_EN_CHx = 1** 模式下建议使用 **ISNS_SCALE_CHx = 1** 操作模式。

建议仅在禁用 I2T (I2T_EN = 0) 的情况下使用 OL_ON_EN_CHx = 1 模式和/或 ISNS_SCALE_CHx = 1。如果在启用 I2T (I2T_EN = 1) 的情况下使用 OL_ON_EN_CHx = 1 和/或 ISNS_SCALE_CHx = 1，则可能会导致通道在意外较低的 I2T 阈值下关断。

表 8-2. ISNS_SCALE_CHx 设置

ISNS_SCALE_CHx	值
0	x1
1	x8

ADC_RESULT_CHx_I 寄存器中的 ISNS_SCALE_EFF_CHx 位将指示通道是否以 1 倍或 8 倍电压调节运行，以便系统知道在转换电流检测测量时要应用的电压比例因子。

不同 OL_ON_EN_CHx 设置下电流检测的 ADC 转换公式如下：

OL_ON_EN_CHx = 0 时，

$$I_{OUT} (A) = \left(\frac{K_{SNS1} \times V_{ADCREFH1}}{1023 \times R_{SNS}} \right) \times ADC_RESULT_CHx_I \quad (8)$$

OL_ON_EN_CHx = 1 时，

$$I_{OUT} (A) = \left(\frac{K_{SNS2} \times V_{ADCREFH1}}{1023 \times R_{SNS} \times ISNS_SCALE_CHx} \right) \times ADC_RESULT_CHx_I \quad (9)$$

默认情况下会为每个通道启用电流检测功能。可以通过 ADC_CONFIG 寄存器中的 ADC_ISNS_DIS 位全局启用或禁用电流检测功能。当全局 ADC_ISNS_DIS 位为 0 时，器件将根据相应 CHx_CONFIG 寄存器中的 ISNS_DIS_CHx 位启用或禁用每个通道上的电流检测功能。

如果使用 I2T 保护，则必须先启用电流检测功能，然后才能使用 I2T 保护。电流检测功能仅在通道启用并处于稳态运行时可用。电流检测功能在浪涌期间不可用。

8.3.2.3 输出电压测量

TPS2HCS10-Q1 通过集成式 10 位 ADC 为每个通道提供输出电压测量。

默认情况下启用输出电压测量功能。若要启用输出电压检测功能，需要通过 ADC_VSNS_DIS 位在 ADC_CONFIG 寄存器中全局启用该功能。如果启用了全局位，器件将根据相应 CHx_CONFIG 寄存器中的 VSNS_DIS_CHx 位，在每个通道上启用输出电压测量功能。

输出电压测量的转换公式详见 [方程式 10](#)。ADC 测量结果将在 ADC_RESULT_CHx_V 寄存器中提供。如果自上次读取寄存器以来存在新的 ADC 转换结果，VSNS_RDY_CHx 位将设置为 1。如果任何通道位于 I2T 环路中 (I2T_MOD_CHx = 1)，则会为所有通道禁用输出电压测量 (如果已启用)，并且 VSNS_RDY_CHx 位将设置为 0。一旦通道退出 I2T 环路 (I2T_MOD_CHx = 0)，如果之前在发生 I2T 事件之前已启用输出电压测量功能，则此时将自动重新启用该功能。

$$V_{OUT} (V) = \left(\frac{17.89 \times V_{ADCREFH1}}{1023 \times 1.667} \right) \times ADC_RESULT_CHx_V \quad (10)$$

输出电压测量以器件接地为基准，因此，如果有用于反向电池的接地网络，则电压测量可能会存在偏移。

8.3.2.4 MOSFET 温度测量

TPS2HCS10-Q1 通过 10 位 ADC 为每个功率 MOSFET 提供温度测量。

默认情况下，FET 温度检测功能处于禁用状态。若要为每个通道启用 FET 温度检测功能，需要通过 ADC_TSNS_DIS 位在 ADC_CONFIG 寄存器中全局启用该功能。

FET 温度测量的转换公式详见 [方程式 11](#)。ADC 测量结果将在 ADC_RESULT_CHx_T 寄存器中提供。如果自上次读取寄存器以来存在新的 ADC 转换结果，则 TSNS_RDY_CHx 位设置为 1。如果任何通道位于 I2T 环路中 (I2T_MOD_CHx = 1)，则会为所有通道禁用 FET 温度测量 (如果已启用)，并且 TSNS_RDY_CHx 位将设置为 0。当通道退出 I2T 环路 (I2T_MOD_CHx = 0) 后，如果之前在发生 I2T 事件之前已启用，则 FET 温度测量功能将自动重新启用。

$$T_{J,FET} (^{\circ}\text{C}) = 381.367 - (0.75157 \times \text{ADC_RESULT_CHx_T}) \quad (11)$$

8.3.2.5 漏源电压 (V_{DS}) 测量

TPS2HCS10-Q1 通过集成式 10 位 ADC 为每个通道提供漏源电压 (V_{DS}) 测量。

V_{DS} 电压测量功能默认处于禁用状态。若要启用 V_{DS} 电压检测功能，需要通过 ADC_VDS_DIS 位在 ADC_CONFIG 寄存器中全局启用它。如果启用了全局位，器件将根据相应 CHx_CONFIG 寄存器中的 VDS_SNS_DIS_CHx 位，在每个通道上启用 V_{DS} 电压测量功能。

V_{DS} 电压测量的转换公式详见 [方程式 12](#)。 V_{DS} 转换公式仅对不超过 1.5V 的 V_{DS} 电压有效。ADC 测量结果将在 $\text{ADC_RESULT_CHx_VDS}$ 寄存器中提供。如果自上次读取寄存器以来存在新的 ADC 转换结果，则 VDSSNS_RDY_CHx 位设置为 1。如果任何通道位于 I2T 环路中 ($\text{I2T_MOD_CHx} = 1$)，则会为所有通道禁用 V_{DS} 电压测量（如果已启用），并且 VDSSNS_RDY_CHx 位将设置为 0。通道退出 I2T 环路 ($\text{I2T_MOD_CHx} = 0$) 后，如果在发生 I2T 事件之前已启用，则 V_{DS} 电压测量功能将自动重新启用。

$$V_{DS} (V) = \frac{\text{ADC_RESULT_CHx_VDS} - 24}{288.267} \quad (12)$$

8.3.2.6 VBB 电压测量

TPS2HCS10-Q1 通过 10 位 ADC 提供 VBB 电压测量。

默认情况下，VBB 电压测量功能处于禁用状态。可以通过 ADC_CONFIG 寄存器中的 ADC_VBB_DIS 位启用 VBB 电压检测功能。

VBB 电压测量的转换公式详见 [方程式 13](#)。ADC 测量结果将在 ADC_RESULT_VBB 寄存器中提供。如果自上次读取寄存器以来存在新的 ADC 转换结果，则 VBB_RDY 位设置为 1。如果任何通道位于 I2T 环路中 ($\text{I2T_MOD_CHx} = 1$)，则 VBB 电压测量（如果已启用）将被禁用， VBB_RDY 位将设置为 0。在通道退出 I2T 环路 ($\text{I2T_MOD_CHx} = 0$) 后，如果之前在发生 I2T 事件之前已启用 VBB 电压测量，则会自动重新启用该测量功能。

$$V_{BB} (V) = \left(\frac{18.18 \times V_{\text{ADCREFH1}}}{1023 \times 1.667} \right) \times \text{ADC_RESULT_VBB} \quad (13)$$

VBB 电压测量以器件接地为基准，因此如果有用于反向电池的接地网络，则电压测量可能会存在偏移。

8.3.2.7 VOUT 电池短路和开路负载

无论通道输出是开启还是关闭，TPS2HCS10-Q1 都能够检测电池短路和开路负载事件，但这两种情况会采用不同的方法。

8.3.2.7.1 启用通道输出 (FET) 时的测量

当启用通道输出且 FET 导通时，可以通过电流检测功能测量 VOUT 电池短路和开路负载情况。在这两种情况下，可使用电流检测电路和 ADC（在 ADC_RESULT_CHx_I 寄存器中提供）测量负载电流。通过将电流检测比从标称值 5000 更改为较低的标称值 1400，可以在低电流电平下提高电流检测精度。这是通过将各个 CHx_CONFIG 寄存器中的 OL_ON_EN_CHx 位设置为 1 来实现的。但是，负载电流必须低于 $I_{\text{ENTRY_OL_ON}}$ ，此位才能生效。此外，通过设置同一 CHx_CONFIG 寄存器中的 ISNS_SCALE_CHx 位，ADC 的电压输入可以缩放 8 倍。这使得 ADC 能够以更高的精度测量低负载电流。

建议仅在禁用 I2T ($\text{I2T_EN} = 0$) 的情况下使用 $\text{OL_ON_EN_CHx} = 1$ 模式和/或 $\text{ISNS_SCALE_CHx} = 1$ 。如果在启用 I2T ($\text{I2T_EN} = 1$) 的情况下使用 $\text{OL_ON_EN_CHx} = 1$ 和/或 $\text{ISNS_SCALE_CHx} = 1$ ，则可能会导致通道在意外较低的 I2T 阈值下关断。

8.3.2.7.2 在禁用通道输出的情况下进行检测

当通道输出被禁用 (FET 关断) 时, 器件能够检测开路负载或电池短路事件。这些功能在下面称为关断状态开路负载检测和关断状态电池短路检测。当通道输出被禁用时, 器件能够通过下面将讨论的定义顺序区分开路负载事件和电池短路事件。关断状态开路负载和关断状态电池短路检测的方框图如图 8-19 所示。

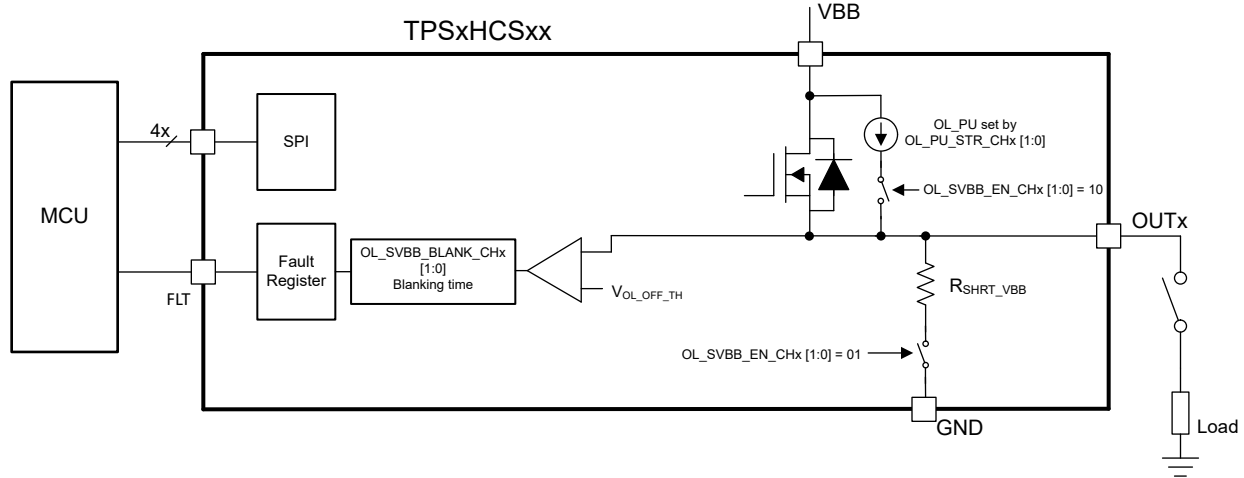


图 8-19. 开路负载和电池短路检测

备注

该图假设器件接地和负载接地处于相同电位。在实际系统中, 可能存在 1V 量级的接地漂移电压。

关断状态开路负载检测

该器件为每个通道集成了一个上拉电流源 OL_PU , 可用于上拉输出, 以确定是否存在开路负载或电池短路事件。当 $OL_SVBB_EN_CHx [1:0] = 10$ 时启用上拉电流源, 并使用一个内部比较器, 该比较器用于检测输出电压何时升高至高于 $V_{OL_OFF_TH}$ 。内部上拉的强度可通过 CHx_CONFIG 寄存器中每个通道的 $OL_PU_STR_CHx$ 位进行编程。该器件还为每个通道提供一个可编程消隐计时器, 使输出能够在确定是开路负载还是电池短路事件之前稳定下来。消隐时间可通过 CHx_CONFIG 寄存器中的 $OL_SVBB_BLANK_CHx$ 位进行编程。

当 $OL_SVBB_EN_CHx [1:0] = 10$ 时, 器件仅在出现开路负载或电池短路事件时才能够报告, 仅通过此设置无法区分两者。如果发生开路负载或电池短路故障, 则相应通道 FLT_STAT_CHx 寄存器中的 OL_OFF_CHx 位将设置为 1。 OL_OFF_CHx 位是一个读取清除位, 该位在读取 FLT_STAT_CHx 寄存器且故障不再存在 (因故障消除或开路负载电路被禁用) 时清除。为了区分开路负载和电池短路故障, 需要遵循特定的程序。下面的 [区分开路负载和电池短路故障](#) 节将详细介绍这部分内容。

如果 $OL_SVBB_EN_CHx [1:0] = 10$ 且输出被启用, 则器件将在开启输出之前禁用上拉电流源和内部比较器。如果 $OL_SVBB_EN_CHx [1:0] = 10$ 且通道先启用后被禁用, 则器件会自动启用上拉电源和内部比较器。

关断状态电池短路检测

该器件还为每个通道集成了一个下拉电阻器, 可用于在通道被禁用时帮助区分开路负载和电池短路故障。当 $OL_SVBB_EN_CHx [1:0] = 01$ 时会启用下拉电阻器, 并且会使用一个内部比较器, 该比较器用于检测输出电压何时升高至高于 $V_{OL_OFF_TH}$ 。下拉电阻器由电气特性中的 R_{SHRT_VBB} 参数指定。该器件为每个通道提供一个可编程消隐计时器, 使输出能够在确定是否发生电池短路事件之前稳定下来。消隐时间可通过 CHx_CONFIG 寄存器中的 $OL_SVBB_BLANK_CHx$ 位进行编程。

当 $OL_SVBB_EN_CHx [1:0] = 01$ 时, 器件仅在发生电池短路事件时才能够报告。器件无法检测是否发生了开路负载故障。如果发生电池短路故障, 则相应通道的 FLT_STAT_CHx 寄存器中的 $SHRT_VBB_CHx$ 位将设置为 1。 $SHRT_VBB_CHx$ 位是一个读取清除位, 当读取 FLT_STAT_CHx 寄存器并且不再存在故障 (因故障消除或电

池短路检测电路被禁用) 时, 该位将被清除。为了区分开路负载和电池短路故障, 需要遵循特定的程序。下面的[区分开路负载和电池短路故障](#) 节将详细介绍这部分内容。

如果 OL_SVBB_EN_CHx [1:0] = 01 且输出被启用, 则器件将在开启输出之前禁用下拉电阻器和内部比较器。如果 OL_SVBB_EN_CHx [1:0] = 01 且通道先启用、然后被禁用, 则器件将自动启用下拉电阻器和内部比较器。

区分开路负载和电池短路故障

TPS2HCS10-Q1 器件能够通过定义的程序区分开路负载和电池短路故障。[图 8-20](#) 强调了在区分开路负载和电池短路故障时建议采用的程序。

在读取 OL_OFF_CHx 位和 SHRT_VBB_CHx 位以确定是存在开路负载故障, 还是电池短路故障时, 应使用三条读取命令来确定发生了哪种故障。第一个读取命令用于设置要读取的寄存器, 第二个读取命令用于查看是否发生了故障, 第三个读取命令用于查看故障是否仍然存在。在这三次连续读取后, 即可确定故障。

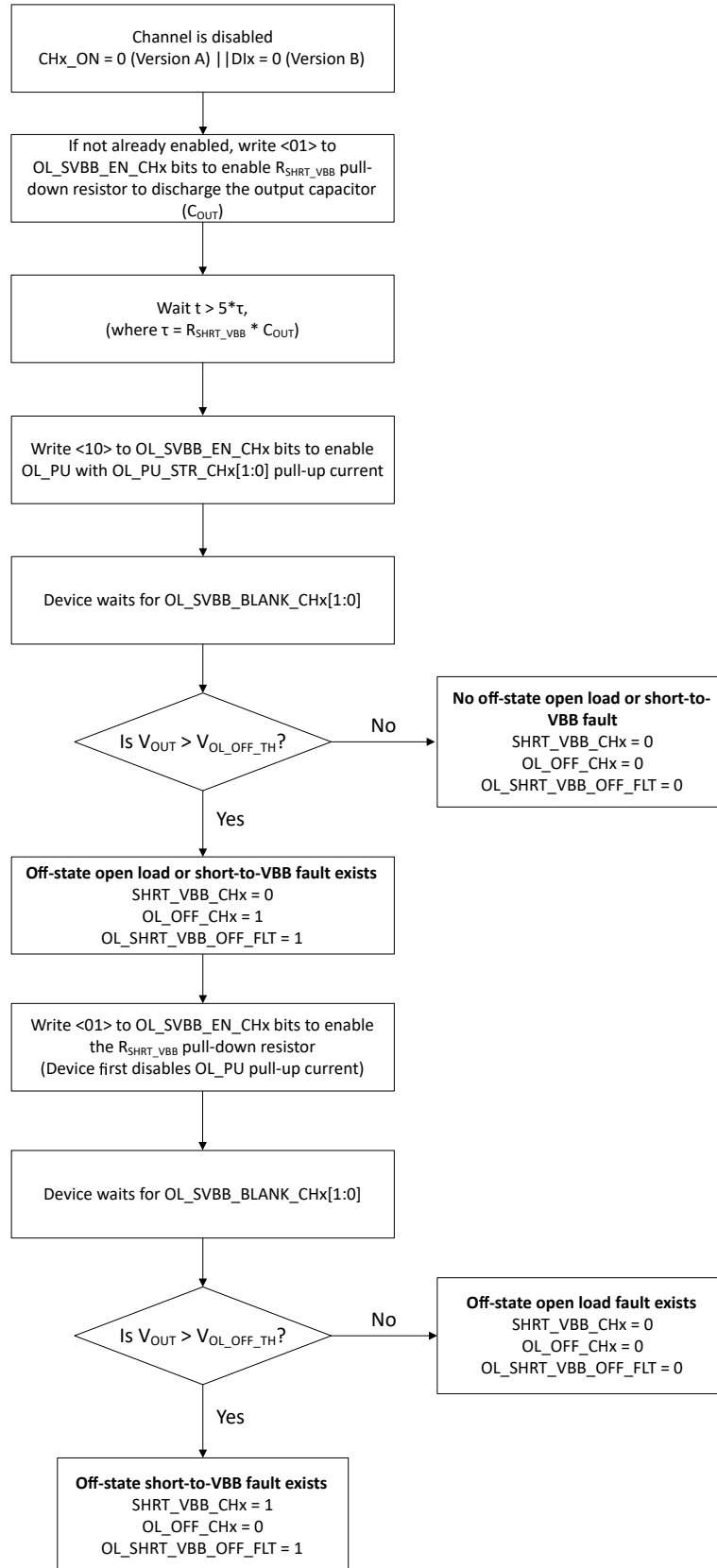


图 8-20. 用于区分开路负载和电池短路故障的逻辑流程图

8.3.3 并联模式运行

当 PARALLEL_12 位设置为 1 时，器件支持并联模式；在该模式下，器件的输出可以在外部连接在一起，从而作为单通道器件运行。这会将 RON 降低约一半，并将连续输出电流增加约 2 倍。

设置 PARALLEL_12 位时，两条通道必须均关闭才能使其生效。要确认 PARALLEL_12 位是否生效，可读取 DEV_CONFIG 寄存器以验证 PARALLEL_12 位是否设置为 1。

以下各部分介绍器件并联模式特定的不同配置和行为。如果以下各部分中未介绍任何功能或特性，则器件将以与单通道运行相同的方式运行该功能或特性。

并联模式下的通道控制

在并联模式下，仅通过 TPS2HCS10A-Q1 SW_STATE 寄存器中的 CH1_ON 位设置 ACTIVE 状态下的通道控制。对于 TPS2HCS10B-Q1，仅通过 DI1 引脚设置 ACTIVE 状态下的通道控制。对于 LIMP_HOME 状态，仅通过 DEV_CONFIG 寄存器中的 CH1_LH_IN 位设置通道控制。

故障报告 — 并联模式

在并联模式下，如果其中一条或两条通道上出现故障，则两条通道的故障标志都将针对相应的故障置为有效。

诊断 — 并联模式

在并联模式下，两条通道都可以使用 ADC 诊断 (ISNS、VSNS、VBBSNS、VDS_SNS 和 TSNS)。可以通过相应的 CHx_CONFIG 寄存器逐条通道使能或禁用这些诊断。

要进入 KSNS2 运行模式 (也称为 OL_ON_EN_CHx = 1 模式)，在 OL_ON_EN_CH1 位设置为 1 之前，输出电流必须低于 2 倍 $I_{ENTRY_OL_ON}$ 。如果电流不低于 2 倍 $I_{ENTRY_OL_ON}$ ，则不会进入 KSNS2 运行模式，且 KSNS1 运行模式将仍处于活动状态。如果通道以 KSNS2 模式运行且输出电流增加到 2 倍 $I_{EXIT_OL_ON}$ 以上，器件将自动退出 KSNS2 模式并转换为 KSNS1 模式，其中 OL_ON_EN_CH1 位将复位为 0 且整个 MOSFET 处于活动状态。如果电流再次降至低于 2 倍 $I_{ENTRY_OL_ON}$ ，则 OL_ON_EN_CH1 位需要重新设置为 1，才能再次转换到 KSNS2 运行模式。系统可通过写入 OL_ON_EN_CH1 = 0 来手动退出 KSNS2 运行模式。在 KSNS2 运行模式下通过集成式 ADC 测量输出电流时，系统应继续监测 OL_ON_EN_CH1 = 1 位，以确保在读取输出电流测量值时器件仍处于 KSNS2 运行模式。

关断状态开路负载检测和关断状态电池短路检测设置仅通过 CH1_CONFIG 寄存器进行设置。该器件仅使能通道 1 上的电路以检测关断状态开路负载和关断状态电池短路。

浪涌周期 — 并联模式下的过流保护

在并联模式下，可选浪涌周期内的过流保护仅通过 ILIM_CONFIG_CH1 寄存器进行设置。并联模式下可使用两种电容充电模式 (无电容充电或电流调节) 中的任何一种，并通过 CAP_CHRG_CH1 位进行设置。浪涌周期的持续时间通过 INRUSH_DURATION_CH1 设置。电容充电值通过 INRUSH_LIMIT_CH1 位设置，而并联运行时整个器件的有效值将约为 INRUSH_LIMIT_CH1 设置的两倍。

对于两种电容充电模式，将使能两条通道的过流保护和热关断保护。对于无电容充电模式，如果任一通道的输出电流高于 INRUSH_LIMIT_CH1 设置，则两条通道都将关闭。对于两种电容充电模式，如果任一通道发生热关断故障，则两条通道都将关闭。

有关如何在可选浪涌周期内配置器件用于过流保护的更多详细信息，请参阅下面的表 8-3。

表 8-3. 并联模式的浪涌周期过流保护配置方法

电容充电模式 (CAP_CHRG_CH1)	持续时间设置	值设置	PARALLEL_12 = 1 时生效的典型值
00	INRUSH_DURATION_CH1 [2:0]	INRUSH_LIMIT_CH1 [3:0]	2x INRUSH_LIMIT_CH1 [3:0]

表 8-3. 并联模式的浪涌周期过流保护配置方法（续）

电容充电模式 (CAP_CHRG_CH1)	持续时间设置	值设置	PARALLEL_12 = 1 时生效的典型 值
10	INRUSH_DURATION_CH1 [2:0]	INRUSH_LIMIT_CH1 [3:0]	2x INRUSH_LIMIT_CH1 [3:0]

稳定状态 — 并联模式下的过流保护

在并联模式下，稳定状态运行时的即时关断过流保护 (I_{OCP}) 仅通过 ILIM_CONFIG_CH1 寄存器中的 ILIMIT_SET_CH1 位设置。并联运行时整个器件的有效值将约为 ILIMIT_SET_CH1 设置的两倍。

在稳定状态运行时，将使能两条通道的过流保护和热关断保护。如果任一通道的输出电流高于 ILIMIT_SET_CH1 设置，则两条通道都将关闭。

备注

并联模式下支持的最大 ILIMIT_SET_CH1 值为 20A。如果 CAP_CHRG_CH1 = 00，则并联模式下支持的最大 INRUSH_LIMIT_CH1 值为 20A。

稳定状态 — 并联模式下的 I2T 保护

在并联模式下，I2T 保护仅通过 I2T_CONFIG_CH1 寄存器进行设置。I2T 的 INOM 值通过 NOM_CUR_CH1 位设置，而并联运行时整个器件的有效值将约为 NOM_CUR_CH1 设置的两倍。I2T 阈值通过 I2T_TRIP_CH1 位设置，而并联运行时整个器件的有效值约为 I2T_TRIP_CH1 设置的四倍。ISWCL 值通过 ISWCL_CH1 位设置，而并联运行时整个器件的有效值约为 ISWCL_CH1 设置的两倍。

并联模式下使能 I2T 仅通过 ILIM_CONFIG_CH1 寄存器中的 I2T_EN_CH1 位完成。

对于 I2T 累加，仅使用通道 1 的电流检测。如果通道 1 超过 I2T_TRIP_CH1 值，则两条通道都将关断。

MANUAL_LPM — 并联模式

在并联模式下，通过 MANUAL_LPM_ENTRY 位进入 MANUAL_LPM。器件的运行方式与 MANUAL_LPM 部分中所述的单通道运行方式相同，但有以下例外：

- 对于 TPS2HCS10A-Q1，如果尚未使能通道，则器件仅在退出 MANUAL_LPM 时监测 AUTO_LPM_EXIT_CH1 设置，以确定在活动状态下是否需要开启通道。AUTO_LPM_EXIT_CH2 设置将被忽略。
- 器件会监测两条通道的输出电流，以确定器件何时退出 MANUAL_LPM 状态。如果任一通道输出电流超过 $I_{EXIT_LPM_MAN}$ 阈值，器件将退出 MANUAL_LPM 状态。为确保正常运行，需要将 MAN_LPM_EXIT_CURR_CH1 和 MAN_LPM_EXIT_CURR_CH2 设置设为相同的值。并联运行时整个器件的有效值约为 MAN_LPM_EXIT_CURR_CHx 设置的两倍。
- 对于 TPS2HCS10B-Q1，器件仅监测 DI1 引脚的变化以退出 MANUAL_LPM。

AUTO_LPM — 并联模式

在并联模式下，AUTO_LPM_ENTRY 位设置为 1 时，器件进入 AUTO_LPM。器件的运行方式与 AUTO_LPM 部分中所述的单通道运行方式相同，但有以下例外：

- 对于 TPS2HCS10A-Q1，如果未使能，则器件仅监测 AUTO_LPM_EXIT_CH1 以退出 AUTO_LPM 和开启通道。AUTO_LPM_EXIT_CH2 设置将被忽略。
- 器件会监测两条通道的输出电流，以确定器件何时应退出 AUTO_LPM 状态。如果任一通道输出电流超过 $I_{EXIT_LPM_AUTO}$ 阈值，器件将退出 AUTO_LPM 状态。并联运行时整个器件的有效值约为 $I_{EXIT_LPM_AUTO}$ 值的两倍。
- 对于 TPS2HCS10B-Q1，器件将仅监测 DI1 引脚的变化以退出 AUTO_LPM。

PWM — 并联模式

在并联模式下，PWM 设置仅通过 PWM_CH1 寄存器进行设置。PWM_SHIFT_DIS 位将被忽略，因为两条通道将同时开启。在并联模式下使能 PWM 通过 PWM_EN_CH1 位完成。

RON — 并联模式

每条通道的 RON 彼此略有不同，并会导致较小的负载不匹配。这是在电气特性中通过 ΔR_{ON} 参数指定的。

布局建议 — 并联模式

在并联模式下，输出通道的布线对于避免任何额外的负载不匹配非常重要。输出走线应对称，以避免可能导致输出通道电流消耗不均匀的任何额外电阻。

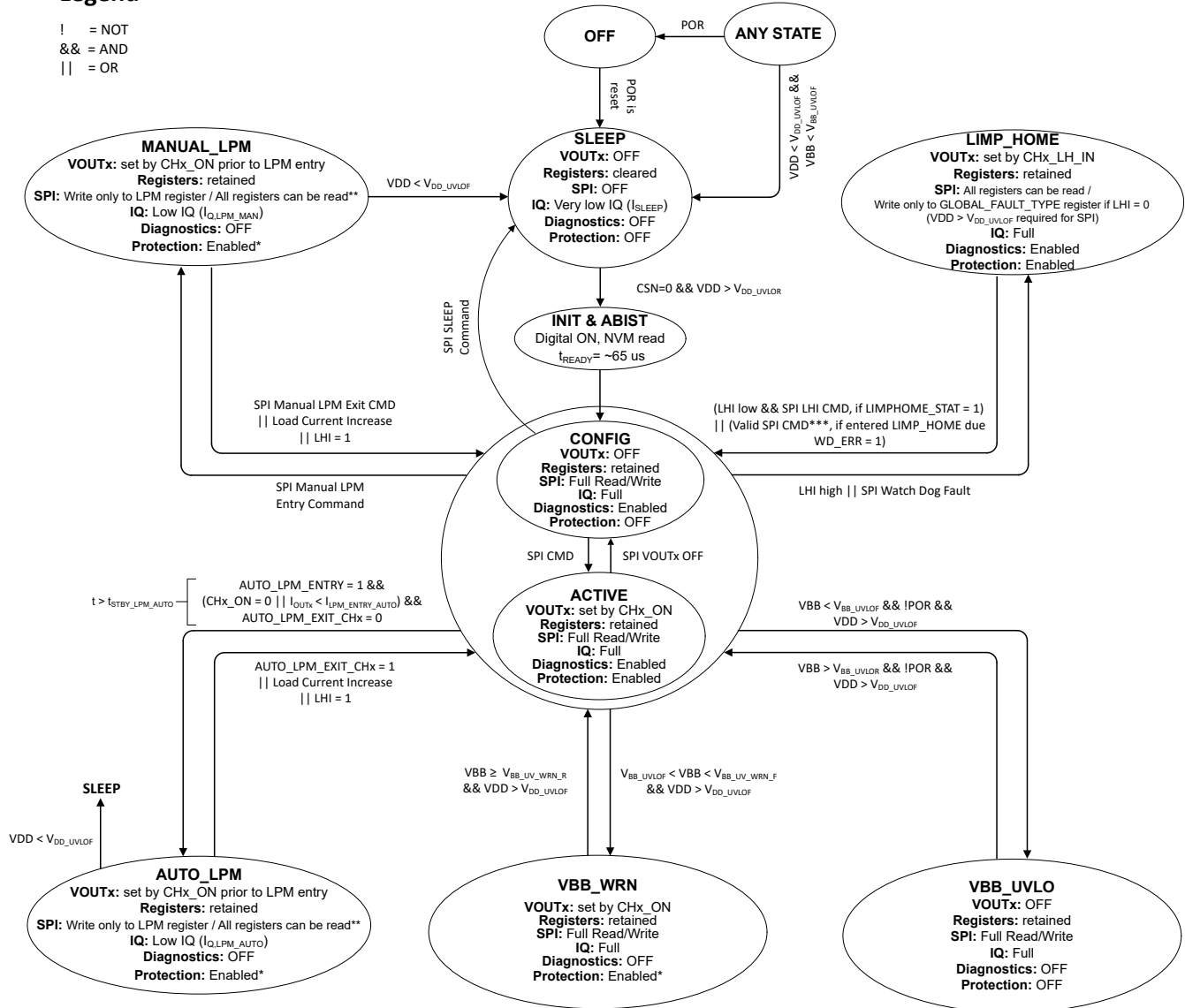
8.4 器件功能模式

8.4.1 状态图

该器件可以在三种主要的状态类别之间切换：低静态电流、正常运行和 Limp Home。在每个类别中，器件可以处于多种状态。TPS2HCS10A-Q1 器件的状态图如 图 8-21 中所示，TPS2HCS10B-Q1 器件的状态图如 图 8-22 中所示。

Legend

! = NOT
&& = AND
|| = OR



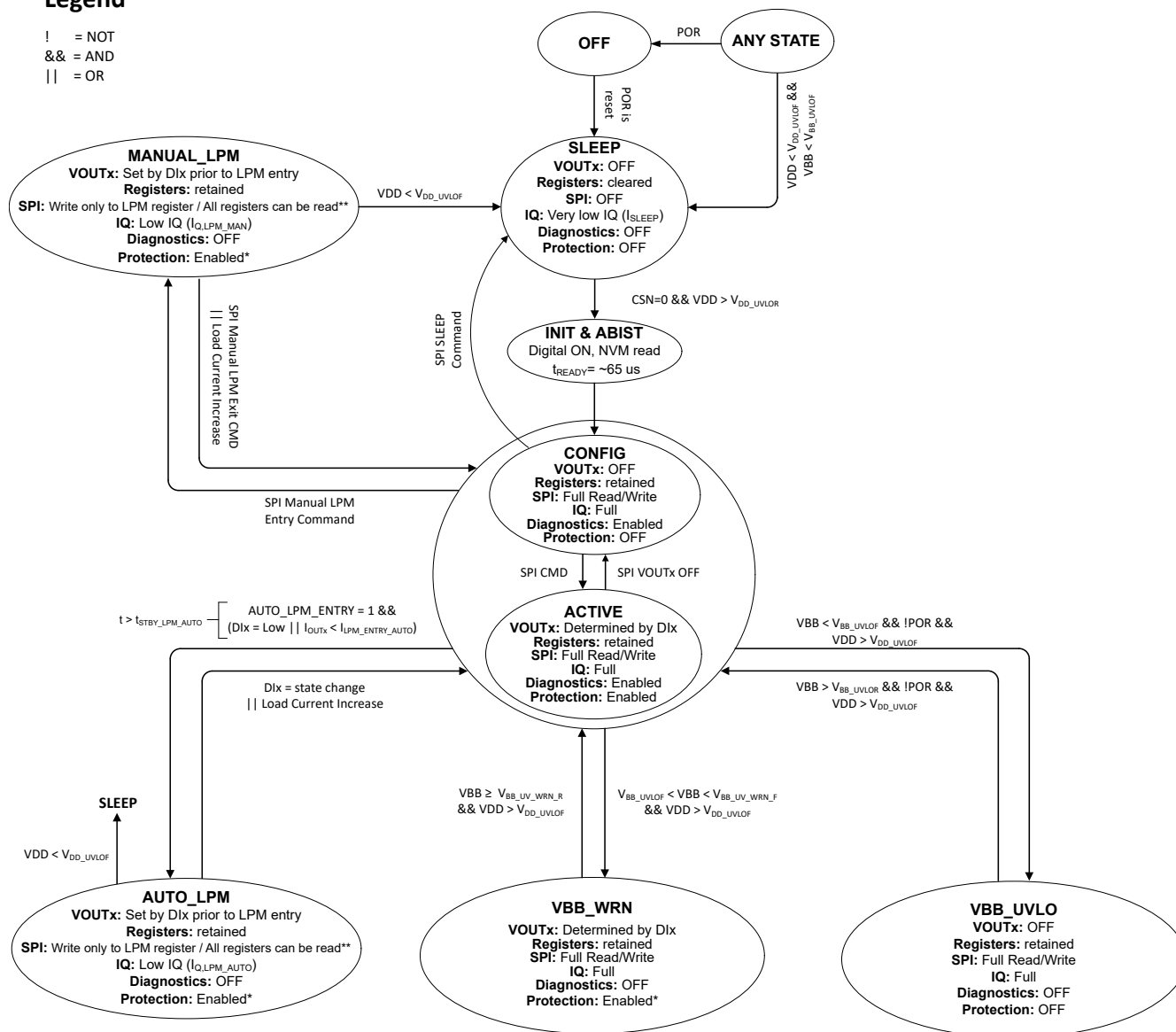
Notes:

- **Diagnostics** = I2T, any ADC sensing, off-state open load detection, or VBB short-to-supply
- **Protection** = Overcurrent protection (I_{OCP}), Thermal shutdown (T_{REL} or T_{ABS}), and I2T protection (if enabled) or LPM short-circuit ($I_{SCP,LPM}$) in LPM states
- * = I2T disabled
- ** = Registers can be read in both LPM modes but the registers values will not be updated
- *** = See "SPI watchdog function" section

图 8-21. 状态图 - 版本 A

Legend

! = NOT
&& = AND
|| = OR



Notes:

- **Diagnostics** = I2T, any ADC sensing, off-state open load detection, or VBB short-to-supply
- **Protection** = Overcurrent protection, Thermal shutdown (T_{REL} or T_{ABS})
- * = I2T disabled
- ** = Registers can be read in both LPM modes but the registers values will not be updated

图 8-22. 状态图 - 版本 B

8.4.2 输出控制

电子保险丝通道的控制因器件版本而有所不同。有关每个器件版本输出控制方法的更多详细信息，请参阅以下各部分。

输出控制 — 版本 A

TPS2HCS10A-Q1 为 ACTIVE 状态时电子保险丝输出的状态通过 SW_STATE 寄存器中的 CHx_ON 位进行控制。下面的表 8-4 展示了 TPS2HCS10A-Q1 器件在每种状态下的输出控制方法。

表 8-4. 不同状态下的输出控制 — TPS2HCS10A-Q1

状态	控制类型	输出控制说明
SLEEP	不适用	输出 OFF
CONFIG	SPI	输出 OFF
运行	SPI	通过 CHx_ON 设置
LIMP_HOME	SPI 或 DI 引脚	由 SPI 通过 CHx_LH_IN 位设置 有关输出控制设置的更多详细信息，请参阅节 8.4.7
AUTO_LPM	SPI	在进入 AUTO_LPM 之前通过 CHx_ON 设置
MANUAL_LPM	SPI	在进入 MANUAL_LPM 之前通过 CHx_ON 设置
VBB_WRN	SPI	通过 CHx_ON 设置
VBB_UVLO	不适用	输出 OFF

输出控制 — 版本 B

TPS2HCS10B-Q1 为 ACTIVE 状态时电子保险丝输出的状态仅通过通道 1 的 DI1 和通道 2 的 DI2 进行控制。SW_STATE 寄存器中的 CHx_ON 位对 TPS2HCS10B-Q1 的输出状态没有影响。下面的表 8-5 展示了 TPS2HCS10B-Q1 器件在每种状态下的输出控制方法。

表 8-5. 不同状态下的输出控制 — TPS2HCS10B-Q1

状态	控制类型	输出控制说明
SLEEP	不适用	输出 OFF
CONFIG	Dlx	输出 OFF
运行	Dlx	通过 Dlx 引脚设置
AUTO_LPM	Dlx	在进入 AUTO_LPM 之前通过 Dlx 引脚设置
MANUAL_LPM	Dlx	在进入 MANUAL_LPM 之前通过 Dlx 引脚设置
VBB_WRN	Dlx	通过 Dlx 引脚设置
VBB_UVLO	不适用	输出 OFF

8.4.3 SPI 模式运行

TPS2HCS10-Q1 通过高速 SPI 串行接口与主机控制器进行通信。该接口具有三个逻辑输入：时钟 (CLK)、芯片选择 (\overline{CS})、串行数据输入 (SDI)，以及一个数据输出 (SDO)。当 \overline{CS} 引脚为高电平时，SDO 引脚处于三态。最大 SPI 时钟速率为 8MHz，但在实践中受到串联保护电阻器的限制。

该器件支持简单菊花链 SPI。该模式可以使用或不使用 CRC。

TPS2HCS10-Q1 IC 与控制器或 MCU 之间的通信通过采用主-辅配置的 SPI 总线实现。外部 MCU 始终是 SPI 主器件，它在 TPS2HCS10-Q1 IC 的 SDI 引脚上发送命令请求，并在该 IC 的 SDO 引脚上接收器件响应。TPS2HCS10-Q1 器件始终是 SPI 辅助器件，它通过 SDI 线路接收命令请求并通过 SDO 线路向外部 MCU 发送响应（例如状态和测量值）。

TPS2HCS10-Q1 器件可以按照以下形式连接到主 MCU：

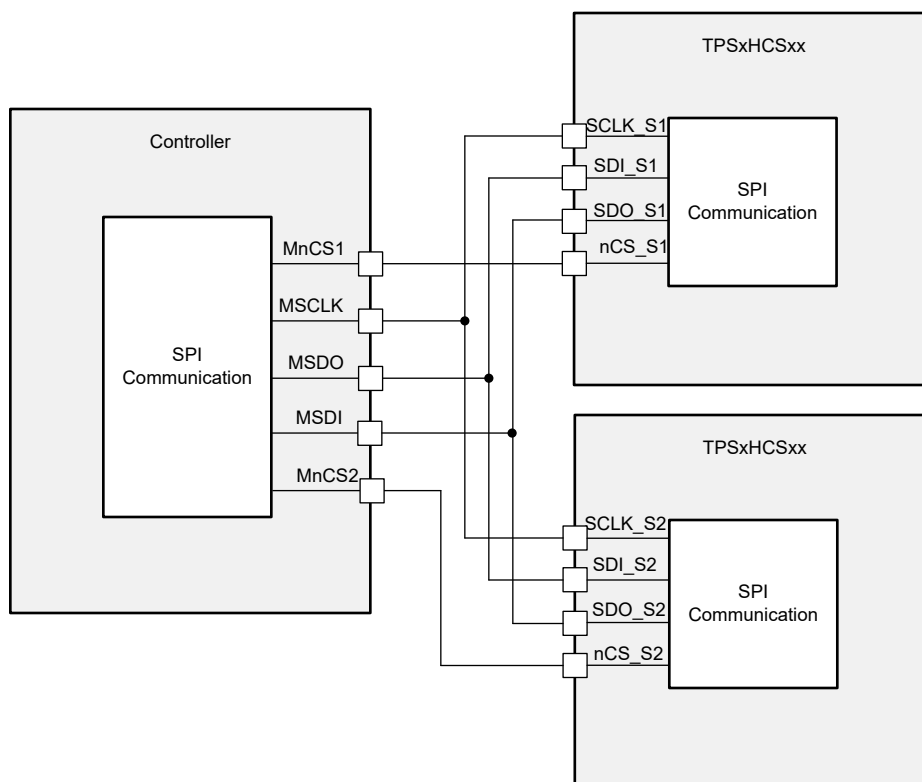


图 8-23. 独立辅助配置 (独立 nCS 信号)

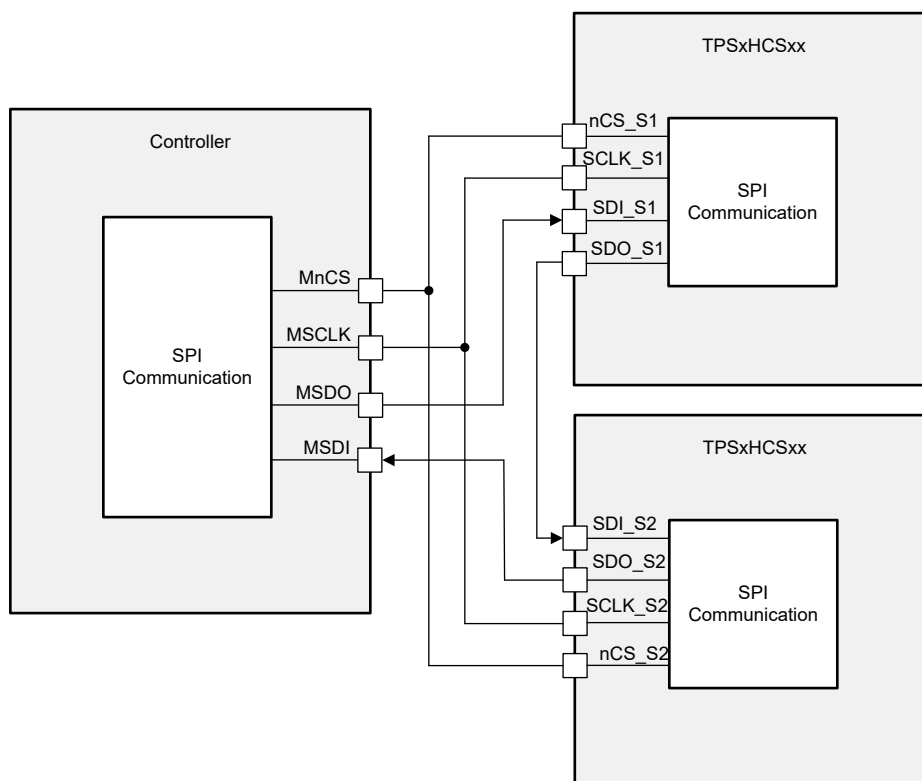


图 8-24. 菊花链配置

SPI 接口

本节介绍 SPI 接口引脚行为

片选 ($\overline{\text{CS}}$ 或 nCS)

系统微控制器选择 TPS2HCS10-Q1，以使用 $\overline{\text{CS}}$ 引脚接收通信。当 $\overline{\text{CS}}$ 引脚处于逻辑低电平状态时，命令/配置字能够通过串行输入 (SDI) 引脚发送至 TPS2HCS10-Q1，并且微控制器可以通过串行输出 (SDO) 引脚检索器件信息。 $\overline{\text{CS}}$ 的下降沿启用 SDO 输出并锁存将在 SDO 上发送的 GLOBAL_FAULT_TYPE 寄存器的内容。微控制器可以发出 READ 命令以检索存储在寄存器中的信息。 $\overline{\text{CS}}$ 引脚的上升沿发起以下操作：

1. 如果没有 SPI 通信错误并且是 SPI 写入命令，则会更新已寻址的寄存器。
2. 如果在 $\text{CS} = \text{LOW}$ 期间向该寄存器发出读取命令，则读取清除寄存器将被清除。

为了避免任何数据损坏， $\overline{\text{CS}}$ 信号的高电平到低电平和低电平到高电平转换只能在 SCLK 处于逻辑低电平状态时发生。需要干净的 $\overline{\text{CS}}$ 信号来验证是否未向器件发送不完整的 SPI 字。此引脚在内部上拉至 VDD 电源轨。

时钟源

系统时钟 (SCLK) 引脚为 TPS2HCS10-Q1 的内部移位寄存器计时。在 SCLK 信号的下降沿，SDI 数据锁存到输入移位寄存器中。在 SCLK 的上升沿，SDO 引脚移出器件存储的信息。在 SCLK 的下降沿，SDO 数据可供微控制器读取。

必须避免移位寄存器的时钟故障以确保数据的有效性。每当 $\overline{\text{CS}}$ 引脚进行任何转换时，SCLK 引脚都必须处于逻辑低电平状态。因此，建议只要未访问器件且 $\overline{\text{CS}}$ 引脚处于逻辑高电平状态，就将 SCLK 引脚拉至逻辑低电平状态。当 $\overline{\text{CS}}$ 处于逻辑高电平状态时，将忽略 SCLK 和 SDI 引脚上的任何信号，并且 SDO 引脚将保持高阻抗输出。

串行数据输入 (SDI) 和串行数据输出 (SDO)

SDI 引脚用于串行指令数据输入。当 $\overline{\text{CS}}$ 为低电平时，SDI 信息在 SCLK 的下降沿会锁存到输入移位寄存器中。

SDO 引脚是内部移位寄存器的输出。此引脚在内部上拉至 VDD 电源轨。当 $\overline{\text{CS}}$ 引脚为高电平时，SDO 引脚处于高阻抗状态。每个连续的 SCLK 上升沿都使下一个数据位可供微控制器在 SCLK 的下降沿读取。当 $\overline{\text{CS}}$ 为高电平时，SDO 将恢复为高阻抗。

CRC 错误检测和时钟检查

将 CRC_EN 位设置为高电平将启用 CRC 错误检测。然后会随每个串行事务一起发送 CRC-4-ITU-Normal Check Sequence (FCS)。4 位 CRC 基于普通发生器多项式 X^4+X+1 ，CRC 起始值为 1111。启用 CRC 后，TPS2HCS10-Q1 要求在其接收的 SDI 编程/配置数据末尾附加一个校验字节。

要对一个完整的字进行编程，必须在器件中输入确切的信息位（如下表所示）。禁用 CRC 后，仅当恰好有位在时钟沿输入时，IC 才会启用寄存器写入。启用 CRC 后，仅当恰好有位在时钟沿输入且没有 CRC 错误时，IC 才会启用寄存器写入。如果字长超过或不满足所需的长度要求或存在 CRC 错误，则 GLOBAL_FAULT_TYPE 寄存器中的 SPI_ERR 位将置为逻辑“1”，接收到的数据被视为无效。请注意，如果 SCLK 不存在，则不会标记 SPI_ERR 位。在下次芯片访问期间，SPI_ERR 将发送回 SDO 上的 SPI 主器件。请注意，仅当读取寄存器时没有 SPI 错误时，才会应用“读取时清除”。

SPI 帧格式

该器件使用 24 位帧宽度（未使用 CRC 时），格式如图 8-25 中所示。请注意，SDO 输出中的 16 位宽“数据输出”始终适用于前一个 SPI 命令帧（读取或写入）。

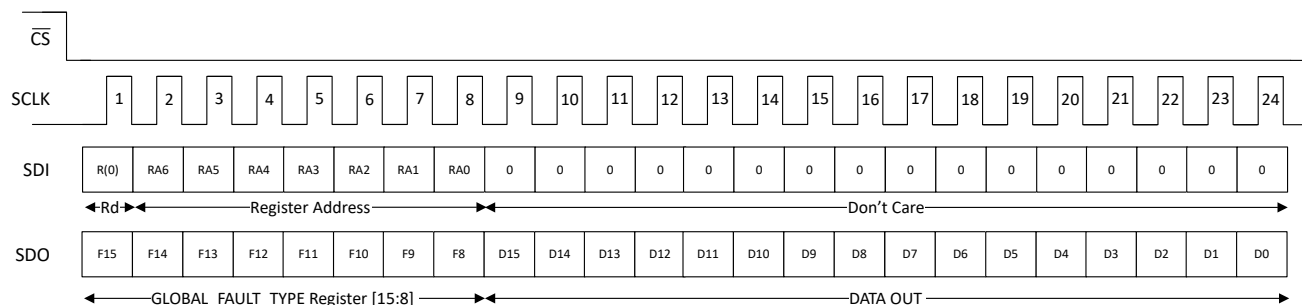


图 8-25. 24 位读取、禁用 CRC (CRC_EN=0)

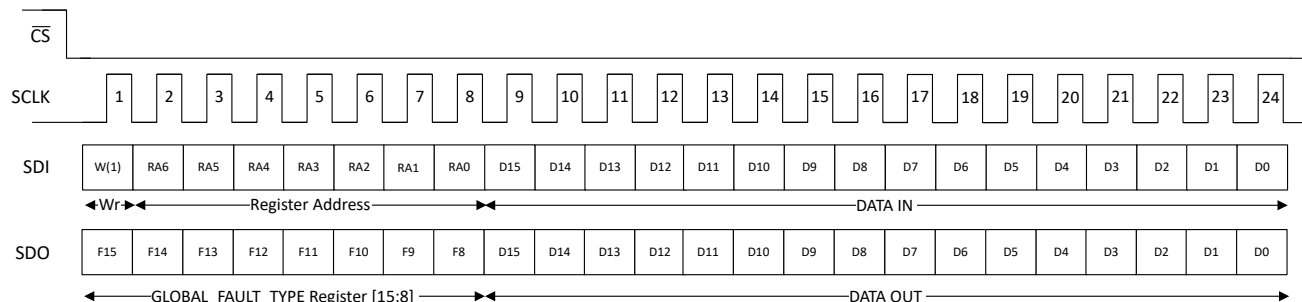


图 8-26. 24 位写入、禁用 CRC (CRC_EN=0)

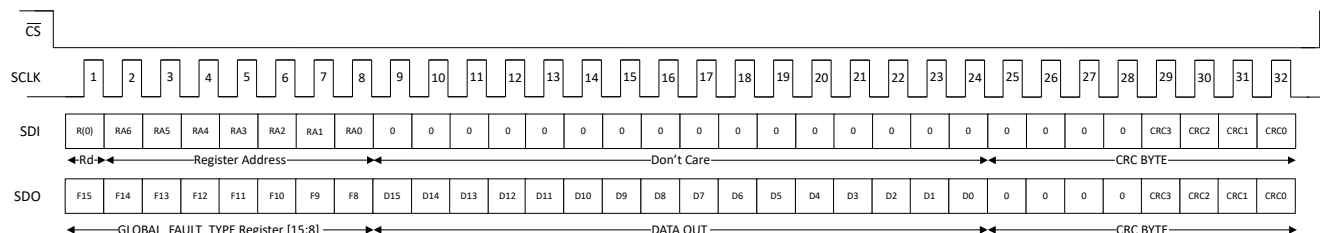


图 8-27. 32 位读取、启用 CRC (CRC_EN=1)

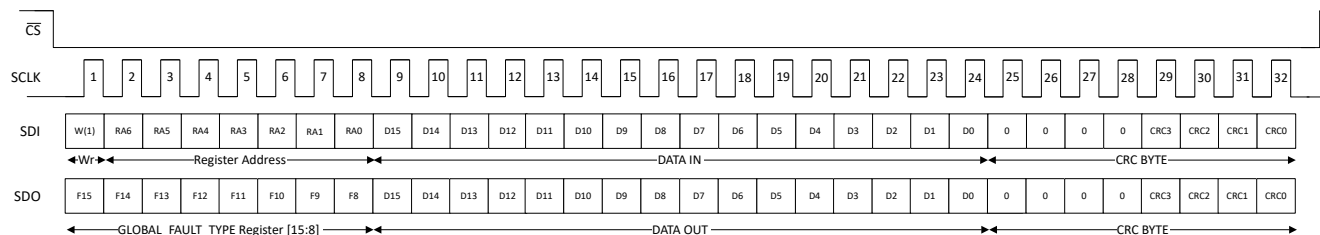


图 8-28. 32 位写入、启用 CRC (CRC_EN=1)

GLOBAL_FAULT_TYPE [15:8] 位

TPS2HCS10-Q1 器件在 SDO 接头上输出 GLOBAL_FAULT_TYPE [15:8] 位，因此这些状态位可以在每次 SPI 事务期间持续读取 THR。可以根据 DEV_CONFIG 寄存器中的 FLT_LTCH_DIS 位设置，将 GLOBAL_FAULT_TYPE [15:8] 位配置为读取清除或实时状态位。但是，FLT_LTCH_DIS 位不适用于 LPM_STATUS 位。

如果 FLT_LTCH_DIS = 0，则故障位将锁存，并且仅在读取位说明中的相关寄存器并且故障不再存在时才会清除。下面的表 8-6 重点介绍了在故障不再存在时需要读取哪些寄存器以便清除每个不同的故障位。寄存器映射中的每个位说明也详细说明了这一点。

表 8-6. GLOBAL_FAULT_TYPE [15:8] 在 FLT_LTCH_DIS = 0 时的位行为

位编号	位名称	如果故障不再存在，则需要读取该寄存器以清除故障位
15	保留	不适用
14	保留	不适用
13	CH2_FLT	FLT_STAT_CH2
12	CH1_FLT	FLT_STAT_CH1
10	CHAN_OCP_I2T_TSD	FLT_STAT_CHx
9	OL_SHRT_VBB_OFF_FLT	FLT_STAT_CHx
8	GLOBAL_ERR_WRN	GLOBAL_FAULT_TYPE

如果 FLT_LTCH_DIS = 1，则不会锁存故障位，并在故障不再存在时清除。

图 8-29 突出显示了器件在 GLOBAL_FAULT_TYPE [15:8] 位中的 FLT_LTCH_DIS 功能。

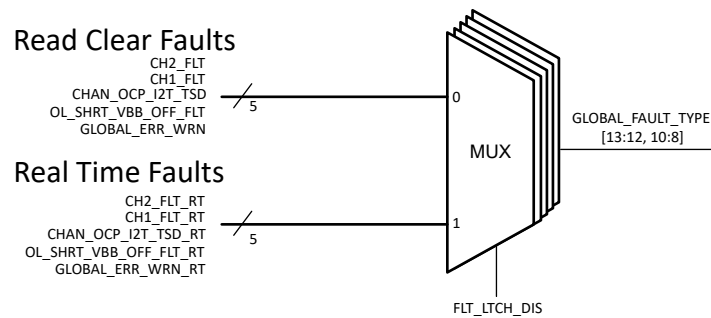


图 8-29. FLT_LTCH_DIS 实现

SPI 看门狗功能

TPS2HCS10-Q1 器件提供可选的 SPI 看门狗功能，以监控主机控制器的有效 SPI 事务和 VDD 电源丢失情况。如果在可配置的超时周期 WD_TO 内没有发生有效的 SPI 事务，FLT 引脚将变为低电平，GLOBAL_FAULT_TYPE 寄存器中的 WD_ERR 位将设置为 1。有效的 SPI 事务包括没有 SPI 错误和/或 CRC 错误（如果启用）的 SPI 事务。如果器件的 VDD 电源降至 VDD_UVLO 阈值以下，则器件上的 SPI 不工作。如果 VDD 电源保持低于 VDD_UVLO 的时间长于看门狗时间周期，器件将发出看门狗错误，其中 WD_ERR 位将设置为 1，FLT 引脚将变为低电平。

可通过 DEV_CONFIG 寄存器中的 WD_EN 位启用看门狗功能。下面的表 8-7 展示了不同的可配置看门狗超时窗口 WD_TO。

表 8-7. 看门狗超时设置

WD_TO 设置	看门狗超时周期
00	400μs
01	400ms
10	800ms
11	1200ms

根据版本的不同，看门狗的工作方式也不同。请参阅以下各节，了解 TPS2HCS10A-Q1 和 TPS2HCS10B-Q1 的看门狗的工作原理。

SPI 看门狗运行 - TPS2HCS10A-Q1

如果启用看门狗功能 ($WD_EN = 1$) 并且发生看门狗错误, 则由于看门狗超时窗口中没有有效的 SPI 事务, 或由于 VDD 电源丢失, WD_ERR 将设置为 1, FLT 引脚将变为低电平, 并且器件将转换到 $LIMP_HOME$ 状态, 在该状态下, 通道的输出控制将由 DEV_CONFIG 寄存器中的 CHx_LH_IN 位进行设置。请注意, 由于出现看门狗错误, $LIMPHOME_STAT$ 位不会设置为 1。检测到有效的 SPI 事务后, FLT 引脚将变为高电平, 并且器件将自动退出 $LIMP_HOME$ 状态并将通道的输出控制恢复到 CHx_ON 位。由于出现 SPI 看门狗超时错误, $GLOBAL_FAULT_TYPE$ 寄存器中的 WD_ERR 位将锁存为 1, 并且只有在读取且该错误不再存在后才会被清除。

SPI 看门狗运行 - TPS2HCS10B-Q1

如果启用了看门狗功能 ($WD_EN = 1$) 并且发生看门狗错误。则由于看门狗超时窗口中没有有效的 SPI 事务或由于 VDD 电源丢失, WD_ERR 将设置为 1 并且 FLT 引脚将变为低电平。看门狗错误不会导致输出状态发生变化, 通道的输出控制将继续单独遵循 DIX 。检测到有效的 SPI 事务后, FLT 引脚将变为高电平。由于出现 SPI 看门狗超时错误, $GLOBAL_FAULT_TYPE$ 寄存器中的 WD_ERR 位将锁存为 1, 并且只有在读取且该错误不再存在后才会被清除。

8.4.4 故障报告

该器件通过 \overline{FLT} 状态引脚提供增强的故障报告, 并通过 SPI 提供故障状态位。

\overline{FLT} 状态引脚允许器件在器件发生故障时中断系统。 \overline{FLT} 状态引脚是一个开漏输出, 当器件发生故障时, 该引脚将置为低电平。对于读取清除的故障, 如果故障不再存在, 并且读取了用于清除故障的特定寄存器, \overline{FLT} 引脚将变为高电平。可以通过 $FAULT_MASK$ 寄存器屏蔽 \overline{FLT} 引脚上的某些故障指示。有关更多详细信息, 请参阅 $FAULT_MASK$ 寄存器。

该器件还通过 SPI 以及全局故障寄存器 ($GLOBAL_FAULT_TYPE$) 和特定于通道的故障寄存器 (FLT_STAT_CHx) 来提供故障信息, 使系统能够快速诊断器件中发生故障的原因。该器件在 SDO 标头上输出 $GLOBAL_FAULT_TYPE$ [15:8] 位, 以便为每个 SPI 事务连续读取这些状态位。

有关每个单独故障状态位的更多详细信息, 请参阅寄存器映射中的 $GLOBAL_FAULT_TYPE$ 和 FLT_STAT_CHx 寄存器。

表 8-8 突出显示了该器件如何通过 \overline{FLT} 引脚和故障状态位发出不同事件信号。

当器件处于低功耗模式时, 无法通过 \overline{FLT} 引脚提供故障信息。如果在 LPM 模式下发生短路, 该器件将保护自身, 然后转换到 ACTIVE 状态, 再在 \overline{FLT} 引脚和故障状态寄存器中发出故障信号。

表 8-8. 故障报告表

事件/故障		检测	保护	GLOBAL_FAULT_TYPE 报告	FLT_STAT_CHx 报告	FLT 指示
FET - 过热警告		Y	N	CHx_FLT ¹	THERMAL_WRN_CHx ¹	N
FET - 温度关断 (TSD)		Y	Y	CHx_FLT ¹ 和 CHAN_OCP_I2T_TSD ¹	THERMAL_WRN_CHx ¹	Y
I _{OC} P - 立即关断		Y	Y	CHx_FLT ¹ 和 CHAN_OCP_I2T_TSD ¹	ILIMIT_CHx ¹	Y
I _{CL} _REG - 电流限制调节		Y	Y	不适用	不适用	N
I _{CL} _REG - 电流限制调节 - 到达浪涌期		Y	Y	CHx_FLT ¹ 和 CHAN_OCP_I2T_TSD ¹	ILIMIT_CHx ¹	Y
I _{CL} _REG - 电流限制调节 - TSD		Y	Y	CHx_FLT ¹ 和 CHAN_OCP_I2T_TSD ¹	ILIMIT_CHx ¹ 和 THERMAL_SD_CHx ¹	Y
T _{RETRY} 中的通道 (LATCH_CHx = 0)		Y	不适用	不适用	FLT_CHx	Y
通道锁存 (LATCH_CHx = 1)		Y	不适用	不适用	LATCH_STAT_CHx 和 FLT_CHx	Y
进入 Limp Home 模式 (LHI = 1)		Y	不适用	GLOBAL_ERR_WRN ¹ 和 LIMPHOME_STAT ²	不适用	N
活动 I2T 累积或递减		Y	不适用	不适用	I2T_MOD_CHx	N
I2T 关断		Y	Y	CHx_FLT ¹ 和 CHAN_OCP_I2T_TSD ¹	I2T_FLT_CHx ¹ 和 FLT_CHx	Y
VOUT 短路至 VBB		Y	N	CHx_FLT ¹ 和 OL_SHRT_VBB_OFF_FLT ¹ (如果 OL_SVBB_EN_CHx = 01)	OL_OFF_CHx ¹ (如果 OL_SVBB_EN_CHx = 01)	Y (除非被屏蔽)
负载开路	关断状态	Y	N	CHx_FLT ¹ 和 OL_SHRT_VBB_OFF_FLT ¹ (如果 OL_SVBB_EN_CHx=10)	OL_OFF_CHx ¹ (如果 OL_SVBB_EN_CHx=10)	Y (除非被屏蔽)
	导通状态	Y	N	不适用	不适用	N
电池反向		Y	Y, 外部组件	不适用	不适用	N
VBB UV 警告		Y	N	GLOBAL_ERR_WRN ¹ 和 VBB_UV_WRN ¹	不适用	N
VBB_UVLO		Y	Y	GLOBAL_ERR_WRN ¹ 和 VBB_UVLO ¹	不适用	Y
VDD_UVLO		Y	Y	GLOBAL_ERR_WRN ¹ 和 VDD_UVLO ¹	不适用	N
上电复位 (POR)		Y	Y	GLOBAL_ERR_WRN ¹ 和 POR ¹	不适用	Y
接地失效		Y	Y、R _{SDO} ≥ 768 Ω	不适用	不适用	N
SPI 看门狗错误		Y	不适用	GLOBAL_ERR_WRN ¹ 和 WD_ERR ¹ (如果 WD_EN = 1)	不适用	Y (除非被屏蔽)
SPI 帧错误		Y	不适用	GLOBAL_ERR_WRN ¹ 和 SPI_ERR ¹	不适用	Y (除非被屏蔽)

表 8-8. 故障报告表 (续)

事件/故障	检测	保护	GLOBAL_FAULT_TYPE 报告	FLT_STAT_CHx 报告	FLT 指示
SPI CRC 错误	Y	不适用	GLOBAL_ERR_WRN ¹ 和 SPI_ERR ¹ (如果 CRC_EN = 1)	不适用	Y (除非被屏蔽)

1. 读取清除 (RC) 故障位
2. 写入 1 以清除 (W1C) 位。

8.4.5 SLEEP

TPS2HCS10-Q1 器件提供 SLEEP 状态，在该状态下，该器件将被置于超低电流消耗状态。当器件处于 SLEEP 状态时，两个通道都将关闭，寄存器清零并且所有数字电路都将断电。如果 $V_{BB} < V_{BB_UVLO}$ 且 $V_{DD} < V_{DD_UVLO}$ ，或者 V_{DD} 在 MANUAL_LPM 或 AUTO_LPM 状态下下降至 V_{DD_UVLO} 以下，该器件将转换为此状态。通过向 SLEEP 寄存器中的 SLEEP 位写入 1，可以手动将器件置于 SLEEP 状态。

通过将 CSN 引脚变为低电平，可以将器件从 SLEEP 状态唤醒。可以采用两种方法，来通过 CSN 引脚将器件从 SLEEP 状态唤醒：

1. 将 CSN 引脚拉至低电平，持续时间 $t < t_{READY}$
2. 将 CSN 引脚保持为低电平至少 t_{READY} ，并继续通过第一个 SPI 事务将 CSN 引脚保持为低电平

上述两种方法都会导致器件在没有 SPI_ERR 故障的情况下唤醒。如果虚拟 SPI 事务在 $t < t_{READY}$ 内完成，则可以使用虚拟 SPI 事务来对方法 1 进行标准化。下面的图 8-30 显示了两个将导致没有 SPI_ERR 故障的正确的唤醒场景示例，以及一个将导致 SPI_ERR 故障的不正确的唤醒场景。

从 SLEEP 状态唤醒后，寄存器中的值将设置为其复位值，详见下面的寄存器映射。此外，FLT 引脚将被置为低电平，POR、VDD_UVLO 和 VBB_UVLO 故障位将被置位，并且如果读取时这些故障当前不存在，则在读取 GLOBAL_FAULT_TYPE 寄存器时将清除这些位。

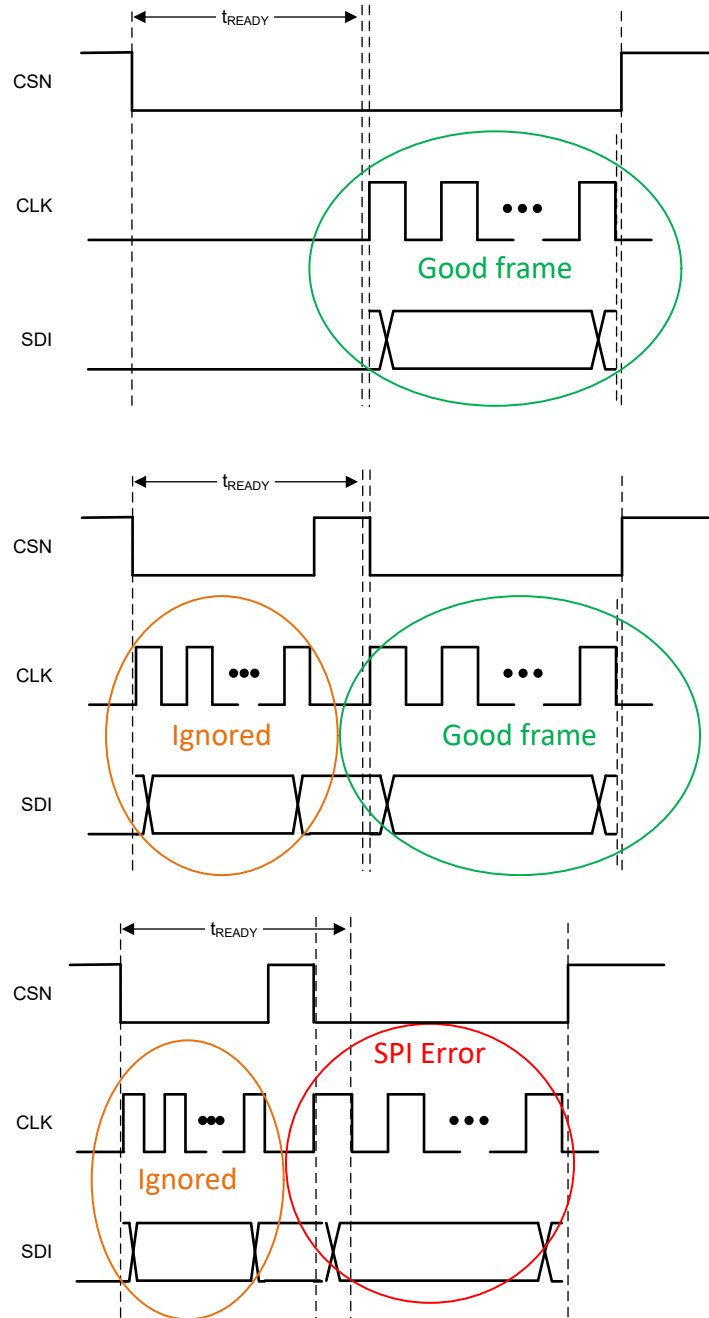


图 8-30. 启动通信时序

8.4.6 CONFIG/ACTIVE

在 CONFIG/ACTIVE 状态下，当输出关闭 (CONFIG) 或开启 (ACTIVE) 时，器件会在正常运行期间保持不变。两者之间的区别在于，在 CONFIG 状态（输出关闭）下，所有寄存器都可以配置。在输出导通的 ACTIVE 状态下，无法更改通道的并行配置（DEV_CONFIG 寄存器中的 PARALLEL_12 位）。从 SLEEP 状态转换时（并且所有寄存器都丢失），预计会在导通输出之前写入配置寄存器（尤其是成功启用通道所需的寄存器）。但是，配置寄存器在 LPM 状态下会保留，因此在从 LPM 状态切换到 ACTIVE 状态时无需重新配置器件。VBB ($I_{Q,VBB}$) 和 VDD ($I_{Q,VDD}$) 的静态电流消耗高于其他状态的静态电流消耗，以支持负载和器件诊断。在此状态下完全支持 SPI 通信和诊断检查。

通过 CSN 引脚变为低电平，可以将器件从 SLEEP 状态转换到 CONFIG 状态（虚拟 SPI 命令用于此目的）。该器件会通过所有初始化和功能安全检查完成此转换。器件会根据内部 SPI 看门狗监控器和 LHI 输入引脚的状态，从 LIMP HOME 状态转换或转换为该状态。通过写入 LPM 寄存器，器件可以进入和退出 LPM 状态。

在 CONFIG 状态下，器件利用栅源下拉，在通道启用和禁用时实现配置的压摆率。因此，当通道关断时，有一条到 VOUT 的 $1\mu\text{A}$ 偏置路径，从而产生到 VOUT 的 $1\mu\text{A}$ 漏电流。如果输出端无负载，这可能会导致输出浮动。要降低开路负载 VOUT 电压，可启用 $R_{\text{SHRT_VBB}}$ 下拉电阻，以将输出电压降至低电平。可通过 CHx_CONFIG 寄存器中的 OL_SVBB_EN_CHx [1:0] 位，启用 $R_{\text{SHRT_VBB}}$ 下拉电阻。在 SLEEP 和 LPM 状态下，为了实现超低 IQ，器件不使用栅极到地下拉电路，因此在这些状态下不存在 $1\mu\text{A}$ 偏置路径。

8.4.7 LIMP_HOME 状态 (仅限版本 A)

LIMP_HOME 状态旨在 SPI 通信失败（如果 WD_EN=1）、VDD 电源丢失（如果 WD_EN = 1）或另一个系统级故障导致 LHI 引脚变为高电平时，将输出置于所需的安全状态。当 ECU 检测到系统级故障时，系统控制器会将 LHI 引脚升高至高电平，以向器件发出信号，使其进入 LIMP_HOME 状态。如果器件检测到 SPI 看门狗超时错误，因此发生 SPI 通信错误，则器件会进入 LIMP HOME 状态。在这两种情况下，输出状态均通过 DEV_CONFIG 寄存器的 CHx_LH_IN 位按照每个通道的方式指定。CHx_LH_IN 位的设置详见表 8-9。

表 8-9. CHx_LH_IN 位设置

设置	设置说明
00	处于 LIMP_HOME 状态时，输出状态由 DI 引脚设置 <ul style="list-style-type: none"> 如果 DI = HI，则 CHx = ON（处于 LIMP_HOME 状态） 如果 DI = LO，则 CHx = OFF（处于 LIMP_HOME 状态）
01	进入 LIMP_HOME 状态时，从 CHx_ON 位保持相同的输出状态
10	输出将在 LIMP_HOME 状态下关闭
11	输出将在 LIMP_HOME 状态下导通

将在 LIMP HOME 状态下保持寄存器值，这意味着适当的过流保护阈值、持续时间和重试行为均根据 CHx_LH_IN 位对应状态的输出进行设置。如果由于 LHI 引脚变为高电平，器件进入 LIMP_HOME 状态，则 GLOBAL_FAULT_TYPE 寄存器中的 LIMPHOME_STAT 位将设置为 1，以便让 MCU 或控制器知道器件处于 LIMP HOME 状态。在器件退出 LIMP HOME 状态之前，MCU 无法对任何寄存器进行写入。

如果由于 LHI 变为高电平，导致器件进入 LIMP_HOME 状态，则当 LHI 引脚变为低电平时，器件会切换退出 LIMP_HOME 状态，并向 GLOBAL_FAULT_TYPE 寄存器中的 LIMPHOME_STAT 位写入 a。在 LIMP HOME 状态下保持寄存器设置，并且器件在 ACTIVE 状态下切换回正常运行状态。

如果器件由于 SPI 看门狗超时错误而进入 LIMP_HOME 状态，则会根据 CHx_LH_IN 位设置输出，但 LIMPHOME_STAT 位不会设置为 1。如果检测到有效的 SPI 事务，器件将自动退出 LIMP_HOME 状态。由于 SPI 看门狗超时错误，GLOBAL_FAULT_TYPE 寄存器中的 WD_ERR 位将锁存为 1，并且只能在读取后清除，该错误不再存在。

如果 $VDD < VDD_UVLO$ ，那么当 LHI = 1 时，器件仍可以通过 LHI 输入切换到 LIMP_HOME 状态。

LIMP HOME 状态异常

该器件可以在电容充电或浪涌持续时间内接收 LHI 信号。如果所需的状态是导通，则器件继续按照编程寄存器值进行电容充电。如果所需的状态是关断，则关闭通道。

在 LIMP_HOME 状态下，如果发生导致过流故障 (ILIMIT_CHx) 或热关断故障 (THERMAL_SD_CHx) 的短路，并且如果通道通过 CHx_LH_IN 位配置为导通，则无论 LATCH_CHx 位设置如何，输出通道都将继续重试。在 LATCH_CHx = 1 且输出通道因过流故障或热关断故障而锁闭，并且器件通过 LHI = 1 或看门狗故障（如果

WD_EN = 1) 进入 LIMP_HOME 状态的情况下, 如果通道通过 CHx_LH_IN 位配置为导通, 则无论 LATCH_CHx 设置如何, 通道都将重新启用并继续重试 (如果持续存在短路)。

在 LIMP_HOME 状态, 如果通道上应发生 I2T 故障 (I2T_FLT_CHx) 且 TCLDN_CHx = 00 (无限冷却), 则通道将保持无限冷却状态, 即使通道通过 CHx_LH_IN 位配置为导通, 也不会重试。如果在 ACTIVE 状态下发生 I2T 故障且 TCLDN_CHx = 00 (无限冷却), 并且器件通过 LHI = 1 或看门狗故障 (如果 WD_EN = 1) 进入 LIMP_HOME 状态, 则通道将保持无限冷却状态, 即使通道通过 CHx_LH_IN 位配置为导通, 也不会重试。

8.4.8 电池电源输入 (VBB) 欠压

该器件包含电池电源 (VBB) 欠压监控和 VDD 欠压监控功能。当 VBB 电源电压降至低于 V_{BB_UVLOF} 阈值时, 一些内部基准、稳压器和输出 FET 会被关断。当输入 VBB 电源丢失时, 器件依靠 VDD 电源输入来保持数字功能和寄存器运行。只要 VDD 输入高于 V_{DD_UVLOF} , SPI 通信就可用。如果 $VDD < V_{DD_UVLOF}$ 且 $VBB > V_{BB_UVLOF}$, 则在 LHI = 1 时, 器件仍能够进入 LIMP_HOME 状态。VBB_UVLO 故障和 VDD_UVLO 位可通过 SPI 从 GLOBAL_FAULT_TYPE 寄存器中读取。如果 VBB_UVLO 和 VDD_UVLO 故障位的其中任何一个发生故障, 这两个位都会被锁存, 如果 UVLO 条件不再存在, 则会在读取时清除它们。下表显示了失电条件下的器件运行情况。

表 8-10. 失电条件下的器件运行情况

	VDD < VDD_UVLO	VDD > VDD_UVLO
VBB < VBB_UVLO	<ul style="list-style-type: none"> 通道关闭 寄存器复位且数字内核关闭 无法进行 SPI 通信 	<ul style="list-style-type: none"> 通道关闭 寄存器保持不变, 数字内核导通 可进行 SPI 通信
VBB > VBB_UVLO	<ul style="list-style-type: none"> 如果 WD_EN = 1 且 LHI = 0 <ul style="list-style-type: none"> 到达看门狗超时时间后, 器件将处于 LIMP_HOME 状态, 通道输出状态由 CHx_LH_IN 位设置。 如果 WD_EN = 0 且 LHI = 0 <ul style="list-style-type: none"> 通道基于 CHx_ON 设置 寄存器保持不变, 数字内核导通 当 VDD < VDD_UVLO 时, 如果 LHI = 1, 器件仍然能够进入 LIMP_HOME 状态 无法进行 SPI 通信 	<ul style="list-style-type: none"> 通道输出状态由 CHx_ON 位设置。 寄存器保持不变, 数字内核导通 可进行 SPI 通信

当 VBB 和 VDD 电源分别低于 POR 和 UVLO 条件时, 寄存器信息可能会丢失。器件能够通过对 GLOBAL_FAULT_TYPE 寄存器中的 POR 位进行寄存器读取来指示发生了数字复位。这将确保 SPI 主器件可以识别寄存器内容全部丢失, 并且需要重新写入配置寄存器。建议在检测到任何欠压故障时读取该位。

接地短路期间的 V_{BB}

当 V_{OUT} 接地短路时, 模块电源 (V_{BB}) 可能会瞬态降低。这是由于流过线束电缆的电流突然增加所致。为了实现理想的系统行为, 建议在 V_{OUT} 接地短路期间, 模块应将 V_{BB} 保持在最大 V_{BB_UVLOF} 阈值以上。这通常是通过在模块电源节点 (V_{BB}) 上放置大容量电容来实现的。

8.4.9 低功耗模式 (LPM) 状态

该器件提供两种低功耗模式 (LPM) 状态, 在这两种状态下, 器件可以保持导通状态, 但器件会在低静态电流 (IQ) 状态下运行, 以延长电池寿命。该器件提供手动 LPM (MANUAL_LPM) 状态, 可通过 SPI 写入 LPM 寄存器进入该状态, 并提供自动 LPM (AUTO_LPM) 状态, 如果已启用通道中的输出电流低于特定的阈值达 $t_{STBY_LPM_AUTO}$, 则可以自动进入该状态。

当器件处于任一 LPM 状态时, SPI 写入和读取只对 LPM 寄存器可用。在任一 LPM 状态下, 器件可以继续以菊花链配置将 SPI 数据传递给连续的器件, 并且仍可以读取 SDO 帧中的状态位。当器件进入和退出 LPM 时, SDO 帧中的故障位将更新, 以提醒系统器件已退出 LPM 模式。

器件需要大于 V_{DD_UVLOF} 的有效 VDD 电压才能保持在任一 LPM 状态。如果在任一 LPM 状态下移除 VDD 电压，器件将转换到 SLEEP 状态，进而禁用输出并清除寄存器。

在 MANUAL_LPM 状态下，器件会禁用所有诊断以及看门狗计时器和 I2T 保护功能，以帮助降低器件的 IQ。一旦器件退出 MANUAL_LPM，在进入 LPM 之前启用的诊断将自动重新启用。I2T 保护和看门狗计时器也将在退出 LPM 后重新启用。对于 AUTO_LPM 状态，在器件转换到 AUTO_LPM 状态之前，系统必须首先禁用看门狗计时器和除 ISNS 之外的所有 ADC 诊断。在 AUTO_LPM 状态下，器件将自动禁用 I2T 保护和 ISNS，并在器件退出 AUTO_LPM 状态进入 ACTIVE 状态时重新启用这些功能。在保护方面，短路保护在两种 LPM 状态下都保持启用。与 ACTIVE 状态下的短路阈值相比，LPM 状态下使用不同的短路阈值。

在任一 LPM 状态下，器件会通过转换到 ACTIVE 状态来自动响应负载电流增加的情况。如果电流增加过高，器件将触发其短路保护。对于 MANUAL_LPM 状态，器件可向微控制器（处于 SLEEP 模式）提供唤醒信号，以便在任一负载增加的情况下通过 $\overline{FLT}/WAKE_SIG$ 引脚唤醒系统。对于 AUTO_LPM 状态，只有负载增加到高于 LPM 短路阈值 (I_{SCP_AUTO}) 才会触发 $\overline{FLT}/WAKE_SIG$ 引脚被拉至低电平。如果 AUTO_LPM 中的负载增加到高于退出阈值 ($I_{EXIT_LPM_AUTO}$)，但低于 $I_{SCP_LPM_AUTO}$ 阈值，则器件不会将 $\overline{FLT}/WAKE_SIG$ 引脚拉至低电平。对于这两种 LPM 状态，器件仅在 ACTIVE 状态下也确认过流时才会发出过流保护故障信号。

如果需要，系统可以根据器件所处的 LPM 状态，通过不同的 SPI 写入来手动将器件从 LPM 状态唤醒。如果在任一 LPM 状态下 LHI 变为高电平，器件将退出 LPM 并转换到 ACTIVE 状态，然后转换到 LIMP_HOME 状态。

下面的 表 8-11 重点介绍了这两种低功耗模式之间的一些主要差异。有关每个 LPM 状态如何工作的更多信息，请参阅以下有关 MANUAL_LPM 和 AUTO_LPM 状态的章节。

表 8-11. LPM 特性

模式类型	进入方法	规格	说明	典型值	单位
MANUAL_LPM	将 1 写入 LPM 寄存器中的 LPM 位	I_{Q,VBB,LPM_MAN}	两个通道均启用	6.42	μA
		I_{Q,VDD,LPM_MAN}	两个通道均启用	15.6	μA
		R_{ON,LPM_MAN}	MANUAL_LPM 中的 R_{ON}	36	m Ω
		$I_{EXIT_LPM_MAN}$	$I_{EXIT_LPM_MAN_CHx} = 00$	0.5	A
			$I_{EXIT_LPM_MAN_CHx} = 01$	0.625	
			$I_{EXIT_LPM_MAN_CHx} = 10$	0.15	
			$I_{EXIT_LPM_MAN_CHx} = 11$	0.325	
		$I_{SCP_LPM_MAN}$	进入 MANUAL_LPM 时的短路阈值	4	A
AUTO_LPM	如果 AUTO_LPM_ENTRY = 1，则自动进入	I_{Q,VBB,LPM_AUTO}	两个通道均启用	11.6	μA
		I_{Q,VDD,LPM_AUTO}	两个通道均启用	15.6	μA
		R_{ON,LPM_AUTO}	进入 AUTO_LPM 时的 R_{ON}	11.3	m Ω
		$t_{STBY_LPM_AUTO}$	如果 $I_{OUTx} < I_{ENTRY_LPM_AUTO}$ ，进入 AUTO_LPM 之前的待机时间	20	ms
		$I_{ENTRY_LPM_AUTO}$	进入 AUTO_LPM 时的 I_{OUTx} 电流	0.95	A
		$I_{EXIT_LPM_AUTO}$	退出 AUTO_LPM 时的 I_{OUTx} 电流	1.05	A
		$I_{SCP_LPM_AUTO}$	进入 AUTO_LPM 状态时的短路阈值	13.7	A

8.4.9.1 MANUAL_LPM 状态

MANUAL_LPM 状态提供了一种模式，在该模式下，系统可以手动将器件置于低 IQ 状态，同时根据需要使通道保持导通状态并通过短路保护进行保护。若要进入 MANUAL_LPM 状态，需要将 LPM 寄存器中的 LPM 位设置为 1。根据版本的不同，在写入 LPM 命令以进入 MANUAL_LPM 之前，器件需要满足以下条件：

- 版本 A
 - 处于 ACTIVE 或 CONFIG 状态且没有通过 CHx_ON 位改变通道状态
 - 启用的通道不处于浪涌期间

- 启用通道的 $I_{OUT} < I_{EXIT_LPM_MAN}$
- $THERMAL_WRN_CHx = 0$
- 版本 B
 - 处于 ACTIVE 或 CONFIG 状态、且通道状态不会通过 DIx 引脚发生变化
 - 启用的通道不处于浪涌期间
 - 启用通道的 $I_{OUT} < I_{EXIT_LPM_MAN}$
 - $THERMAL_WRN_CHx = 0$

如果不满足上述条件，器件不会转换到 MANUAL_LPM 状态，MANUAL_LPM_ENTRY 位将设回 0，并且 SDO 帧中的 LPM_STATUS 位将保持为 0。如果满足所有条件并将 1 写入 LPM 位，器件将更新 SDO 帧中的 LPM_STATUS 位，然后在 t_{LPM_ENTRY} 内转换为 MANUAL_LPM 状态。

在 MANUAL_LPM 状态下，使用较小的内部 FET 来提供最低 IQ。较小 FET 的 R_{ON} 由电气特性部分中的 $R_{ON_LPM_MAN}$ 定义。由于 MANUAL_LPM 中使用较小的 FET，因此与使用较大内部 FET 的 AUTO_LPM 状态相比，退出阈值和短路阈值将更低。

从 MANUAL_LPM 唤醒系统

对于 TPS2HCS10A-Q1，MCU 或控制器可以向 LPM 寄存器中的 LPM 位写入 0，以手动将器件从 MANUAL_LPM 状态转换为 ACTIVE 状态。当向 LPM 位写入 0 以退出 MANUAL_LPM 状态时，器件会评估 AUTO_LPM_EXIT_CHx 位。如果 AUTO_LPM_EXIT_CHx 为 1，则会在器件处于 ACTIVE 状态时启用尚未启用的相应通道。

对于 TPS2HCS10B-Q1，MCU 或控制器还可以向 LPM 寄存器中的 LPM 位写入 0，以手动将器件从 MANUAL_LPM 状态转换为 ACTIVE 状态，但 TPS2HCS10B-Q1 器件不会评估 AUTO_LPM_EXIT_CHx 位。AUTO_LPM_EXIT_CHx 位对 TPS2HCS10B-Q1 没有影响。如果 DI1 或 DI2 在 MANUAL_LPM 状态下发生状态变化，TPS2HCS10B-Q1 还会从 MANUAL_LPM 状态转换为 ACTIVE 状态。

从 MANUAL_LPM 自动退出

处于 MANUAL_LPM 状态时，如果负载电流增加到超过编程的 $I_{EXIT_LPM_MAN}$ 阈值，器件将自行唤醒并通过 FLT/WAKE_SIG 引脚唤醒系统。FLT/WAKE_SIG 引脚将产生低电平脉冲并持续 t_{WAKE_SIG} ，以提醒系统该器件已退出 MANUAL_LPM 并转换到 ACTIVE 状态。可通过 MAN_LPM_EXIT_CURR_CHx 位将每个通道的切换阈值编程为表 8-12 中详细介绍的以下唤醒设置。

如果 ECU 负载电流需求增加较大或输出短路高于 $I_{SCP_LPM_MAN}$ ，器件将关闭该通道的较小内部 FET，并在 t_{RETRY_LPM} 内使用较大的 MOSFET 进行重试，同时将 I_{OCP} 设置为过流保护阈值。

额外的负载电流需求和向 ACTIVE 状态的转换会通过 FLT 或 WAKE_SIG (连接到 VDD 的低电平有效上拉电阻器) 的下降沿向 MCU 或系统基础芯片 (SBC) 发送信号，这些信号可由 MCU 或 SBC 用作中断信号以唤醒系统。然后可以通过 SPI 轮询器件，以确定 FLT 或 WAKE_SIG 引脚转换是由负载 ECU 电流需求还是短路引起的。仅在 ACTIVE 状态下也确认过流时，该器件才会将故障记录为过流保护故障。

根据负载阶跃幅度，器件将以不同的方式转换到 ACTIVE 状态。图 8-31、图 8-32 和图 8-33 展示了器件如何响应不同的负载阶跃幅度。

一旦器件由于负载电流增加而转换为 ACTIVE 状态，LPM 寄存器中的 LPM 位将始终设置为 1。若要再次进入 LPM 状态，需要将 LPM 寄存器中的 LPM 位设置为 0，然后再次设置为 1。

表 8-12. 负载唤醒设置 - MANUAL_LPM 状态

LPM 寄存器中的 MAN_LPM_EXIT_CURR_CHx	典型值	单位
00 (默认值)	0.5	A
01	0.625	A
10	0.15	A

表 8-12. 负载唤醒设置 - MANUAL_LPM 状态 (续)

LPM 寄存器中的 MAN_LPM_EXIT_CURR_CHx	典型值	单位
11	0.325	A

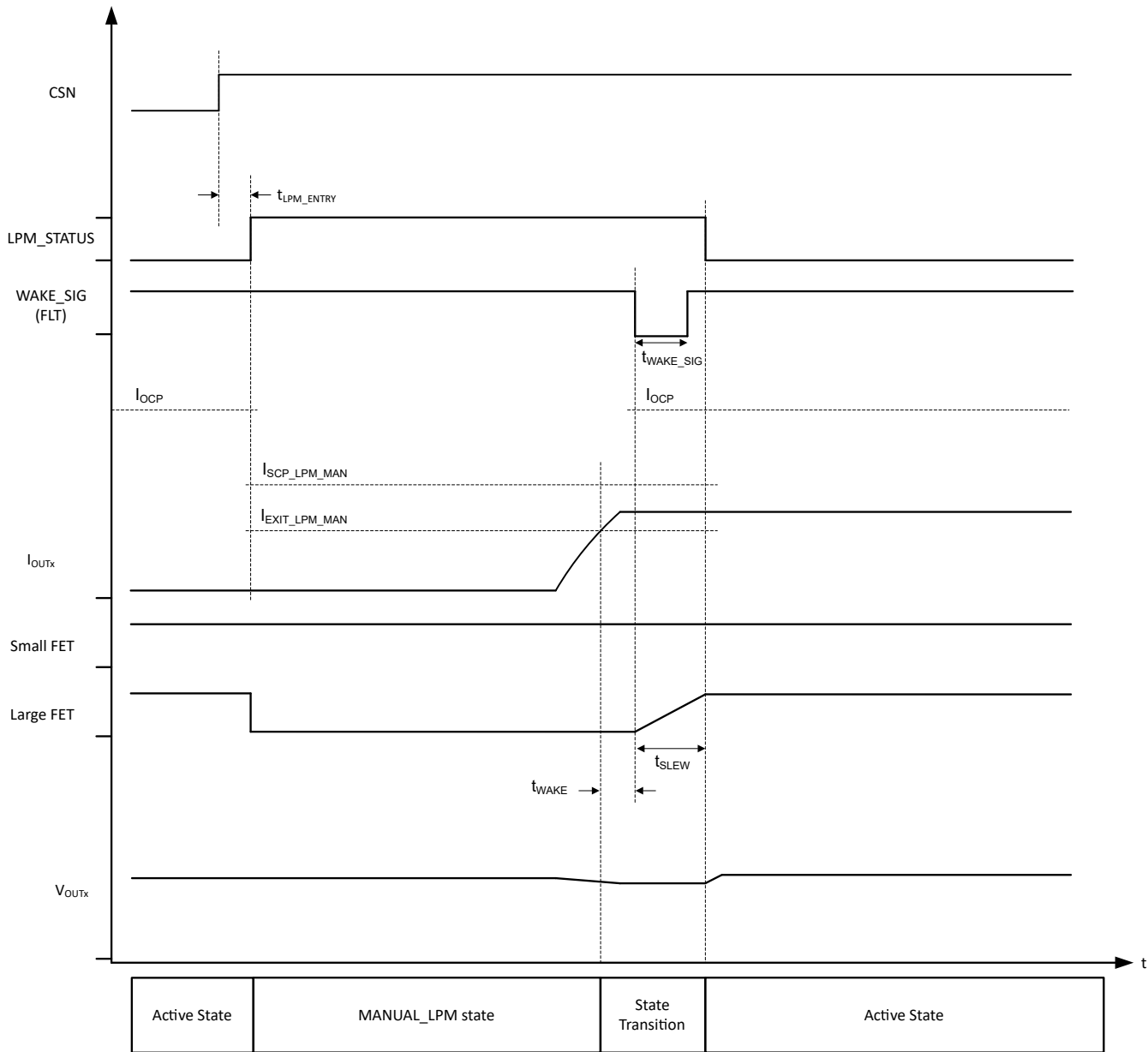


图 8-31. 在 MANUAL_LPM 状态下，负载增加到高于 $I_{EXIT_LPM_MAN}$ 且低于 $I_{SCP_LPM_MAN}$

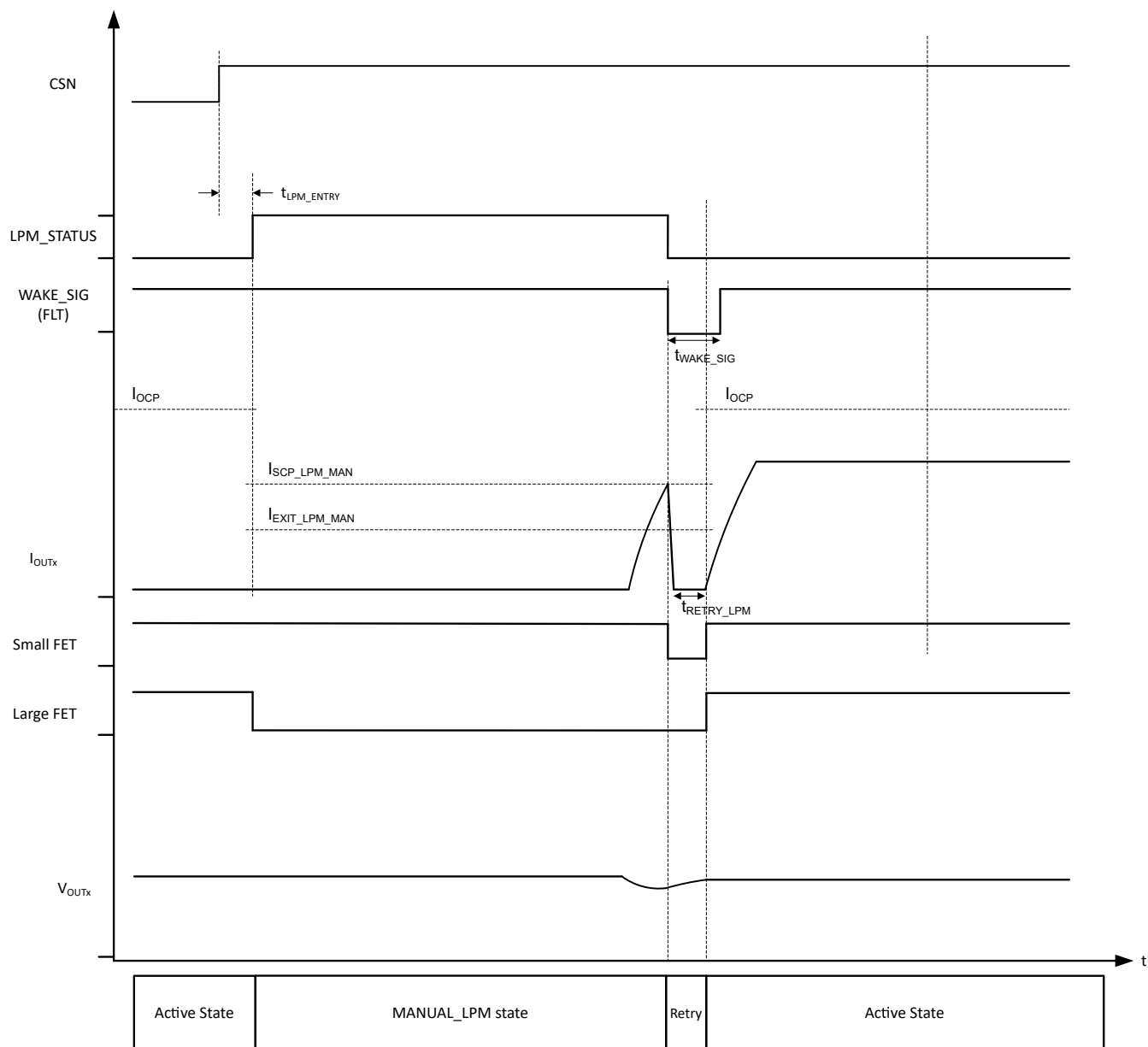


图 8-32. 在 **MANUAL_LPM** 状态下，负载增加至高于 $I_{SCP_LPM_MAN}$ 且低于 I_{OCP}

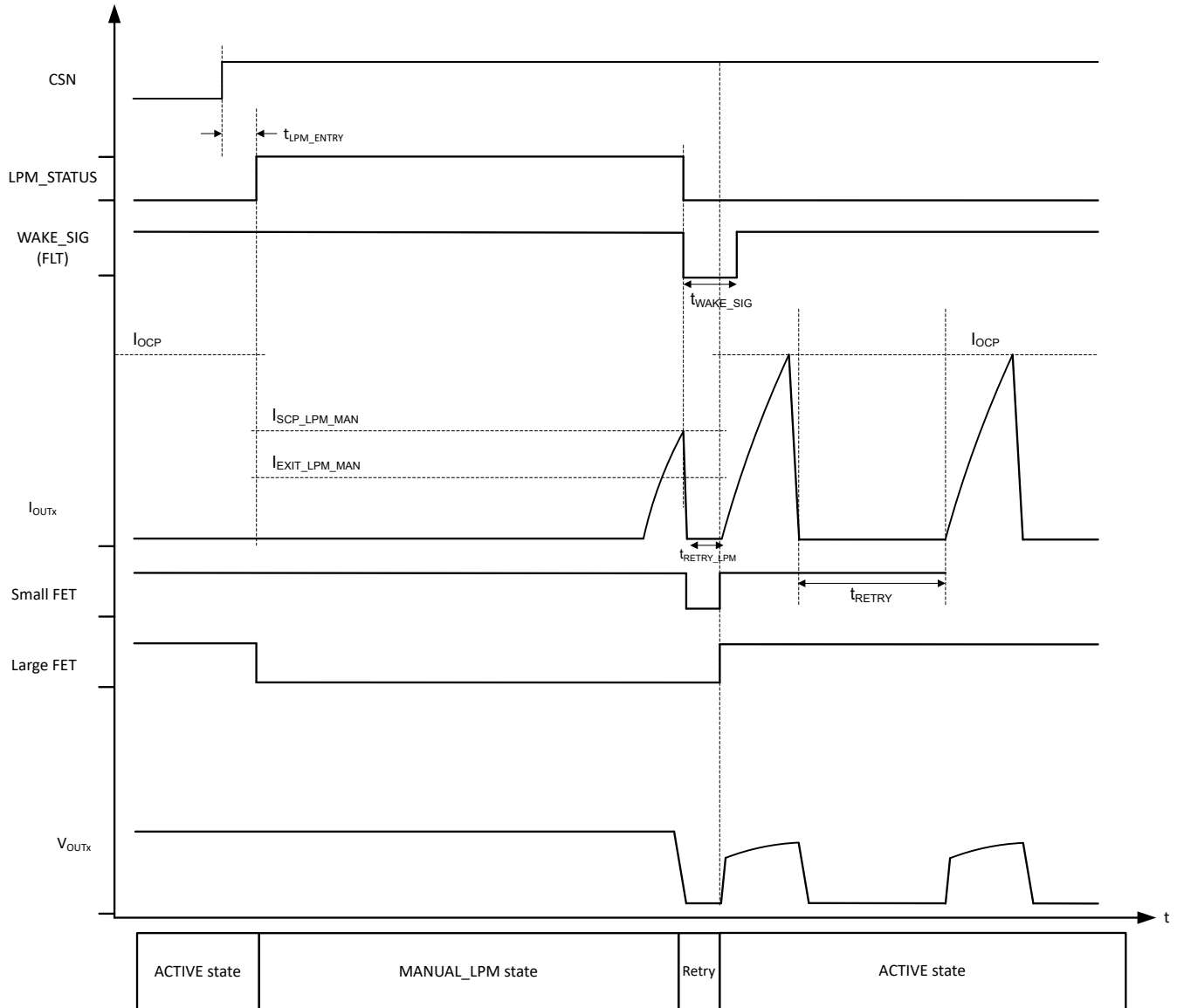


图 8-33. 在 **MANUAL_LPM** 状态下，负载增加到高于 I_{OCP}

8.4.9.2 AUTO_LPM 状态

AUTO_LPM 状态提供了一种模式，在该模式下，器件可以自动转换到低 IQ 状态，同时根据需保持通道导通并通过短路保护功能提供保护。根据所使用的器件版本，要进入 AUTO_LPM 状态，DEV_CONFIG 寄存器中的 AUTO_LPM_ENTRY 位需要设置为 1，并且至少需要在 $t_{STBY_LPM_AUTO}$ 时满足以下条件：

- 版本 A
 - 处于 **ACTIVE** 或 **CONFIG** 状态且没有通过 CHx_ON 位改变通道状态
 - 启用的通道不处于浪涌期间
 - 除 **ISNS** 之外，所有 **ADC** 诊断 (**VSNS**、**VBBSNS**、**TSNS** 和 **VDS_SNS**) 都将被禁用
 - 启用通道的 $I_{OUT} < I_{ENTRY_LPM_AUTO}$
 - **AUTO_LPM_EXIT_CHx** 位必须都设置为 0
 - **THERMAL_WRN_CHx** = 0
 - 看门狗计时器已禁用 (**WD_EN** = 0)

- 器件上不存在故障
- 版本 B
 - 处于 ACTIVE 或 CONFIG 状态、且通道状态不会通过 D_{IX} 引脚发生变化
 - 启用的通道不处于浪涌期间
 - 除 ISNS 之外，所有 ADC 诊断 (VSNS、VBBSNS、TSNS 和 VDS_SNS) 都将被禁用
 - 启用通道的 $I_{OUT} < I_{ENTRY_LPM_AUTO}$
 - AUTO_LPM_EXIT_CHx 位必须都设置为 0
 - THERMAL_WRN_CHx = 0
 - 看门狗计时器已禁用 (WD_EN = 0)
 - 器件上不存在故障

满足这些条件后，器件将在进入 AUTO_LPM 状态之前更新 SDO_FRAME/GLOBAL_FAULT_TYPE 寄存器中的 LPM_STATUS 位和 GLOBAL_FAULT_TYPE 寄存器中的 LPM_STATUS_1 位，以提醒系统器件已转换为 AUTO_LPM。器件将在 t_{LPM_ENTRY} 时进入 AUTO_LPM 状态。

在 AUTO_LPM 状态下，将使用更大的内部 FET 来实现更大的负载阶跃。更大内部 FET 的 R_{ON} 由电气特性部分中的 $R_{ON_LPM_AUTO}$ 定义。与 MANUAL_LPM 状态相比，进入 AUTO_LPM 状态时的 IQ 将更高。在 AUTO_LPM 状态下，进入阈值由 $I_{ENTRY_LPM_AUTO}$ 指定，退出阈值由 $I_{EXIT_LPM_AUTO}$ 指定。

系统从 AUTO_LPM 唤醒

对于 TPS2HCS10A-Q1，MCU 或控制器可以向 AUTO_LPM_EXIT_CHx 位之一写入 1，以手动将器件从 AUTO_LPM 状态切换到 ACTIVE 状态。如果 AUTO_LPM_EXIT_CHx 为 1，则会在器件处于 ACTIVE 状态时启用尚未启用的相应通道。对于 TPS2HCS10A-Q1，在允许将器件转换回 AUTO_LPM 状态之前，两个 AUTO_LPM_EXIT_CHx 位都必须设回 0。

对于 TPS2HCS10B-Q1，AUTO_LPM_EXIT_CHx 位对 TPS2HCS10B-Q1 没有影响。通过更改处于 AUTO_LPM 状态的 DI1 和/或 DI2 的状态，系统可以手动让 TPS2HCS10B-Q1 器件退出 AUTO_LPM 模式。

从 AUTO_LPM 自动退出

处于 AUTO_LPM 状态时，器件将自行唤醒，并在负载电流增加到超过 $I_{EXIT_LPM_AUTO}$ 阈值时将 LPM_STATUS 位更改为 0。处于 AUTO_LPM 状态时，GLOBAL_FAULT_TYPE 寄存器中的 LPM_STATUS_1 位设置为 1，并被读取清除，这使系统能够判断自上次读取 GLOBAL_FAULT_TYPE 寄存器以来器件是否已转换到 AUTO_LPM 状态。当 ECU 负载电流需求增加到高于 $I_{EXIT_LPM_AUTO}$ 阈值时，将激活向 ACTIVE 状态的转换。请注意，在这种负载增加的情况下，器件不会将 FLT/WAKE_SIG 拉至低电平。

如果 ECU 负载电流需求增加较大或输出短路高于 $I_{SCP_LPM_AUTO}$ ，器件将关闭该通道的内部 FET，并在 I_{OCP} 设置为过流保护阈值时，在 t_{RETRY} 后进行重试。在这种情况下，当负载电流增加到超过 $I_{SCP_LPM_AUTO}$ 阈值时，器件会将 FLT/WAKE_SIG 引脚拉至低电平。仅在 ACTIVE 状态下也确认过流时，该器件才会将故障记录为过流保护故障。

根据负载阶跃幅度，器件将以不同的方式转换到 ACTIVE 状态。图 8-34、图 8-35 和图 8-36 展示了器件如何响应不同的负载阶跃幅度。

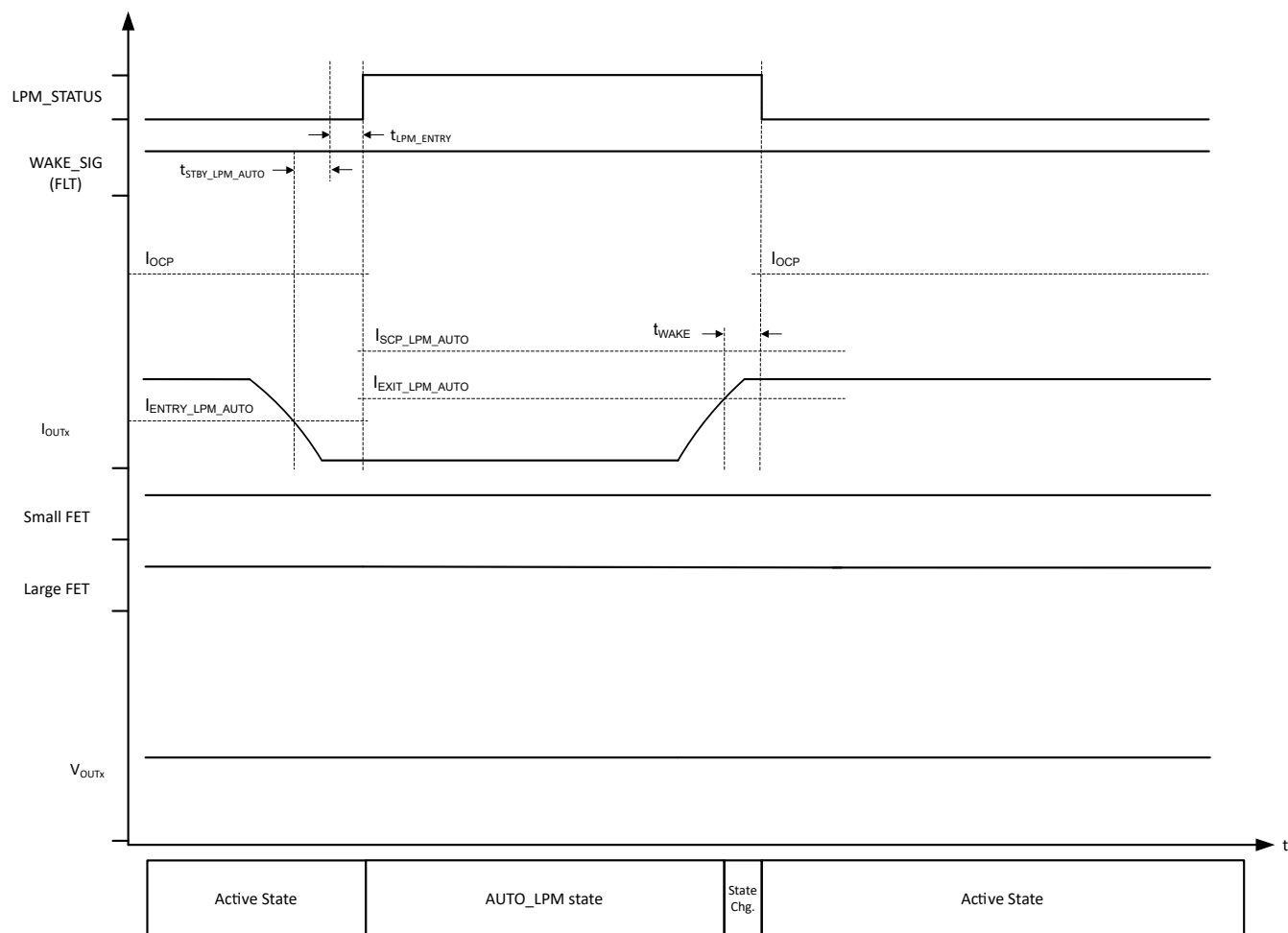


图 8-34. 在 AUTO_LPM 状态下，负载增加至高于 $I_{EXIT_LPM_AUTO}$ 且低于 $I_{SCP_LPM_AUTO}$

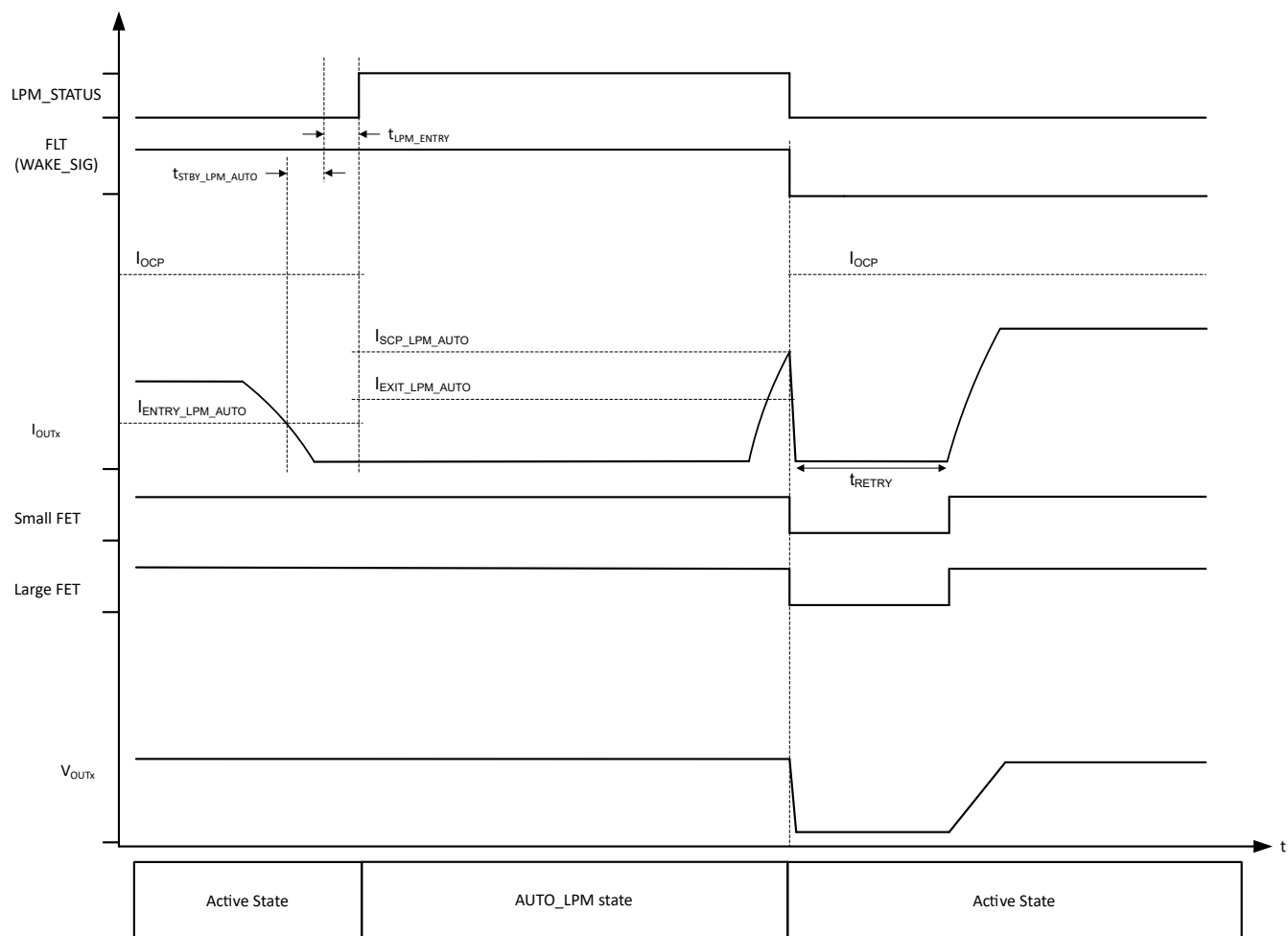


图 8-35. 在 AUTO_LPM 状态下，负载增加至高于 $I_{SCP_LPM_AUTO}$ 且低于 I_{OCP}

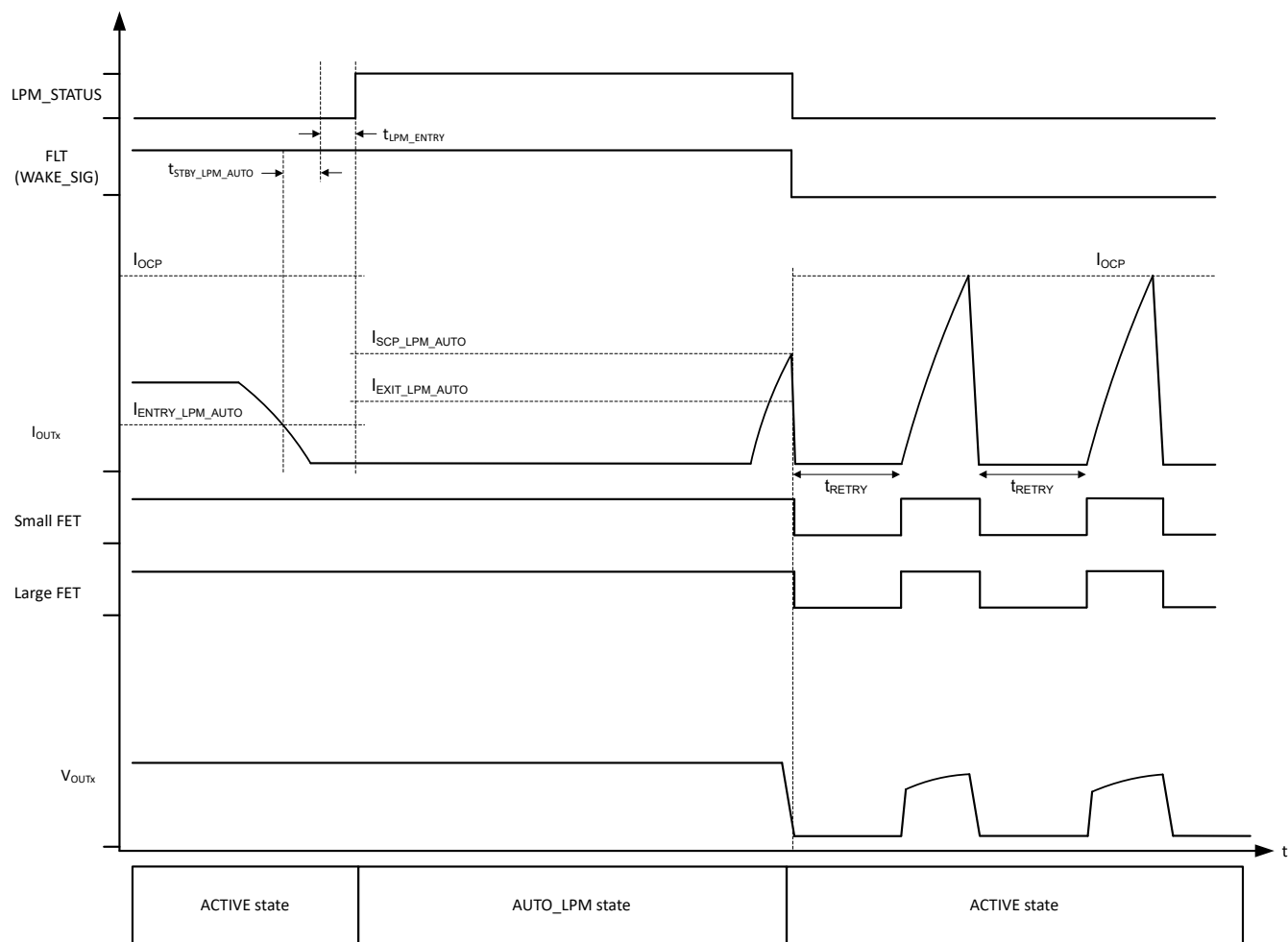


图 8-36. 在 **AUTO_LPM** 状态下，负载增加至高于 I_{OCP}

8.5 TPS2HCS10-Q1 寄存器

表 8-13 列出了 TPS2HCS10-Q1 寄存器的存储器映射寄存器。表 8-13 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 8-13. TPS2HCS10-Q1 寄存器

偏移	首字母缩写词	寄存器名称	部分
0h	DEV_ID	从 NVM 读取器件 ID	转到
1h	CRC_CONFIG	CRC 配置寄存器	转到
2h	SLEEP	设置为从 ACTIVE 或 CONFIG 状态变为 SLEEP 状态	转到
3h	LPM	低功耗模式 (LPM) 设置寄存器	转到
4h	GLOBAL_FAULT_TYPE	通道故障状态和全局故障类型	转到
5h	FAULT_MASK	屏蔽故障引脚上的故障报告	转到
7h	SW_STATE	VOUT1 和 VOUT2 的开/关控制	转到
9h	DEV_CONFIG	全局器件配置寄存器	转到
Ah	ADC_CONFIG	ADC 配置寄存器	转到
Bh	ADC_RESULT_VBB	ADC 转换结果 — VBB	转到
Dh	FLT_STAT_CH1	通道 1 故障状态	转到
Eh	PWM_CH1	通道 1 的 PWM 配置寄存器	转到
Fh	ILIM_CONFIG_CH1	通道 1 的保护配置寄存器	转到
10h	CH1_CONFIG	通道 1 的配置寄存器	转到
11h	ADC_RESULT_CH1_I	ADC 转换结果 — 通道 1 的负载电流检测	转到
12h	ADC_RESULT_CH1_T	ADC 转换结果 — 通道 1 的 TJ.FET 温度检测	转到
13h	ADC_RESULT_CH1_V	ADC 转换结果 — 通道 1 的 VOUT 检测	转到
14h	ADC_RESULT_CH1_VDS	ADC 转换结果 — 通道 1 的 VDS 检测	转到
15h	I2T_CONFIG_CH1	通道 1 的 I2T 配置寄存器	转到
16h	FLT_STAT_CH2	通道 2 的故障状态	转到
17h	PWM_CH2	通道 2 的 PWM 配置寄存器	转到
18h	ILIM_CONFIG_CH2	通道 2 的保护配置寄存器	转到
19h	CH2_CONFIG	通道 2 的配置寄存器	转到
1Ah	ADC_RESULT_CH2_I	ADC 转换结果 — 通道 2 的负载电流检测	转到
1Bh	ADC_RESULT_CH2_T	ADC 转换结果 — 通道 2 的 TJ.FET 温度检测	转到
1Ch	ADC_RESULT_CH2_V	ADC 转换结果 — 通道 2 的 VOUT 检测	转到
1Dh	ADC_RESULT_CH2_VDS	ADC 转换结果 — 通道 2 的 VDS 检测	转到
1Eh	I2T_CONFIG_CH2	通道 2 的 I2T 配置寄存器	转到

复杂的位访问类型经过编码可适应小型表单元。表 8-14 展示了适用于此部分中访问类型的代码。

表 8-14. TPS2HCS10-Q1 访问类型代码

访问类型	代码	说明
读取类型		
R	R	读取
RC	R C	读取 以清除
写入类型		
W	W	写入

表 8-14. TPS2HCS10-Q1 访问类型代码 (续)

访问类型	代码	说明
W1C	W 1C	写入 1 以清零
复位或默认值		
-n		复位后的值或默认值

8.5.1 DEV_ID 寄存器 (偏移 = 0h) [复位 = XXXXh]

DEV_ID 如表 8-15 所示。

返回到[汇总表](#)。

表 8-15. DEV_ID 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
15-0	DEVICE_ID	R	X	X = 器件型号 FFF4h = TPS2HCS10A FFF5h = TPS2HCS10B

8.5.2 CRC_CONFIG 寄存器 (偏移 = 1h) [复位 = FFFEh]

CRC_CONFIG 如表 8-16 所示。

返回到[汇总表](#)。

表 8-16. CRC_CONFIG 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
15-1	RESERVED	R	7FFFh	保留
0	CRC_EN	R/W	0h	使能 SPI 命令帧的 CRC 校验。 0h = 不对 SPI 命令帧进行 CRC 校验 1h = 使能 SPI 命令帧的 CRC 校验

8.5.3 SLEEP 寄存器 (偏移 = 2h) [复位 = FFFEh]

表 8-17 中显示了 SLEEP。

返回到[汇总表](#)。

表 8-17. SLEEP 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
15-1	RESERVED	R	7FFFh	保留
0	SLEEP	R/W	0h	将该位设置为 1 可将器件置于 SLEEP 状态 0h = 无变化 1h = 将器件置于 SLEEP 状态

8.5.4 LPM 寄存器 (偏移 = 3h) [复位 = FF80h]

表 8-18 中显示了 LPM。

返回到[汇总表](#)。

表 8-18. LPM 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
15-7	RESERVED	R	1FFh	保留
6-5	MAN_LPM_EXIT_CURR_CH2	R/W	0h	设置因负载电流增加而退出 MANUAL_LPM 模式的阈值 — CH2 0h = 500mA 1h = 625mA 2h = 150mA 3h = 325mA
4-3	MAN_LPM_EXIT_CURR_CH1	R/W	0h	设置因负载电流增加而退出 MANUAL_LPM 模式的阈值 — CH1 0h = 500mA 1h = 625mA 2h = 150mA 3h = 325mA
2	AUTO_LPM_EXIT_CH2	R/W	0h	该位强制器件退出 AUTO_LPM 模式并进入 ACTIVE 状态，并使能 CH2 (如果尚未使能)。要重新使能器件以进入 AUTO_LPM 模式，该位必须重置为 0。 0h = 如果满足所有条件，重新使能器件以进入 AUTO_LPM 模式 1h = 强制退出 AUTO_LPM 状态并进入 ACTIVE 状态。如果尚未使能，则使能 CH2
1	AUTO_LPM_EXIT_CH1	R/W	0h	该位强制器件退出 AUTO_LPM 模式并进入 ACTIVE 状态，并使能 CH1 (如果尚未使能)。要重新使能器件以进入 AUTO_LPM 模式，该位必须重置为 0。 0h = 如果满足所有条件，重新使能器件以进入 AUTO_LPM 模式 1h = 强制退出 AUTO_LPM 状态并进入 ACTIVE 状态。如果尚未使能，则使能 CH1
0	MANUAL_LPM_ENTRY	R/W	0h	将该位设置为 1 会将器件置于 MANUAL_LPM。 注意：两条通道必须关断，或者任何已使能的通道上的电流必须低于 MAN_LPM_EXIT_CURR_CHx 才能进入 MANUAL_LPM 模式。 如果器件处于 MANUAL_LPM 状态并向 MANUAL_LPM_ENTRY 位写入 0，器件将检查 AUTO_LPM_EXIT_CHx 位的内容，如果任何位设置为 1，器件将退出 MANUAL_LPM 模式并开启尚未使能的通道。 如果由于负载电流增加到大 MAN_LPM_EXIT_CURR_CHx 而使器件退出 MANUAL_LPM 状态并进入 ACTIVE 状态，则需要将 MANUAL_LPM_ENTRY 位设置为 0，然后重置为 1 以重新进入 MANUAL_LPM 状态 0h = 如果器件处于 MANUAL_LPM，则将器件置于 ACTIVE 模式 1h = 如果满足所有条件，则将器件置于 MANUAL_LPM 模式

8.5.5 GLOBAL_FAULT_TYPE 寄存器 (偏移 = 4h) [复位 = 0147h]

GLOBAL_FAULT_TYPE 如表 8-19 所示。

返回到[汇总表](#)。

表 8-19. GLOBAL_FAULT_TYPE 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
15	RESERVED	R	0h	保留
14	RESERVED	R	0h	保留
13	CH2_FLT	R	0h	通道 2 的故障状态。 如果 FLT_LTCH_DIS = 0，则故障位将被锁存，仅当读取 FLT_STAT_CH2 寄存器且故障条件不再存在时才会被清除 如果 FLT_LTCH_DIS = 1，则在故障条件不再存在时清除故障位 0h = CH2 上未发生故障 1h = CH2 上发生了故障
12	CH1_FLT	R	0h	通道 1 的故障状态。 如果 FLT_LTCH_DIS = 0，则故障位将被锁存，仅当读取 FLT_STAT_CH1 寄存器且故障条件不再存在时才会被清除 如果 FLT_LTCH_DIS = 1，则在故障条件不再存在时清除故障位 0h = CH1 上未发生故障 1h = CH1 上发生了故障
11	LPM_STATUS	R	0h	该位指示器件是处于 MANUAL_LPM 模式还是 AUTO_LPM 模式，并在器件未处于任何 LPM 模式时清除该位。 0h = 器件未处于 AUTO_LPM 或 MANUAL_LPM 状态 1h = 器件已进入 AUTO_LPM 或 MANUAL_LPM 状态
10	CHAN_OCP_I2T_TSD	R	0h	该位指示任何一条通道中是否发生了过流保护、I2T 保护或热关断故障。 如果 FLT_LTCH_DIS = 0，则故障位将被锁存，仅当读取 FLT_STAT_CHx 寄存器且故障条件不再存在时才会被清除 如果 FLT_LTCH_DIS = 1，则在故障条件不再存在时清除故障位 0h = 任何通道中均无过流保护、I2T 保护或热关断故障 1h = 一条或两条通道中存在过流保护、I2T 保护或热关断故障
9	OL_SHRT_VBB_OFF_FLT	R	0h	该位指示任何一条通道在关断状态故障下是否发生了 VBB 电源短路。 如果 FLT_LTCH_DIS = 0，则故障位将被锁存，仅当读取 FLT_STAT_CHx 寄存器且故障条件不再存在时才会被清除 0h = 任何通道中均无关断状态 VBB 短路或开路负载故障 1h = 一条或两条通道中存在关断状态 VBB 短路或开路负载故障
8	GLOBAL_ERR_WRN	R	1h	该位指示 FLT_GLOBAL_TYPE[7:0] 位中是否报告了全局故障。 通过该位报告的故障包括 LIMPHOME_STATE、POR、SPI_ERR、WD_ERR、VDD_UVLO、VBB_UV_WRN 或 VBB_UVLO。 如果 FLT_LTCH_DIS = 0，则故障位将被锁存，仅当读取 GLOBAL_FAULT_TYPE 寄存器且故障条件不再存在时才会被清除 如果 FLT_LTCH_DIS = 1，则在故障条件不再存在时清除故障位 0h = 未发生全局故障 1h = 发生了以下事件之一：LIMPHOME_STATE、POR、SPI_ERR、WD_ERR、VDD_UVLO、VBB_UV_WRN 或 VBB_UVLO
7	LIMPHOME_STAT	R/W1C	0h	该位指示器件是否由于 LHI 引脚变为高电平而处于 LIMP_HOME 状态。 写入 1 以清除并退出 LIMP_HOME 状态。当该位设置为 1 时，LHI 引脚必须为低电平才能退出 LIMP_HOME 状态。 0h = 器件未处于 LIMP_HOME 状态 1h = 器件由于 LHI 引脚变为高电平而处于 LIMP_HOME 状态

表 8-19. GLOBAL_FAULT_TYPE 寄存器字段说明 (续)

位	字段	类型	复位	说明
6	POR	RC	1h	<p>该位指示自上次读取后是否发生了上电复位 (POR)</p> <p>该位在读取时清除, 因此如果再次读取且该位为 0, 则表示自上次读取后未发生上电复位。</p> <p>0h = 自上次读取寄存器后未发生上电复位 (POR)</p> <p>1h = 自上次读取寄存器后发生了上电复位。</p>
5	LPM_STATUS_1	RC	0h	<p>该位指示器件是处于 MANUAL_LPM 模式还是 AUTO_LPM 模式。</p> <p>该位将被锁存, 仅当读取且器件不处于任何 LPM 模式时才会被清除。</p> <p>注意: 如果不满足进入 MANUAL_LPM 的条件, 该位将设置为 1 并在读取时清除。</p> <p>0h = 器件未处于 AUTO_LPM 或 MANUAL_LPM 状态</p> <p>1h = 器件已进入 AUTO_LPM 或 MANUAL_LPM 状态</p>
4	SPI_ERR	RC	0h	<p>该位指示是否发生了来自格式、时钟或 CRC 的 SPI 通信错误。故障位将被锁存, 仅当读取后且错误不再存在时才会被清除。</p> <p>0h = 未发生 SPI 通信错误故障</p> <p>1h = 发生了格式、时钟或 CRC 导致的 SPI 通信错误</p>
3	WD_ERR	RC	0h	<p>如果 WD_EN = 1, 则该位指示看门狗超时窗口中是否未收到可接受的 SPI 命令。</p> <p>故障位将被锁存, 仅当读取后且错误不再存在时才会被清除</p> <p>0h = 无 SPI 接口看门狗错误</p> <p>1h = 发生了 SPI 看门狗超时错误</p>
2	VDD_UVLO	RC	1h	<p>该位指示 VDD 电源是否在任何时间低于 VDD_UVLOF。</p> <p>如果已读取 GLOBAL_FAULT_TYPE 寄存器且已消除 UVLO 条件, 则故障位将被清除</p> <p>0h = 未发生 VDD_UVLO 故障</p> <p>1h = 发生了 VDD_UVLO 故障</p>
1	VBB_UV_WRN	RC	1h	<p>该位指示 VBB 电源是否在任何时间低于 V_{BB_UV_WRN}。如果 VBB 低于 V_{BB_UV_WRN}, 则器件中的诊断会关闭</p> <p>如果已读取 GLOBAL_FAULT_TYPE 寄存器且 UV 条件不再存在, 则故障位将被清除</p> <p>0h = 未发生 VBB_UV_WRN 故障</p> <p>1h = 发生了 VBB_UV_WRN 故障</p>
0	VBB_UVLO	RC	1h	<p>该位指示 VBB 电源是否在任何时间低于 V_{BB_UVLOF}。</p> <p>如果已读取 GLOBAL_FAULT_TYPE 寄存器且已消除 UVLO 条件, 则故障位将被清除</p> <p>0h = 未发生 VBB_UVLO 故障</p> <p>1h = 发生了 VBB_UVLO 故障</p>

8.5.6 FAULT_MASK 寄存器 (偏移 = 5h) [复位 = FF80h]

FAULT_MASK 如表 8-20 所示。

返回到[汇总表](#)。

表 8-20. FAULT_MASK 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
15-7	RESERVED	R	1FFh	保留
6	RESERVED	R/W	0h	保留
5	MASK_SHRT_VBB	R/W	0h	该位决定器件是否应屏蔽 FLT 引脚上的关断状态电池短路故障信号 0h = FLT 引脚上发出 VBB 短路故障信号 1h = FLT 引脚上不会发出 (已屏蔽) VBB 短路故障信号
4	MASK_OL_OFF	R/W	0h	该位决定器件是否应屏蔽 FLT 引脚上的关断状态开路负载故障信号 0h = 通过诊断检测到故障时, FLT 引脚上会发出关断状态断线故障信号 1h = FLT 引脚上不会发出 (已屏蔽) 关断状态断线故障信号
3	RESERVED	R	0h	保留
2	MASK_SPI_ERR	R/W	0h	该位决定器件是否应屏蔽 FLT 引脚上和 GLOBAL_FAULT_TYPE 寄存器中的 SPI 错误 (SPI_ERR) 0h = SPI 错误在 FLT 引脚上和 GLOBAL_FAULT_TYPE 寄存器中发出信号 1h = SPI 错误不会在 FLT 引脚上或 GLOBAL_FAULT_TYPE 寄存器中发出错误信号
1	MASK_WD_ERR	R/W	0h	该位决定器件是否应屏蔽 FLT 引脚上和 GLOBAL_FAULT_TYPE 寄存器中的 SPI 看门狗错误 (WD_ERR) 0h = SPI 看门狗错误在 FLT 引脚上和 GLOBAL_FAULT_TYPE 寄存器中发出信号 1h = SPI 看门狗错误不会在 FLT 引脚上或 GLOBAL_FAULT_TYPE 寄存器中发出错误信号
0	MASK_VBB_UVLO	R/W	0h	该位决定器件是否应屏蔽 FLT 引脚上的电源电压 VBB UVLO 故障 0h = FLT 引脚上发出 VBB_UVLO 故障信号 1h = FLT 引脚上不会发出 (已屏蔽) VBB_UVLO 故障信号

8.5.7 SW_STATE 寄存器 (偏移 = 7h) [复位 = FFFCh]

SW_STATE 如表 8-21 所示。

返回到[汇总表](#)。

表 8-21. SW_STATE 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
15-2	RESERVED	R	3FFFh	保留
1	CH2_ON	R/W	0h	对于 TPS2HCS10A-Q1 版本，该位决定通道 2 的输出状态。 0h = CH2 输出设置为 OFF (FET 为 OFF) 1h = CH2 输出设置为 ON (FET 为 ON) 注意：该位对 TPS2HCS10B-Q1 没有任何影响。对于 TPS2HCS10B-Q1，通道 2 输出控制仅通过 DI2 引脚决定。
0	CH1_ON	R/W	0h	对于 TPS2HCS10A-Q1 版本，该位决定通道 1 的输出状态。 0h = CH1 输出设置为 OFF (FET 为 OFF) 1h = CH1 输出设置为 ON (FET 为 ON) 注意：该位对 TPS2HCS10B-Q1 版本没有任何影响。对于 TPS2HCS10B-Q1，通道 1 输出控制仅通过 DI1 引脚决定

8.5.8 DEV_CONFIG 寄存器 (偏移 = 9h) [复位 = F800h]

DEV_CONFIG 如表 8-22 所示。

返回到[汇总表](#)。

表 8-22. DEV_CONFIG 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
15-11	RESERVED	R	1Fh	保留
10-9	CH2_LH_IN	R/W	0h	<p>这些位决定了对于 TPS2HCS10A-Q1 版本, 通道 2 输出在 LIMP_HOME 状态下应如何响应。</p> <p>注意: 这些位对 TPS2HCS10B-Q1 没有任何影响。TPS2HCS10B-Q1 中没有 LIMP_HOME 状态。</p> <p>0h = 当处于 LIMP_HOME 状态时, DI 引脚控制输出 1h = 进入 LIMP_HOME 状态时, CH2_ON 位的输出状态保持不变 2h = 在 LIMP_HOME 模式下的输出将为 OFF 3h = 在 LIMP_HOME 模式下的输出将为 ON</p>
8-7	CH1_LH_IN	R/W	0h	<p>这些位决定了对于 TPS2HCS10A-Q1 版本, 通道 1 输出在 LIMP_HOME 状态下应如何响应。</p> <p>注意: 这些位对 TPS2HCS10B-Q1 没有任何影响。TPS2HCS10B-Q1 中没有 LIMP_HOME 状态。</p> <p>0h = 当处于 LIMP_HOME 状态时, DI 引脚控制输出 1h = 进入 LIMP_HOME 状态时, CH1_ON 位的输出状态保持不变 2h = 在 LIMP_HOME 模式下的输出将为 OFF 3h = 在 LIMP_HOME 模式下的输出将为 ON</p>
6	PWM_SHIFT_DIS	R/W	0h	<p>该位决定通道之间的 PWM 开始时是否存在偏移。</p> <p>0h = PWM 上升沿在第一个上升沿延迟 100µs 1h = 禁用 PWM 延迟 (偏移) 以使上升沿对齐</p>
5	AUTO_LPM_ENTRY	R/W	0h	<p>该位决定满足进入 AUTO_LPM 模式的所有条件时器件是否应进入 AUTO_LPM 模式。</p> <p>0h = 禁用进入 AUTO_LPM 模式 1h = 使能进入 AUTO_LPM 模式, 满足所有条件时, 器件会进入该模式</p>
4	PARALLEL_12	R/W	0h	<p>该位向器件发出信号, 指示通道 1 (CH1) 和通道 2 (CH2) 在系统中并联。</p> <p>0h = CH1 和 CH2 未并联 1h = CH1 和 CH2 已并联</p> <p>注意: 仅当 SW_STATE 寄存器中的 CH1_ON 和 CH2_ON 位为 0 时, 对该位的写入才有效。</p>
3	WD_EN	R/W	0h	<p>该位决定是否使能 SPI 看门狗功能。如果使能, 当看门狗超时窗口中没有收到有效的 SPI 命令时, 会触发看门狗超时</p> <p>0h = 看门狗已禁用 1h = 看门狗功能已使能</p>
2-1	WD_TO	R/W	0h	<p>该位决定 SPI 看门狗功能 (如果已使能) 的超时周期。当看门狗超时窗口中没有收到有效的 SPI 命令时, 会触发看门狗超时。</p> <p>0h = 看门狗超时周期为 400µs 1h = 看门狗超时周期为 400ms 2h = 看门狗超时周期为 800ms 3h = 看门狗超时周期为 1200ms</p>

表 8-22. DEV_CONFIG 寄存器字段说明（续）

位	字段	类型	复位	说明
0	FLT_LTCH_DIS	R/W	0h	<p>该位决定发生故障时，是否应该锁存 FAULT_GLOBAL_TYPE [13:8] 中的故障位。</p> <p>0h = FAULT_GLOBAL_TYPE 寄存器中的故障位 [13:8] 将被锁存，仅当读取相关寄存器时才能清除</p> <p>1h = FAULT_GLOBAL_TYPE 寄存器中的故障位 [13:8] 不会被锁存，当故障不再存在时将被清除</p> <p>注意：有关如何在 FLT_LTCH_DIS = 0 时清除各个故障位的更多详细信息，请参阅每个故障位的说明。LPM_STATUS[0] 为只读。</p>

8.5.9 ADC_CONFIG 寄存器 (偏移 = Ah) [复位 = FF3Ah]

ADC_CONFIG 如表 8-23 所示。

返回到[汇总表](#)。

表 8-23. ADC_CONFIG 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
15-8	RESERVED	R	FFh	保留
7-6	ADC_ISNS_SAMPLE_CONFIG	R/W	0h	<p>这些位决定电流检测 (ISNS) 的采样率和转换率。采样率和转换率越低，IQ 消耗越低。</p> <p>0h = 以最大速率进行电流检测和 ADC 转换 1h = 以最大速率进行电流检测和 ADC 转换 2h = 以最大速率的一半进行电流检测和 ADC 转换 3h = 以最大速率的四分之一进行电流检测和 ADC 转换</p>
5	ADC_VDS_DIS	R/W	1h	<p>该位决定是否应禁用所有通道的 VDS 检测功能。如果禁用，则 ADC 转换序列中不包含所有通道的 VDS 转换。</p> <p>注意：也可以通过 CHx_CONFIG 寄存器中的 VDS_SNS_DIS_CHx 位使能或禁用每条通道的 VDS 检测功能。该位必须设置为 0 才能基于通道使能/禁用该功能。</p> <p>0h = VDS_SNS ADC 功能已使能 1h = 禁用所有通道的 VDS SNS ADC 功能，所有通道的 ADC 转换序列中不包含 VDS_SNS ADC 转换</p>
4	ADC_VSNS_DIS	R/W	1h	<p>该位决定是否应禁用所有通道的 VOUT 检测 (VSNS) 功能。如果禁用，则 ADC 转换序列中不包含所有通道的 VOUT 转换。</p> <p>注意：也可以通过 CHx_CONFIG 寄存器中的 VSNS_DIS_CHx 位使能或禁用每条通道的 VSNS 功能。该位必须设置为 0 才能基于通道使能/禁用该功能。</p> <p>0h = VSNS ADC 功能已使能 1h = 禁用所有通道的 VSNS ADC 功能，所有通道的 ADC 转换序列中不包含 VSNS ADC 转换</p>
3	ADC_TSNS_DIS	R/W	1h	<p>该位决定是否禁用所有通道的温度检测功能。如果禁用，则 ADC 转换序列中不包含所有通道的温度检测转换。</p> <p>注意：温度检测功能只能全局使能或禁用</p> <p>0h = TSNS ADC 功能已使能 1h = 禁用所有通道的 TSNS ADC 功能，所有通道的 ADC 转换序列中不包含 TSNS ADC 转换</p>
2	ADC_ISNS_DIS	R/W	0h	<p>该位决定是否禁用所有通道的电流检测 (ISNS) 功能。如果禁用，则 ADC 转换序列中不包含所有通道的 ISNS 转换</p> <p>注意：也可以通过 CHx_CONFIG 寄存器中的 ISNS_DIS_CHx 位使能或禁用每条通道的 ISNS 功能。该位必须设置为 0 才能基于通道使能/禁用该功能。</p> <p>0h = ISNS ADC 功能已使能 1h = 禁用所有通道的 ISNS ADC 功能，所有通道的 ADC 转换序列中不包含 ISNS ADC 转换</p>
1	ADC_VBB_DIS	R/W	1h	<p>该位决定是否禁用 VBB_SNS 功能。如果禁用，则 ADC 转换序列中不包含电源电压 VBB 转换。</p> <p>0h = VBB_SNS ADC 功能已使能，ADC 转换序列中包含 VBB_SNS ADC 转换 1h = VBB_SNS ADC 功能已禁用，ADC 转换序列中不包含 VBB_SNS ADC 转换</p>

表 8-23. ADC_CONFIG 寄存器字段说明（续）

位	字段	类型	复位	说明
0	ADC_DIS	R/W	0h	该位决定是否应禁用 ADC 功能。如果禁用，则无法使用 VDS_SNS、VSNS、TSNS 或 ISNS。 ADC 默认已使能。 0h = 启用 ADC 功能 1h = 禁用所有 ADC 功能

8.5.10 ADC_RESULT_VBB 寄存器 (偏移 = Bh) [复位 = F800h]

ADC_RESULT_VBB 如表 8-24 所示。

返回到[汇总表](#)。

表 8-24. ADC_RESULT_VBB 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
15-11	RESERVED	R	1Fh	保留
10	VBB_RDY	R	0h	该位指示自上次读取后是否有 VBB 电压转换的新 ADC 结果可用 0h = VBB ADC 值未更新 1h = 自上次读取后新的 VBB ADC 值已就绪
9-0	ADC_RESULT_VBB	R	0h	转换 VBB 电压得到的 10 位 ADC 结果

8.5.11 FLT_STAT_CH1 寄存器 (偏移 = Dh) [复位 = E000h]

FLT_STAT_CH1 如表 8-25 所示。

返回到[汇总表](#)。

表 8-25. FLT_STAT_CH1 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
15-13	RESERVED	R	7h	保留
12	I2T_MOD_CH1	R	0h	该位指示通道 1 是否处于 I2T 循环中且正在累加或递减。当通道 1 不在 I2T 循环中时, 该值将为 0 0h = I2T 关断或该通道不在 I2T 循环中 1h = 通道在 I2T 循环中且正在累加
11	LATCH_STAT_CH1	R	0h	该位指示通道 1 是否由于过流保护或热关断故障而被锁存。 当通道关闭再重新开启时, 该位将被清除。 注意: 当由于 I2T 而发生关断时, 该位不会发出信号 0h = 该通道不会被锁存 1h = 该通道当前已被锁闭
10	FLT_CH1	R	0h	该位指示通道 1 当前是否处于自动重试等待时间周期 (2ms)、锁存或 I2T 冷却状态 0h = 该通道当前未处于自动重试等待时间、锁存状态或 I2T 冷却状态 1h = 该通道当前处于自动重试等待时间、锁存状态或 I2T 冷却状态
9	SW_STATE_STAT_CH1	R	0h	无论器件处于哪种模式, 只要 SPI 正常工作, 该位都会指示通道 1 的当前状态 0h = CH1 已关闭 1h = CH1 已开启
8	VOUT_ERR_CH1	R	0h	该位指示在经过 INRUSH_DURATION 周期后, 如果已使能, 通道 1 输出的漏源电压 (VDS) 是否小于 2V。 0h = 使能该通道时, 输出电压正确 (< 2V) 1h = 应使能或禁用该通道时, 输出电压不正确 (>2V)
7	I2T_FLT_CH1	RC	0h	该位指示通道 1 上是否发生了 I2T 故障。I2T_EN 必须设置为 1, 才能使该位指示 I2T 故障。 该故障将被锁存, 当读取 FLT_STAT_CH1 寄存器且故障条件不再存在时将被清除 注意: 该位不指示过流保护或热关断故障 0h = 未发生 I2T 故障或 I2T 未使能 1h = 该通道上发生了 I2T 故障
6	LPM_WAKE_CH1	RC	0h	该位指示通道 1 是否是器件退出 MANUAL_LPM 的原因, 无论原因是什么 (负载阶跃、短路) 0h = 器件未处于 LPM 或该通道并非器件退出 MANUAL_LPM 模式的原因 1h = 该通道是器件退出 MANUAL_LPM 的原因
5	THERMAL_SD_CH1	RC	0h	该位指示通道 1 上是否发生了热关断故障。 该故障将被锁存, 当读取 FLT_STAT_CH1 寄存器且通道温度降低至低于热关断迟滞阈值时将被清除 0h = 该通道上未发生热关断故障 1h = 该通道上发生了热关断故障
4	ILIMIT_CH1	RC	0h	该位指示通道 1 上是否发生了过流保护故障 该故障将被锁存, 当读取 FLT_STAT_CH1 寄存器且故障条件不再存在时将被清除 0h = 该通道上未发生过流保护故障 1h = 该通道上发生了过流保护故障

表 8-25. FLT_STAT_CH1 寄存器字段说明 (续)

位	字段	类型	复位	说明
3	SHRT_VBB_CH1	RC	0h	<p>该位指示通道 1 在关断状态下是否发生了 VBB 短路。</p> <p>通道 2 的输出通过 RSHRT_VBB 内部电阻器下拉。</p> <p>该故障将被锁存，当读取 FLT_STAT_CH1 寄存器且故障条件不再存在时将被清除</p> <p>0h = 该通道在关断状态下未发生 VBB 短路故障，或未使能关断状态下的 VBB 短路</p> <p>1h = 该通道上发生了关断状态下的 VBB 短路故障</p>
2	OL_OFF_CH1	RC	0h	<p>该位指示通道 1 在关断状态下是否存在开路负载。</p> <p>通道 1 的输出通过 OL_PULLUP_STR 设置上拉。</p> <p>该故障将被锁存，当读取 FLT_STAT_CH1 寄存器且故障条件不再存在时将被清除</p> <p>0h = 该通道上未发生关断状态开路负载故障，或未使能关断状态开路负载检测</p> <p>1h = 该通道上发生了关断状态开路负载故障</p>
1	RESERVED	R	0h	保留
0	THERMAL_WRN_CH1	RC	0h	<p>该位指示通道 1 的 FET 温度是否高于过热警告阈值。</p> <p>该故障将被锁存，当读取 FLT_STAT_CH1 寄存器且故障条件不再存在时将被清除</p> <p>0h = 该通道中的 FET 温度低于过热警告阈值</p> <p>1h = 该通道中的 FET 温度高于过热警告阈值</p>

8.5.12 PWM_CH1 寄存器 (偏移 = Eh) [复位 = F000h]

PWM_CH1 如表 8-26 所示。

返回到[汇总表](#)。

表 8-26. PWM_CH1 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
15-12	RESERVED	R	Fh	保留
11-9	PWM_FREQ_CH1	R/W	0h	设置 PWM 频率 0h = 0.8Hz 1h = 3.4Hz 2h = 13.8Hz 3h = 111Hz 4h = 221Hz 5h = 425Hz 6h = 885Hz 7h = 1770Hz
8-1	PWM_DTY_CH1	R/W	0h	这些位用于设置通道 1 PWM 操作的占空比。每个位的占空比约为 0.39%，线性上升至 100% 占空比
0	PWM_EN_CH1	R/W	0h	该位使能通道 1 的 PWM 操作。 注意：PWM 占空比 > 200us。是否发生故障将在 FLT_STAT_CH1 寄存器中反映。仅当 CAP_CHRG_CH1[1:0] = 0 时，才能使能 PWM 模式 0h = 输出跟随 CH1_ON 设置 1h = 如果 CH1_ON 为高电平，则输出为根据占空比和频率设置的 PWM

8.5.13 ILIM_CONFIG_CH1 寄存器 (偏移 = Fh) [复位 = 0066h]

ILIM_CONFIG_CH1 如表 8-27 所示。

返回到[汇总表](#)。

表 8-27. ILIM_CONFIG_CH1 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
15-14	RESERVED	R/W	0h	保留
13-12	CAP_CHRG_CH1	R/W	0h	<p>这些位将在开启后的浪涌周期内设置电容充电模式。</p> <p>当 CAP_CHRG_CH1 = 00 时，这些位在 INRUSH_DURATION_CH1 周期内编程为过流保护阈值。如果达到阈值，通道将立即关断。</p> <p>当 CAP_CHRG_CH1 = 10 时，这些位编程为电流限制调节阈值。通道将开启进入电流限制状态，并持续调节电流，直到输出充满电或出现热关断事件。</p> <p>注意：在 INRUSH_DURATION 期间未使能 PWM 和 I2T。</p> <p>0h = 无电容充电模式，IOCP 值通过 INRUSH_LIMIT_CH1 位设置 1h = 不支持 2h = 电流限制调节模式，值通过 INRUSH_LIMIT_CH1 位设置 3h = 不支持</p>
11	I2T_EN_CH1	R/W	0h	<p>使能通道 1 的 I2T 功能。I2T 可在使能通道之前或使能通道期间使能，但 I2T 计算仅在浪涌周期结束后开始。</p> <p>0h = I2T 功能未使能 1h = I2T 功能已使能</p>
10-8	INRUSH_DURATION_CH1	R/W	0h	<p>这些位决定浪涌周期持续时间，在此期间 INRUSH_LIMIT_CH1 电平有效。</p> <p>0h = 0ms 1h = 2ms 2h = 4ms 3h = 6ms 4h = 10ms 5h = 20ms 6h = 50ms 7h = 100ms</p>

表 8-27. ILIM_CONFIG_CH1 寄存器字段说明 (续)

位	字段	类型	复位	说明
7-4	INRUSH_LIMIT_CH1	R/W	6h	<p>这些位决定了通过 CAP_CHRG_CH1 位设置的不同电容充电模式下，通道 1 上的浪涌电流限制。</p> <p>如果未使用电容充电模式 (CAP_CHRG_CH1 = 00)，则值为：</p> <p>0h = 10A 1h = 12.5A 2h = 15A 3h = 17.5A 4h = 20A 5h = 22.5A 6h = 25A</p> <p>注意：CAP_CHRG_CH1 = 00 时，并联模式下支持的最大 INRUSH_LIMIT_CH1 值为 20A。</p> <p>如果使用电流调节模式 (CAP_CHRG_CH1 = 10)，则值为：</p> <p>0h = 1.5A 1h = 1.85A 2h = 2.25A 3h = 2.6A 4h = 3A 5h = 3.4A 6h = 3.8A 7h = 5A 8h = 6.25A 9h = 7.5A Ah = 8.7A Bh = 10.1A Ch = 11.3A</p> <p>不支持其他设置。</p>
3-0	ILIMIT_SET_CH1	R/W	6h	<p>这些位决定 INRUSH_DURATION 周期过期后通道 1 稳态运行时的过流保护 (I_{OC}P) 阈值。</p> <p>注意：CAP_CHRG_CH1 = 00 时，并联模式下支持的最大 ILIMIT_SET_CH1 值为 20A。</p> <p>0h = 10A 1h = 12.5A 2h = 15A 3h = 17.5A 4h = 20A 5h = 22.5A 6h = 25A</p> <p>不支持其他设置。</p>

8.5.14 CH1_CONFIG 寄存器 (偏移 = 10h) [复位 = C002h]

CH1_CONFIG 如表 8-28 所示。

返回到[汇总表](#)。

表 8-28. CH1_CONFIG 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
15	VSNS_DIS_CH1	R/W	1h	该位决定是否使能通道 1 的 VOUT VSNS ADC 功能。 0h = CH1 VOUT VSNS ADC 功能已使能 1h = CH1 VOUT VSNS ADC 功能已禁用
14	VDS_SNS_DIS_CH1	R/W	1h	该位决定是否使能通道 1 的 VDS_SNS ADC 功能。 0h = CH1 VDS_SNS ADC 功能已使能 1h = CH1 VDS_SNS ADC 功能已禁用
13	ISNS_DIS_CH1	R/W	0h	该位决定是否使能通道 1 的 ISNS ADC 功能。 0h = CH1 ISNS ADC 功能已使能 1h = CH1 ISNS ADC 功能已禁用
12-11	RESERVED	R/W	0h	保留
10	ISNS_SCALE_CH1	R/W	0h	该位决定 ADC 输入的通道 1 ISNS 的电压调节 注意：建议仅在 OL_ON_EN_CH1 = 1 模式下且 I2T 已禁用 (I2T_EN_CH1 = 0) 时使用 8 倍电压调节选项。如果 I2T 已使能 (I2T_EN_CH1 = 1) 且 ISNS_SCALE_CH1 = 1，则对 I2T 算法应用 8 倍电压调节，这将提供不同的 I2T 跳闸阈值，并可能导致通道在较低的 I2T 阈值关断。 0h = ADC 输入电压调整比例等于 1 倍 1h = ADC 输入电压调整比例等于 8 倍
9	OL_ON_EN_CH1	R/W	0h	该位决定通道 1 是否应进入具有较高 RON 和较低 KSNS 值的模式，以更准确地测量较低的输出电流。 注意：建议仅在 I2T 已禁用 (I2T_EN_CH1 = 0) 时使用 OL_ON_EN_CH1 = 1 模式。如果 I2T 已使能 (I2T_EN_CH1 = 1) 且 OL_ON_EN_CH1 = 1，则对 I2T 算法应用较低的 KSNS2，这将提供不同的 I2T 跳闸阈值，并可能导致通道在较低的 I2T 阈值关断。仅当通道上没有现有故障且输出电流低于 I_ENTRY_OL_ON 时，器件才能进入此模式。 0h = KSNS1 比率且 RON = RON 1h = KSNS2 比率且 RON = RON_OL
8-7	OL_SVBB_BLANK_CH1	R/W	0h	这些位决定通道 1 在 OFF 状态下开路负载或 VBB 短路故障的消隐时间 0h = 消隐时间为 0.4ms 1h = 消隐时间为 1.0ms 2h = 消隐时间为 2.0ms 3h = 消隐时间为 4.0ms
6-5	OL_PU_STR_CH1	R/W	0h	这些位决定关断状态开路负载检测电路在 VOUT1 处的上拉电流 (I_pu)。 0h = I_pu 为 26.5μA 1h = I_pu 为 60μA 2h = I_pu 为 127μA 3h = I_pu 为 260μA

表 8-28. CH1_CONFIG 寄存器字段说明 (续)

位	字段	类型	复位	说明
4-3	OL_SVBB_EN_CH1	R/W	0h	<p>这些位用于在 OFF 状态下使能开路负载和电源短路检测。</p> <p>将这些位设置为 10 会导通上拉电阻，通过输出比较器检测在关断状态下是否存在开路负载或电源短路。如果 OL_OFF_CH1 = 1，则存在电源短路或开路负载故障。</p> <p>此后，这些位可设置为 01，导通下拉电阻以区分关断状态下的电源短路与开路负载。</p> <p>如果发生电源短路，则 SHRT_VBB_CH1 = 1；否则，SHRT_VBB_CH1 = 0 并存在开路负载。</p> <p>“开关禁用时的检测”部分详述了上述顺序</p> <p>0h = 禁用 1h = 使能输出下拉电阻以区分电源短路与开路负载。 2h = 使能从 VBB 电源到输出的上拉电阻，以检测是否存在开路负载或电池短路。 3h = 仅使能输出比较器，使用外部开关和上拉/下拉电阻以检测开路负载或电源短路。</p>
2	LATCH_CH1	R/W	0h	<p>该位决定发生过流或热关断事件后通道 1 应自动重试还是锁存。</p> <p>0h = 通道 1 将在 tRETRY 到期且达到 THYS 后自动重试 1h = 通道 1 会锁存，直到再次写入 SW_STATE 寄存器</p>
1-0	SLRT_CH1	R/W	2h	<p>这些位决定通道 1 的导通和关断压摆率。</p> <p>0h = 0.14 V/μs 1h = 0.2 V/μs 2h = 0.25 V/μs 3h = 0.32 V/μs</p>

8.5.15 ADC_RESULT_CH1_I 寄存器 (偏移 = 11h) [复位 = F000h]

ADC_RESULT_CH1_I 如表 8-29 所示。

返回到[汇总表](#)。

表 8-29. ADC_RESULT_CH1_I 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
15-12	RESERVED	R	Fh	保留
11	ISNS_SCALE_EFF_CH1	R	0h	该位指示用于转换的电压调节系数 0h = 1 倍 ISNS1 电压调节 1h = 8 倍 ISNS1 电压调节
10	ISNS_RDY_CH1	R	0h	确保自上次读取此项时后 ADC 转换为新值 0h = ADC 值未更新 1h = 自上次读取后 ADC 值已就绪
9-0	ADC_RESULT_CH1_I	R	0h	CH1 中电流转换的 ADC 结果 (10 位)

8.5.16 ADC_RESULT_CH1_T 寄存器 (偏移 = 12h) [复位 = F800h]

ADC_RESULT_CH1_T 如表 8-30 所示。

返回到[汇总表](#)。

表 8-30. ADC_RESULT_CH1_T 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
15-11	RESERVED	R	1Fh	保留
10	TSNS_RDY_CH1	R	0h	该位指示自上次读取后是否有通道 1 TSNS 转换的新 ADC 结果可用 0h = ADC 值未更新 1h = 自上次读取后 ADC 值已就绪
9-0	ADC_RESULT_CH1_T	R	0h	转换通道 1 FET 温度得到的 10 位 ADC 结果 (TSNS)

8.5.17 ADC_RESULT_CH1_V 寄存器 (偏移 = 13h) [复位 = F800h]

ADC_RESULT_CH1_V 如表 8-31 所示。

返回到[汇总表](#)。

表 8-31. ADC_RESULT_CH1_V 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
15-11	RESERVED	R	1Fh	保留
10	VSNS_RDY_CH1	R	0h	该位指示自上次读取后是否有通道 1 VOUT 电压 (VSNS) 转换的新 ADC 结果可用 0h = ADC 值未更新 1h = 自上次读取后 ADC 值已就绪
9-0	ADC_RESULT_CH1_V	R	0h	转换通道 1 VOUT 电压得到的 10 位 ADC 结果 (VSNS)

8.5.18 ADC_RESULT_CH1_VDS 寄存器 (偏移 = 14h) [复位 = F800h]

ADC_RESULT_CH1_VDS 如表 8-32 所示。

返回到[汇总表](#)。

表 8-32. ADC_RESULT_CH1_VDS 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
15-11	RESERVED	R	1Fh	保留
10	VDSSNS_RDY_CH1	R	0h	该位指示自上次读取后是否有通道 1 VDS 电压 (VDSSNS) 转换的新 ADC 结果可用 0h = ADC 值未更新 1h = 自上次读取后 ADC 值已就绪
9-0	ADC_RESULT_CH1_VDS	R	0h	转换通道 1 VDS 电压得到的 10 位 ADC 结果 (VDSSNS)

8.5.19 I2T_CONFIG_CH1 寄存器 (偏移 = 15h) [复位 = 0000h]

I2T_CONFIG_CH1 如表 8-33 所示。

返回到[汇总表](#)。

表 8-33. I2T_CONFIG_CH1 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
15-14	TCLDN_CH1	R/W	0h	<p>这些位设置通道 1 在 I2T 关断后的冷却时间 (或重试时间)。</p> <p>注意：如果使用设置 0x0，则通道将在 I2T 关断后保持关断状态而不会重试。要在此设置中重试，请将这些位更改为 0.8s、2.0s 或 4.0s 选项，以允许器件在 I2T 关断后重试。</p> <p>0h = 无限期冷却 1h = 0.8s 2h = 2.0s 3h = 4.0s</p>
13-11	RESERVED	R/W	0h	保留
10-9	SWCL_DLY_TMR_CH1	R/W	0h	<p>这些位将设置计时器，如果 IOUT 电流持续超过 ISWCL 电平达到配置的时间，通道 1 将关断。</p> <p>0h = 0.2ms 1h = 0.4ms 2h = 1.0ms 3h = 2.0ms</p>
8-7	ISWCL_CH1	R/W	0h	<p>这些位设置通道 1 的延迟关断电流检测值 ($I_{SWCL,700}$)。IOUT 电流超过 $I_{SWCL,700}$ 值后，计时器将启动；如果电流保持高于 $I_{SWCL,700}$ 阈值的持续时间达到 SWCL_DLY_TMR_CH1，将关断通道。</p> <p>该阈值应设置为低于电流检测饱和值 ($I_{OUT_SAT} = K_{SNS1} * I_{SNS_SAT}$)。以下电流阈值假设 $R_{SNS} = 700\Omega$。要根据不同的 R_{SNS} 值计算新的 $I_{SWCL,700}$ 阈值，可使用以下公式：</p> $I_{SWCL,ADJ} = I_{SWCL,700} * (700/R_{SNS})$ <p>0h = 19.55A 1h = 17.6A 2h = 16.05A 3h = 13.3A</p>
6-3	I2T_TRIP_CH1	R/W	0h	<p>这些位设置通道 1 的 I2T 跳闸值。</p> <p>注意：I2T 跳闸值的参考公式如下：</p> $I2T = (I_{OUT1}^2 - NOM_CUR_CH1^2) * t$ <p>以下值假设 $R_{SNS} = 700\Omega$。要根据不同的 R_{SNS} 值计算新的 I2T 跳闸值，可使用以下公式：</p> $I2T_{ADJ} = I2T_{700} * (700/R_{SNS})^2$ <p>注意：器件处于冷却周期时，无法修改 I2T_TRIP_CH1 值。</p> <p>0h = 8.8 A2s 1h = 13.1 A2s 2h = 26.3 A2s 3h = 39.4 A2s 4h = 52.5 A2s 5h = 65.6 A2s 6h = 78.8 A2s 7h = 91.9 A2s 8h = 109.4 A2s 9h = 126.9 A2s Ah = 144.4 A2s Bh = 166.3 A2s Ch = 192.5 A2s Dh = 218.8 A2s Eh = 262.5 A2s Fh = 350 A2s</p>

表 8-33. I2T_CONFIG_CH1 寄存器字段说明 (续)

位	字段	类型	复位	说明
2-0	NOM_CUR_CH1	R/W	0h	<p>这些位设置 I2T 功能通道 1 的标称电流值。如果为通道 1 使能 I2T 功能，则高于该值时，器件将进入 I2T 累加模式。</p> <p>下面的标称电流值假设 $R_{SNS} = 700\ \Omega$。要根据不同的 R_{SNS} 值计算新的 I2T 跳闸值，可使用以下公式：</p> $NOM_CUR_CH1_{ADJ} = NOM_CUR_CH1_{700} * (700 / R_{SNS})$ <p>注意：器件处于冷却周期时，无法修改 NOM_CUR_CH1 值。</p> <p>0h = 4.0A 1h = 5.0A 2h = 5.7A 3h = 6.5A 4h = 7.5A 5h = 9.0A 6h = 12.0A 7h = 15.0A</p>

8.5.20 FLT_STAT_CH2 寄存器 (偏移 = 16h) [复位 = E000h]

FLT_STAT_CH2 如表 8-34 所示。

返回到[汇总表](#)。

表 8-34. FLT_STAT_CH2 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
15-13	RESERVED	R	7h	保留
12	I2T_MOD_CH2	R	0h	该位指示通道 2 是否处于 I2T 循环中且正在累加或递减。当通道 2 不在 I2T 循环中时，该值将为 0 0h = I2T 关断或该通道不在 I2T 循环中 1h = 通道在 I2T 循环中且正在累加
11	LATCH_STAT_CH2	R	0h	该位指示通道 2 是否由于过流保护或热关断故障而被锁存。 当通道关闭再重新开启时，该位将被清除。 注意：当由于 I2T 而发生关断时，该位不会发出信号 0h = 该通道不会被锁存 1h = 该通道当前已被锁闭
10	FLT_CH2	R	0h	该位指示通道 2 当前是否处于自动重试等待时间周期 (2ms)、锁存或 I2T 冷却状态 0h = 该通道当前未处于自动重试等待时间、锁存状态或 I2T 冷却状态 1h = 该通道当前处于自动重试等待时间、锁存状态或 I2T 冷却状态
9	SW_STATE_STAT_CH2	R	0h	无论器件处于哪种模式，只要 SPI 正常工作，该位都会指示通道 2 的当前状态 0h = CH2 已关闭 1h = CH2 已开启
8	VOUT_ERR_CH2	R	0h	该位指示在经过 INRUSH_DURATION 周期后，如果已使能，通道 2 输出的漏源电压 (VDS) 是否小于 2V。 0h = 使能该通道时，输出电压正确 (< 2V) 1h = 应使能或禁用该通道时，输出电压不正确 (>2V)
7	I2T_FLT_CH2	RC	0h	该位指示通道 2 上是否发生了 I2T 故障。I2T_EN 必须设置为 1，才能使该位指示 I2T 故障。 该故障将被锁存，当读取 FLT_STAT_CH2 寄存器且故障条件不再存在时将被清除 注意：该位不指示过流保护或热关断故障 0h = 未发生 I2T 故障或 I2T 未使能 1h = 该通道上发生了 I2T 故障
6	LPM_WAKE_CH2	RC	0h	该位指示通道 2 是否是器件退出 MANUAL_LPM 的原因，无论原因是什么 (负载阶跃、短路) 0h = 器件未处于 LPM 或该通道并非器件退出 MANUAL_LPM 模式的原因 1h = 该通道是器件退出 MANUAL_LPM 的原因
5	THERMAL_SD_CH2	RC	0h	该位指示通道 2 上是否发生了热关断故障。 该故障将被锁存，当读取 FLT_STAT_CH2 寄存器且通道温度降至低于热关断迟滞阈值时将被清除 0h = 该通道上未发生热关断故障 1h = 该通道上发生了热关断故障
4	ILIMIT_CH2	RC	0h	该位指示通道 2 上是否发生了过流保护故障 该故障将被锁存，当读取 FLT_STAT_CH2 寄存器且故障条件不再存在时将被清除 0h = 该通道上未发生过流保护故障 1h = 该通道上发生了过流保护故障

表 8-34. FLT_STAT_CH2 寄存器字段说明 (续)

位	字段	类型	复位	说明
3	SHRT_VBB_CH2	RC	0h	<p>该位指示通道 2 在关断状态下是否发生了 VBB 短路。</p> <p>通道 2 的输出通过 RSHRT_VBB 内部电阻器下拉。</p> <p>该故障将被锁存，当读取 FLT_STAT_CH2 寄存器且故障条件不再存在时将被清除</p> <p>0h = 该通道在关断状态下未发生 VBB 短路故障，或未使能关断状态下的 VBB 短路</p> <p>1h = 该通道上发生了关断状态下的 VBB 短路故障</p>
2	OL_OFF_CH2	RC	0h	<p>该位指示通道 2 在关断状态下是否存在开路负载。</p> <p>通道 2 的输出通过 OL_PULLUP_STR 设置上拉。</p> <p>该故障将被锁存，当读取 FLT_STAT_CH2 寄存器且故障条件不再存在时将被清除</p> <p>0h = 该通道上未发生关断状态开路负载故障，或未使能关断状态开路负载检测</p> <p>1h = 该通道上发生了关断状态开路负载故障</p>
1	RESERVED	R	0h	保留
0	THERMAL_WRN_CH2	RC	0h	<p>该位指示通道 2 的 FET 温度是否高于过热警告阈值。</p> <p>该故障将被锁存，当读取 FLT_STAT_CH2 寄存器且故障条件不再存在时将被清除</p> <p>0h = 该通道中的 FET 温度低于过热警告阈值</p> <p>1h = 该通道中的 FET 温度高于过热警告阈值</p>

8.5.21 PWM_CH2 寄存器 (偏移 = 17h) [复位 = F000h]

PWM_CH2 如表 8-35 所示。

返回到[汇总表](#)。

表 8-35. PWM_CH2 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
15-12	RESERVED	R	Fh	保留
11-9	PWM_FREQ_CH2	R/W	0h	设置 PWM 频率 0h = 0.8Hz 1h = 3.4Hz 2h = 13.8Hz 3h = 111Hz 4h = 221Hz 5h = 425Hz 6h = 885Hz 7h = 1770Hz
8-1	PWM_DTY_CH2	R/W	0h	这些位用于设置通道 2 PWM 操作的占空比。每个位的占空比约为 0.39%，线性上升至 100% 占空比
0	PWM_EN_CH2	R/W	0h	该位使能通道 2 的 PWM 操作。 注意：PWM 占空比 > 200us。是否发生故障将在 FLT_STAT_CH2 寄存器中反映。仅当 CAP_CHRG_CH2[1:0] = 0 时，才能使能 PWM 模式 0h = 输出跟随 CH2_ON 设置 1h = 如果 CH2_ON 为高电平，则输出为根据占空比和频率设置的 PWM

8.5.22 ILIM_CONFIG_CH2 寄存器 (偏移 = 18h) [复位 = 0066h]

ILIM_CONFIG_CH2 如表 8-36 所示。

返回到[汇总表](#)。

表 8-36. ILIM_CONFIG_CH2 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
15-14	RESERVED	R/W	0h	保留
13-12	CAP_CHRG_CH2	R/W	0h	<p>这些位将在开启后的浪涌周期内设置电容充电模式。</p> <p>当 CAP_CHRG_CH1 = 00 时，这些位在 INRUSH_DURATION_CH1 周期内编程为过流保护阈值。如果达到阈值，通道将立即关断。</p> <p>当 CAP_CHRG_CH1 = 10 时，这些位编程为电流限制调节阈值。通道将开启进入电流限制状态，并持续调节电流，直到输出充满电或出现热关断事件。</p> <p>注意：在 INRUSH_DURATION 期间未使能 PWM 和 I2T。</p> <p>0h = 无电容充电模式，IOCP 值通过 INRUSH_LIMIT_CH1 位设置 1h = 不支持 2h = 电流限制调节模式，值通过 INRUSH_LIMIT_CH1 位设置 3h = 不支持</p>
11	I2T_EN_CH2	R/W	0h	<p>使能通道 2 的 I2T 功能。I2T 可在使能通道之前或使能通道期间使能，但 I2T 计算仅在浪涌周期结束后开始。</p> <p>0h = I2T 功能未使能 1h = I2T 功能已使能</p>
10-8	INRUSH_DURATION_CH2	R/W	0h	<p>这些位决定浪涌周期持续时间，在此期间 INRUSH_LIMIT_CH2 电平有效。</p> <p>0h = 0ms 1h = 2ms 2h = 4ms 3h = 6ms 4h = 10ms 5h = 20ms 6h = 50ms 7h = 100ms</p>
7-4	INRUSH_LIMIT_CH2	R/W	6h	<p>这些位决定了通过 CAP_CHRG_CH1 位设置的不同电容充电模式下，通道 2 上的浪涌电流限制。</p> <p>如果未使用电容充电模式 (CAP_CHRG_CH2 = 00)，则值为：</p> <p>0h = 10A 1h = 12.5A 2h = 15A 3h = 17.5A 4h = 20A 5h = 22.5A 6h = 25A</p> <p>如果使用电流调节模式 (CAP_CHRG_CH2 = 10)，则值为：</p> <p>0h = 1.5A 1h = 1.85A 2h = 2.25A 3h = 2.6A 4h = 3A 5h = 3.4A 6h = 3.8A 7h = 5A 8h = 6.25A 9h = 7.5A Ah = 8.7A Bh = 10.1A Ch = 11.3A 不支持其他设置。</p>

表 8-36. ILIM_CONFIG_CH2 寄存器字段说明 (续)

位	字段	类型	复位	说明
3-0	ILIMIT_SET_CH2	R/W	6h	<p>这些位决定 INRUSH_DURATION 周期过期后通道 2 稳态运行时的过流保护 (I_{OC}P) 阈值。</p> <p>0h = 10A 1h = 12.5A 2h = 15A 3h = 17.5A 4h = 20A 5h = 22.5A 6h = 25A 不支持其他设置。</p>

8.5.23 CH2_CONFIG 寄存器 (偏移 = 19h) [复位 = C002h]

CH2_CONFIG 如表 8-37 所示。

返回到[汇总表](#)。

表 8-37. CH2_CONFIG 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
15	VSNS_DIS_CH2	R/W	1h	该位决定是否使能通道 2 的 VOUT VSNS ADC 功能。 0h = CH2 VOUT VSNS ADC 功能已使能 1h = CH2 VOUT VSNS ADC 功能已禁用
14	VDSSNS_DIS_CH2	R/W	1h	该位决定是否使能通道 2 的 VDS_SNS ADC 功能。 0h = CH2 VDS_SNS ADC 功能已使能 1h = CH2 VDS_SNS ADC 功能已禁用
13	ISNS_DIS_CH2	R/W	0h	该位决定是否使能通道 2 的 ISNS ADC 功能。 0h = CH2 ISNS ADC 功能已使能 1h = CH2 ISNS ADC 功能已禁用
12-11	RESERVED	R/W	0h	保留
10	ISNS_SCALE_CH2	R/W	0h	该位决定 ADC 输入的通道 2 ISNS 的电压调节 注意：建议仅在 OL_ON_EN_CH2 = 1 模式下且 I2T 已禁用 (I2T_EN_CH2 = 0) 时使用 8 倍电压调节选项。如果 I2T 已使能 (I2T_EN_CH2 = 1) 且 ISNS_SCALE_CH2 = 1，则对 I2T 算法应用 8 倍电压调节，这将提供不同的 I2T 跳闸阈值，并可能导致通道在较低的 I2T 阈值关断。 0h = ADC 输入电压调整比例等于 1 倍 1h = ADC 输入电压调整比例等于 8 倍
9	OL_ON_EN_CH2	R/W	0h	该位决定通道 2 是否应进入具有较高 RON 和较低 KSNS 值的模式，以更准确地测量较低的输出电流。 注意：建议仅在 I2T 已禁用 (I2T_EN_CH2 = 0) 时使用 OL_ON_EN_CH2 = 1 模式。如果 I2T 已使能 (I2T_EN_CH2 = 1) 且 OL_ON_EN_CH2 = 1，则对 I2T 算法应用较低的 KSNS2，这将提供不同的 I2T 跳闸阈值，并可能导致通道在较低的 I2T 阈值关断。仅当通道上没有现有故障且输出电流低于 I _{ENTRY_OL_ON} 时，器件才能进入此模式。 0h = KSNS1 比率且 RON = RON 1h = KSNS2 比率且 RON = RON_OL
8-7	OL_SVBB_BLANK_CH2	R/W	0h	这些位决定通道 2 在 OFF 状态下开路负载或 VBB 短路故障的消隐时间 0h = 消隐时间为 0.4ms 1h = 消隐时间为 1.0ms 2h = 消隐时间为 2.0ms 3h = 消隐时间为 4.0ms
6-5	OL_PU_STR_CH2	R/W	0h	这些位决定关断状态开路负载检测电路在 VOUT1 处的上拉电流 (I _{pu})。 0h = I _{pu} 为 26.5μA 1h = I _{pu} 为 60μA 2h = I _{pu} 为 127μA 3h = I _{pu} 为 260μA

表 8-37. CH2_CONFIG 寄存器字段说明 (续)

位	字段	类型	复位	说明
4-3	OL_SVBB_EN_CH2	R/W	0h	<p>这些位用于在 OFF 状态下使能开路负载和电源短路检测。</p> <p>将这些位设置为 10 会导通上拉电阻，通过输出比较器检测在关断状态下是否存在开路负载或电源短路。如果 OL_OFF_CH2 = 1，则存在电源短路或开路负载故障。</p> <p>此后，这些位可设置为 01，导通下拉电阻以区分关断状态下的电源短路与开路负载。</p> <p>如果发生电源短路，则 SHRT_VBB_CH2 = 1；否则，SHRT_VBB_CH2 = 0 并存在开路负载。</p> <p>“开关禁用时的检测”部分详述了上述顺序</p> <p>0h = 禁用 1h = 导通输出下拉电阻以区分电源短路与开路负载。 2h = 导通从 VBB 电源到输出的上拉电阻，以检测是否存在开路负载或电池短路。 3h = 使能输出比较器，使用外部开关和上拉/下拉电阻以检测开路负载或电源短路。</p>
2	LATCH_CH2	R/W	0h	<p>该位决定发生过流或热关断事件后通道 2 应自动重试还是锁存。</p> <p>0h = 通道 2 将在 tRETRY 到期且达到 THYS 后自动重试 1h = 通道 2 会锁存，直到再次写入 SW_STATE 寄存器</p>
1-0	SLRT_CH2	R/W	2h	<p>这些位决定通道 2 的导通和关断压摆率。</p> <p>0h = 0.14 V/μs 1h = 0.2 V/μs 2h = 0.25 V/μs 3h = 0.32 V/μs</p>

8.5.24 ADC_RESULT_CH2_I 寄存器 (偏移 = 1Ah) [复位 = F000h]

ADC_RESULT_CH2_I 如表 8-38 所示。

返回到[汇总表](#)。

表 8-38. ADC_RESULT_CH2_I 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
15-12	RESERVED	R	Fh	保留
11	ISNS_SCALE_EFF_CH2	R	0h	该位指示用于转换的电压调节系数 0h = 1 倍 ISNS2 电压调节 1h = 8 倍 ISNS2 电压调节
10	ISNS_RDY_CH2	R	0h	确保自上次读取此项时后 ADC 转换为新值 0h = ADC 值未更新 1h = 自上次读取后 ADC 值已就绪
9-0	ADC_RESULT_CH2_I	R	0h	CH2 中电流转换的 ADC 结果 (10 位)

8.5.25 ADC_RESULT_CH2_T 寄存器 (偏移 = 1Bh) [复位 = F800h]

ADC_RESULT_CH2_T 如表 8-39 所示。

返回到[汇总表](#)。

表 8-39. ADC_RESULT_CH2_T 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
15-11	RESERVED	R	1Fh	保留
10	TSNS_RDY_CH2	R	0h	该位指示自上次读取后是否有通道 2 TSNS 转换的新 ADC 结果可用 0h = ADC 值未更新 1h = 自上次读取后 ADC 值已就绪
9-0	ADC_RESULT_CH2_T	R	0h	转换通道 2 FET 温度得到的 10 位 ADC 结果 (TSNS)

8.5.26 ADC_RESULT_CH2_V 寄存器 (偏移 = 1Ch) [复位 = F800h]

ADC_RESULT_CH2_V 如表 8-40 所示。

返回到[汇总表](#)。

表 8-40. ADC_RESULT_CH2_V 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
15-11	RESERVED	R	1Fh	保留
10	VSNS_RDY_CH2	R	0h	该位指示自上次读取后是否有通道 2 VOUT 电压 (VSNS) 转换的新 ADC 结果可用 0h = ADC 值未更新 1h = 自上次读取后 ADC 值已就绪
9-0	ADC_RESULT_CH2_V	R	0h	转换通道 2 VOUT 电压得到的 10 位 ADC 结果 (VSNS)

8.5.27 ADC_RESULT_CH2_VDS 寄存器 (偏移 = 1Dh) [复位 = F800h]

ADC_RESULT_CH2_VDS 如表 8-41 所示。

返回到[汇总表](#)。

表 8-41. ADC_RESULT_CH2_VDS 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
15-11	RESERVED	R	1Fh	保留
10	VDSSNS_RDY_CH2	R	0h	该位指示自上次读取后是否有通道 2 VDS 电压 (VDSSNS) 转换的新 ADC 结果可用 0h = ADC 值未更新 1h = 自上次读取后 ADC 值已就绪
9-0	ADC_RESULT_CH2_VDS	R	0h	转换通道 2 VDS 电压得到的 10 位 ADC 结果 (VDSSNS)

8.5.28 I2T_CONFIG_CH2 寄存器 (偏移 = 1Eh) [复位 = 0000h]

I2T_CONFIG_CH2 如表 8-42 所示。

返回到[汇总表](#)。

表 8-42. I2T_CONFIG_CH2 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
15-14	TCLDN_CH2	R/W	0h	<p>这些位设置通道 2 在 I2T 关断后的冷却时间 (或重试时间)。</p> <p>注意：如果使用设置 0x0，则通道将在 I2T 关断后保持关断状态而不会重试。要在此设置中重试，请将这些位更改为 0.8s、2.0s 或 4.0s 选项，以允许器件在 I2T 关断后重试。</p> <p>0h = 无限期冷却 1h = 0.8s 2h = 2.0s 3h = 4.0s</p>
13-11	RESERVED	R/W	0h	保留
10-9	SWCL_DLY_TMR_CH2	R/W	0h	<p>这些位将设置计时器，如果 I_{OUT} 电流持续超过 ISWCL 电平达到配置的时间，通道 2 将关断。</p> <p>0h = 0.2ms 1h = 0.4ms 2h = 1.0ms 3h = 2.0ms</p>
8-7	ISWCL_CH2	R/W	0h	<p>这些位设置通道 2 的延迟关断电流检测值 (I_{SWCL,700})。I_{OUT} 电流超过 I_{SWCL,700} 值后，计时器将启动；如果电流保持高于 I_{SWCL,700} 阈值的持续时间达到 SWCL_DLY_TMR_CH2，将关断通道。</p> <p>该阈值应设置为低于电流检测饱和值 (I_{OUT,SAT} = K_{SNS1} * I_{SNS,SAT})。以下电流阈值假设 R_{SNS} = 700Ω。要根据不同的 R_{SNS} 值计算新的 I_{SWCL,700} 阈值，可使用以下公式：</p> $I_{SWCL,ADJ} = I_{SWCL,700} * (700/R_{SNS})$ <p>0h = 19.55A 1h = 17.6A 2h = 16.05A 3h = 13.3A</p>
6-3	I2T_TRIP_CH2	R/W	0h	<p>这些位设置通道 2 的 I2T 跳闸值。</p> <p>注意：I2T 跳闸值的参考公式如下：</p> $I2T = (I_{OUT2}^2 - NOM_CUR_CH2^2) * t$ <p>以下值假设 R_{SNS} = 700Ω。要根据不同的 R_{SNS} 值计算新的 I2T 跳闸值，可使用以下公式：</p> $I2T_{ADJ} = I2T_{700} * (700/R_{SNS})^2$ <p>注意：器件处于冷却周期时，无法修改 I2T_TRIP_CH2 值。</p> <p>0h = 8.8 A2s 1h = 13.1 A2s 2h = 26.3 A2s 3h = 39.4 A2s 4h = 52.5 A2s 5h = 65.6 A2s 6h = 78.8 A2s 7h = 91.9 A2s 8h = 109.4 A2s 9h = 126.9 A2s Ah = 144.4 A2s Bh = 166.3 A2s Ch = 192.5 A2s Dh = 218.8 A2s Eh = 262.5 A2s Fh = 350 A2s</p>

表 8-42. I2T_CONFIG_CH2 寄存器字段说明 (续)

位	字段	类型	复位	说明
2-0	NOM_CUR_CH2	R/W	0h	<p>这些位设置 I2T 功能通道 2 的标称电流值。如果为通道 2 使能 I2T 功能，则高于该值时，器件将进入 I2T 累加模式。</p> <p>下面的标称电流值假设 $R_{SNS} = 700\ \Omega$。要根据不同的 R_{SNS} 值计算新的 I2T 跳闸值，可使用以下公式：</p> $NOM_CUR_CH2_{ADJ} = NOM_CUR_CH2_{700} * (700 / R_{SNS})$ <p>注意：器件处于冷却周期时，无法修改 NOM_CUR_CH2 值。</p> <p>0h = 4.0A 1h = 5.0A 2h = 5.7A 3h = 6.5A 4h = 7.5A 5h = 9.0A 6h = 12.0A 7h = 15.0A</p>

9 应用和实施

备注

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

9.1 应用信息

图 9-1 和图 9-2 分别展示了 TPS2HCS10A-Q1 和 TPS2HCS10B-Q1 典型应用的原理图。其包含所有标准外部元件。数据表的这一部分讨论了实现常用应用功能时的注意事项。该电路假定输入电源上没有反极性保护，因此需要额外的保护元件。

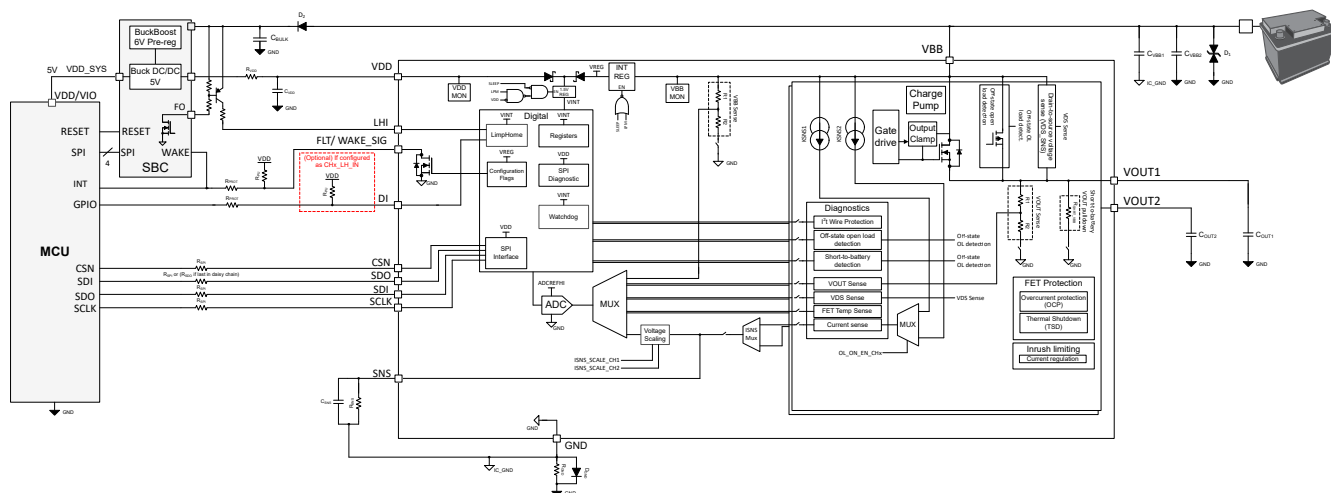


图 9-1. 系统图 — TPS2HCS10A-Q1

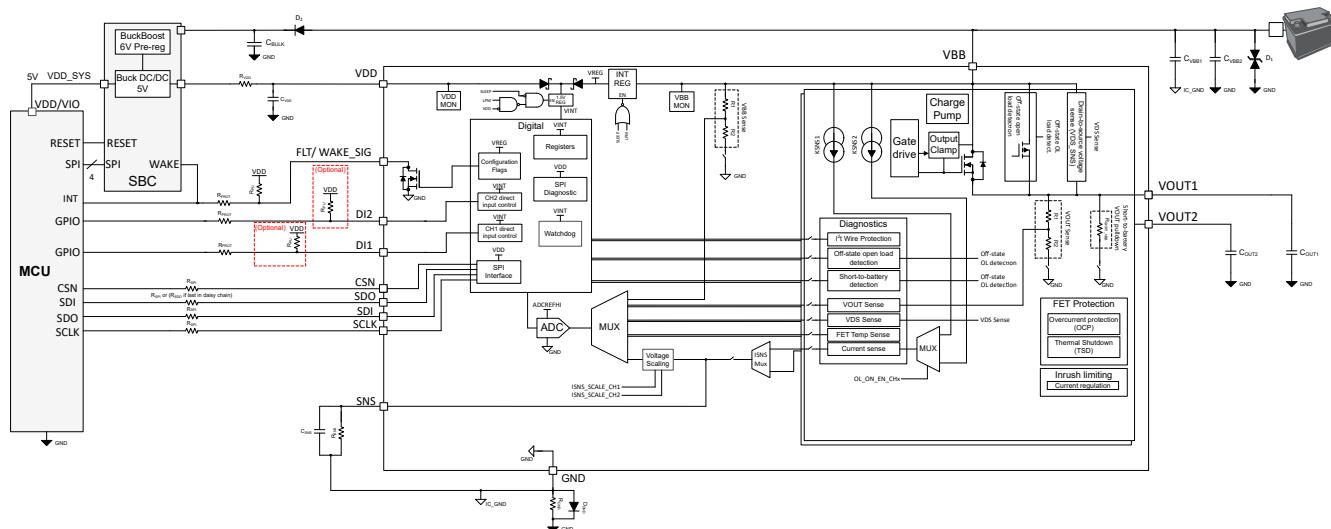


图 9-2. 系统图 — TPS2HCS10B-Q1

使用接地保护网络时，器件接地端将相对于微控制器接地端发生偏移。控制器 (MCU) I/O 以及 TPS2HCS10B-Q1 器件的 VDD 电源输入应使用相同的电源：即 5V (推荐) 或 3.3V 电源。

表 9-1. 推荐的外部元件

元件	典型值	用途
R_{SPI}	22 Ω	(可选) 适用于 SPI 引脚上的 EMI 或其他瞬态限制。
R_{SDO}	768 Ω	较高的值可将 MCU VDD 的总电阻增加至 768 Ω ，用于接地损耗检测
R_{PROT}	10k Ω	保护微控制器和器件 GPIO 引脚
R_{PU}	4.7k Ω	上拉电阻器
R_{SNS}	0.2-1.5k Ω	将检测电流转换为内部 ADC 输入的检测电压
C_{SNS}	1 - 4.7nF	ADC 输入的低通滤波器。
D_1	+/-36V	用于抑制电压瞬变 (该模块使用一个)
D_{GND}	BAS21/肖特基二极管	用于在器件正常运行期间限制 R_{GND} 两端的压降。建议使用低正向电压二极管；当 VDD 为 3.3V 时，建议使用肖特基二极管。(注意：建议使用 5V 的 VDD 工作电压，以获得较低的 I_q)
R_{GND}	4.7k Ω	在负输出电压偏移期间保持接地电位
R_{VDD}	10 Ω	限制到 IC 的 VDD 电源输入的上升/下降速率。
C_{VDD}	470nF	系统接地的 VDD 电源电压稳定性。
C_{VBB1}	1nF - 4.7nF 连接至 IC_GND	(可选) 用于改善辐射。
C_{VBB2}	100nF - 2200nF 连接至模块 GND	稳定输入电源并滤除低频噪声。
C_{OUTx}	22nF - 100nF	滤除电压瞬变 (例如, ESD、ISO7637-2)。 如果使用 MANUAL_LPM、CAP_CHRG_CHx = 10 和/或 OL_ON_EN = 1 模式，并且输出端未使用反激式二极管，则对于 MANUAL_LPM、CAP_CHRG_CHx = 10 和 OL_ON_EN = 1 模式下的短路保护，建议使用 100nF 的电容值。如果输出端使用反激式二极管，建议使用 22nF 的电容值。

9.2 典型应用

此应用示例演示如何使用 TPS2HCS10-Q1 器件为具有较大输入电容的 ECU 负载供电。这只是该器件可适用的众多应用的一个示例。

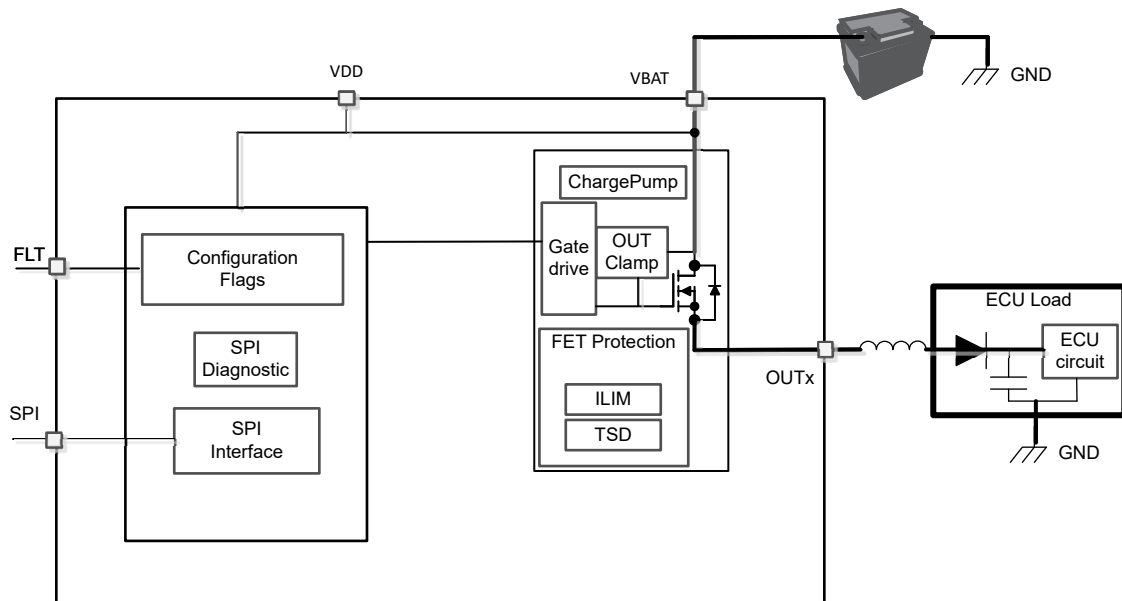


图 9-3. 为具有输入电容的 ECU 负载供电的方框图

9.2.1 设计要求

对于这个设计示例，请使用表 9-2 中显示的输入参数。

表 9-2. 设计参数

设计参数	案例 1
V _{BB} 范围	8V 至 16V
ECU 负载的输入电容	600μF
充电阶段最大并联负载	3A
充电时间	2ms
环境温度	85°C

9.2.2 详细设计过程

9.2.2.1 散热注意事项

负载电容充电时，输出电压将斜升。在此期间，由于漏源电压较大，因此 FET 中的功率耗散较高。功率耗散和由此导致的器件结温升高会限制在器件进入热关断前可充电的电容。通常，充电速率（电流）越低，可充电的电容值就越高。但是，如果使用较低的充电电流，充电时间将更长。在此处考虑的应用案例中，FET 结温预计不会达到热关断阈值。

9.2.2.2 配置电容充电模式

两条通道的配置参数均位于 ILIM_CONFIG_CHx 寄存器中。该器件提供恒流充电模式，专为充电阶段负载电流较大的情况而设计。电流限制调节值通过 ILIM_CONFIG_CHx 寄存器中的 INRUSH_LIMIT_CHx 位 ([7:4]) 设置。设置 INRUSH_DURATION_CHx 位时，应确保最坏情况下的预期电容充电时间小于编程的浪涌持续时间。下表列出每个应用案例的建议位设置选择。

表 9-3. 设置电容充电模式参数

ILIM_CONFIG_CHx 寄存器中的位字段	案例 1
CAP_CHRG_CHx	0x02h
INRUSH_DURATION_CHx	0x02h
INRUSH_LIMIT_CHx	0x06h

9.2.3 应用曲线

I_{CL_REG} — 电容充电示例 (CAP_CHRG_CHx = 10)

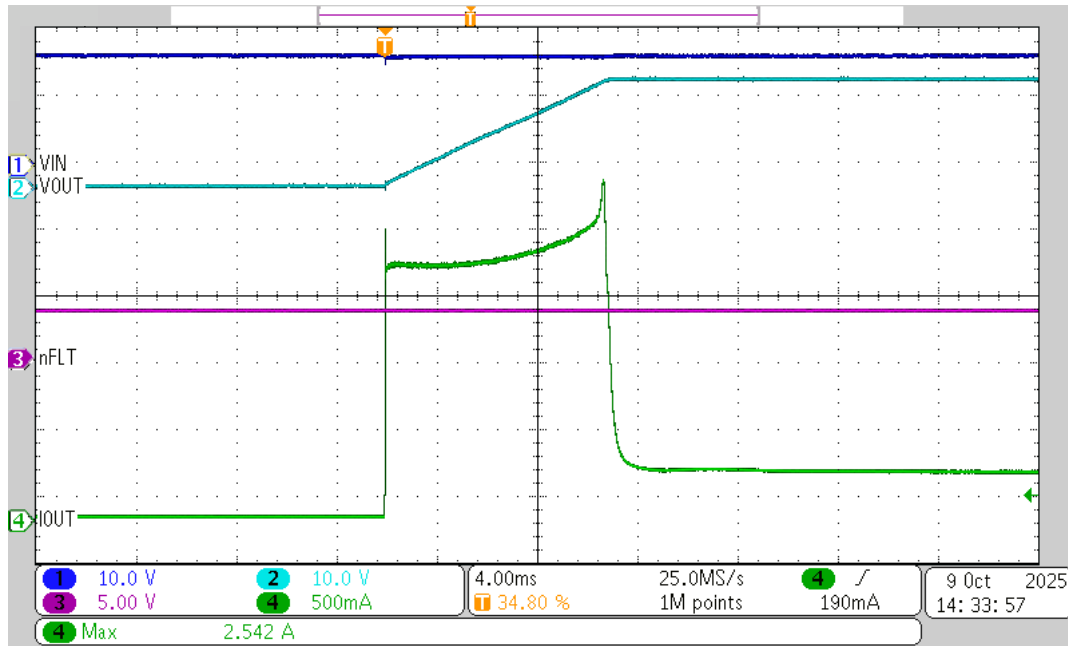


图 9-4. I_{CL_REG} — 电流限制调节, $V_{BB} = 16V$, $T_{AMB} = 25^{\circ}C$, INRUSH_DURATION = 0x6 (50ms), INRUSH_LIMIT_CHx = 0x6 (1.9A), CLOAD = 1mF, RLOAD = 50 Ω

9.3 电源相关建议

该器件设计为在 12V 汽车系统中运行。该器件使用两个电源输入 — 一个通常为 12V 的电池输入和一个低压电源输入 (5V 或 3.3V)，后者通常使用 DC-DC 转换器 (建议使用以减少电池的静态电流消耗) 生成或由电池通过 IC 外部 LDO 生成。

标称电源电压范围为 6V 至 18V (在 V_{BB} 引脚处以器件的 GND 引脚为基准测得)。在此范围内，器件满足节 6.5 表中列出的完整参数规格。该器件还设计为承受超出该范围的电压瞬变，如负载突降。在超出标称电压范围但仍在工作电压范围内运行时，器件将表现出正常的功能行为。

表 9-4. 工作电压范围

V_{BB} 电压范围	注释
3V 至 6V	扩展的低于 12V 汽车电池运行，例如冷启动和启停。器件完全正常运行并受到保护，但一些参数 (例如 R_{ON} 、电流检测精度、过流阈值和时序参数) 可能会偏离规格。检查 电气特性 中的每种规格，以确认其适用的电压范围。
6V 至 18V	标称电源电压，所有参数规格均适用。在 <code>MANUAL_LPM</code> 、 <code>AUTO_LPM</code> 和 <code>OL_ON_EN = 1</code> 模式下，该器件具有高达 18V 的短路保护。
18V 至 24V	扩展的高于 12V 汽车电池运行，例如双电池。器件完全正常运行并受到保护，但一些参数 (例如 R_{ON} 、电流检测精度、过流阈值和时序参数) 可能会偏离规格。检查“电气特性”中的各个规格，以确认其适用的电压范围。器件具有高达 125 $^{\circ}C$ 的短路保护。
24V 至 35V	负载突降电压。器件正常运行并允许脉冲通过而不会损坏，但不提供全面的短路保护。

9.4 布局

9.4.1 布局指南

为了获得出色的热性能，请将外露焊盘连接到大面积覆铜。在顶部 PCB 层，覆铜可能超出封装尺寸，如下面的布局示例所示。除此之外，建议在一个或多个内部 PCB 层和/或底层上布置一个 VBB 平面。过孔应将这些平面连接到顶部 VBB 覆铜。

TI 建议将连接到微控制器的 IO 信号布线到过孔，然后穿过内部 PCB 层。

R_{SNS} 和 C_{SNS} 元件应靠近 SNS 引脚放置。如果使用接地网络进行电池反向保护，则 R_{SNS} 和 C_{SNS} 应从 SNS 引脚连接到 IC_GND 网络，以便通过内部 ADC 进行精确的电流检测测量。

如果在设计中使用 C_{VBB1} ，则应将其尽可能靠近器件的 VBB 和 GND 引脚。如果使用接地网络进行电池反向保护，则 C_{VBB1} 电容器应从 VBB 网络连接到 IC_GND 网络。

9.4.2 布局示例

下面的图 9-5 和图 9-6 分别显示了采用和不采用接地网络的 PCB 布局示例。TI 建议将连接到微控制器的 IO 信号布线到过孔，然后穿过内部 PCB 层。对于 TPS2HCS10B-Q1 器件，以下 PCB 布局示例中的 DI 和 LHI 引脚将分别替换为 DI1 和 DI2 引脚。

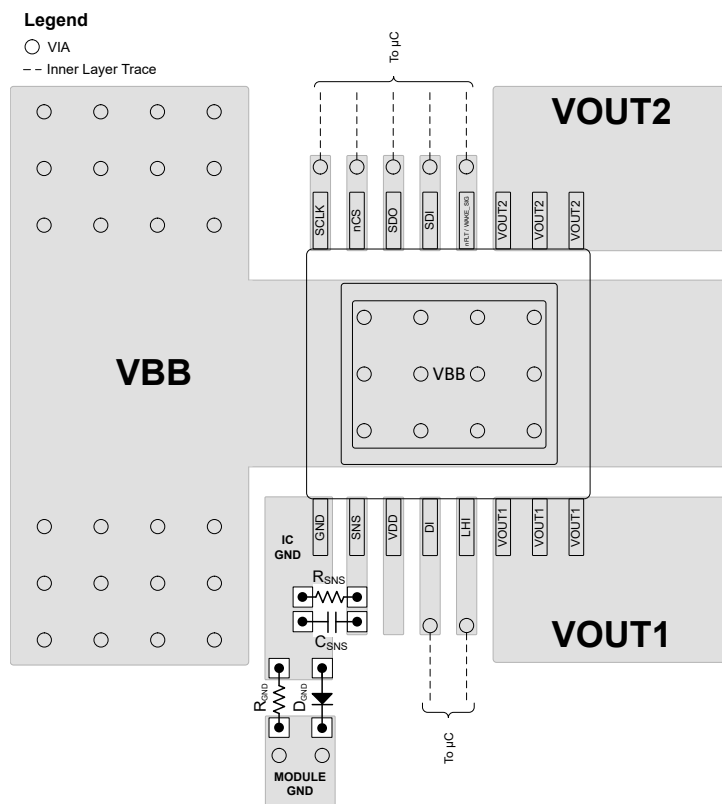


图 9-5. 带接地网络的布局示例

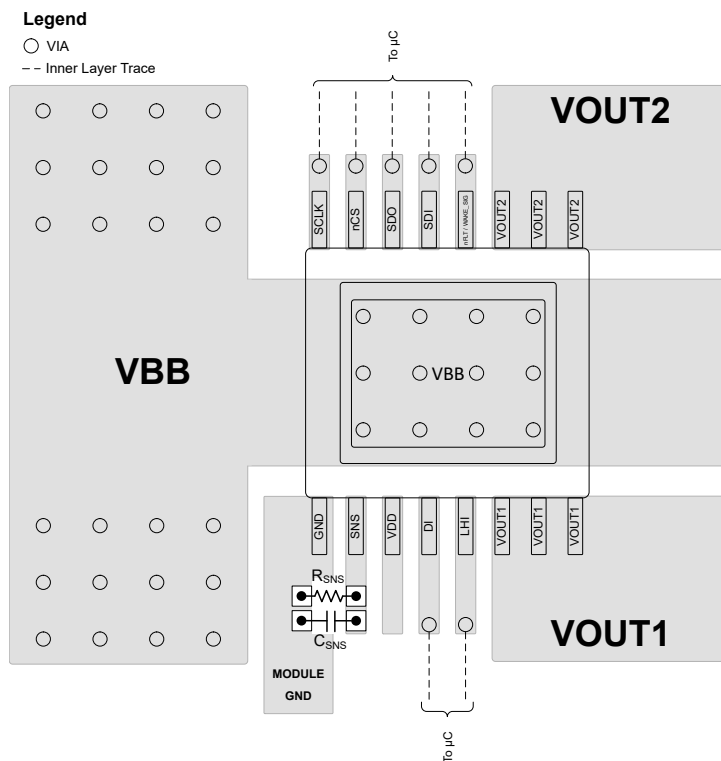


图 9-6. 不带接地网络的布局示例

10 器件和文档支持

10.1 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。

10.2 接收文档更新通知

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

10.3 支持资源

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

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

10.4 商标

TI E2E™ is a trademark of Texas Instruments.

所有商标均为其各自所有者的财产。

10.5 静电放电警告



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

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

10.6 术语表

TI 术语表 本术语表列出并解释了术语、首字母缩略词和定义。

11 修订历史记录

注：以前版本的页码可能与当前版本的页码不同

Changes from Revision * (October 2023) to Revision A (October 2025)	Page
• 将“预告信息”更改为“量产数据”	1
• 添加了 TPS2HCS10B-Q1 预发布可订购器件	3
• 更改了 电气特性 表	7
• 将 I _{OC} P 最大值从 70A 改为 25A	7
• 更改了 开关特性 表	13
• 更改了“功能方框图”部分	21
• 更改了 保护机制 部分	21
• 更改了 诊断机制 部分	33
• 添加了 并联模式运行 部分	40
• 更改了 器件功能模式 部分	42
• 更改了 状态图 图像	42
• 更改了 寄存器映射 部分	65
• 更改了 应用信息 部分	106
• 更改了 布局示例 部分	110

12 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)
TPS2HCS10AQPWPRQ1	Active	Production	HTSSOP (PWP) 16	3000 LARGE T&R	Yes	Call TI	Level-3-260C-168 HR	-40 to 125	2HCS10A

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

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

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

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

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

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

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

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

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

TAPE AND REEL INFORMATION



*All dimensions are nominal

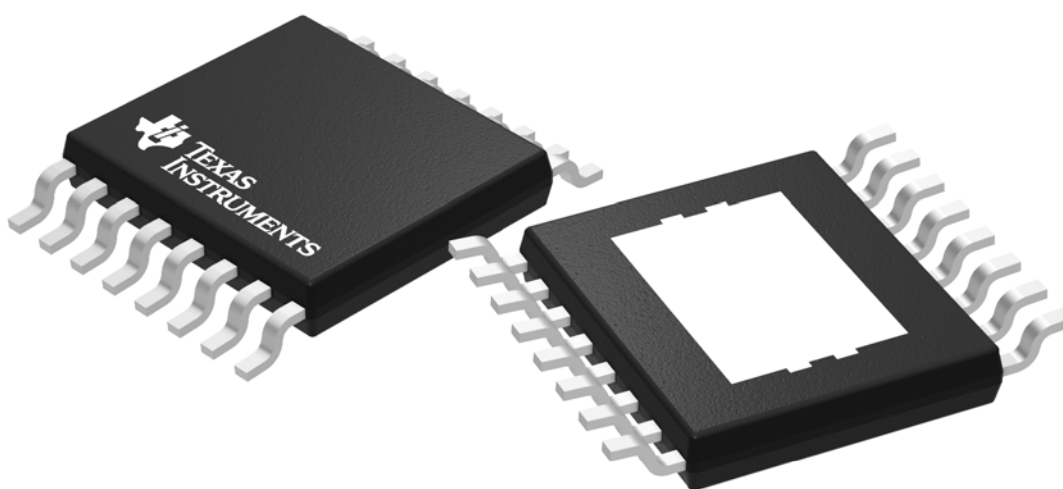
Device	Package Type	Package Drawing	Pins	SPQ	Reel Diameter (mm)	Reel Width W1 (mm)	A0 (mm)	B0 (mm)	K0 (mm)	P1 (mm)	W (mm)	Pin1 Quadrant
TPS2HCS10AQPWPRQ1	HTSSOP	PWP	16	3000	330.0	12.4	6.9	5.6	1.6	8.0	12.0	Q1

TAPE AND REEL BOX DIMENSIONS

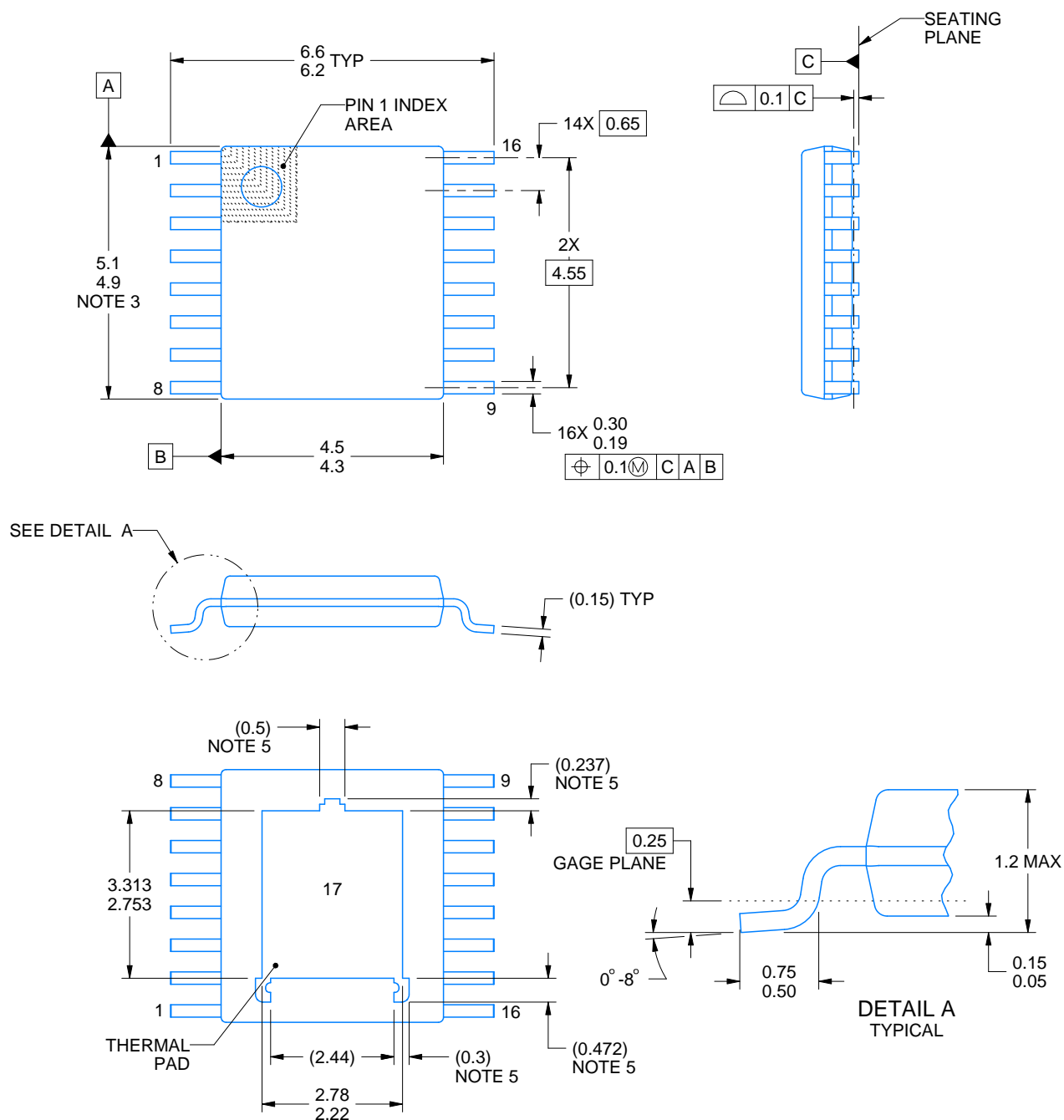
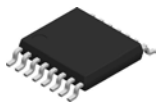


*All dimensions are nominal

Device	Package Type	Package Drawing	Pins	SPQ	Length (mm)	Width (mm)	Height (mm)
TPS2HCS10AQPWPRQ1	HTSSOP	PWP	16	3000	353.0	353.0	32.0



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



4229205/A 12/2022

NOTES:

PowerPAD is a trademark of Texas Instruments.

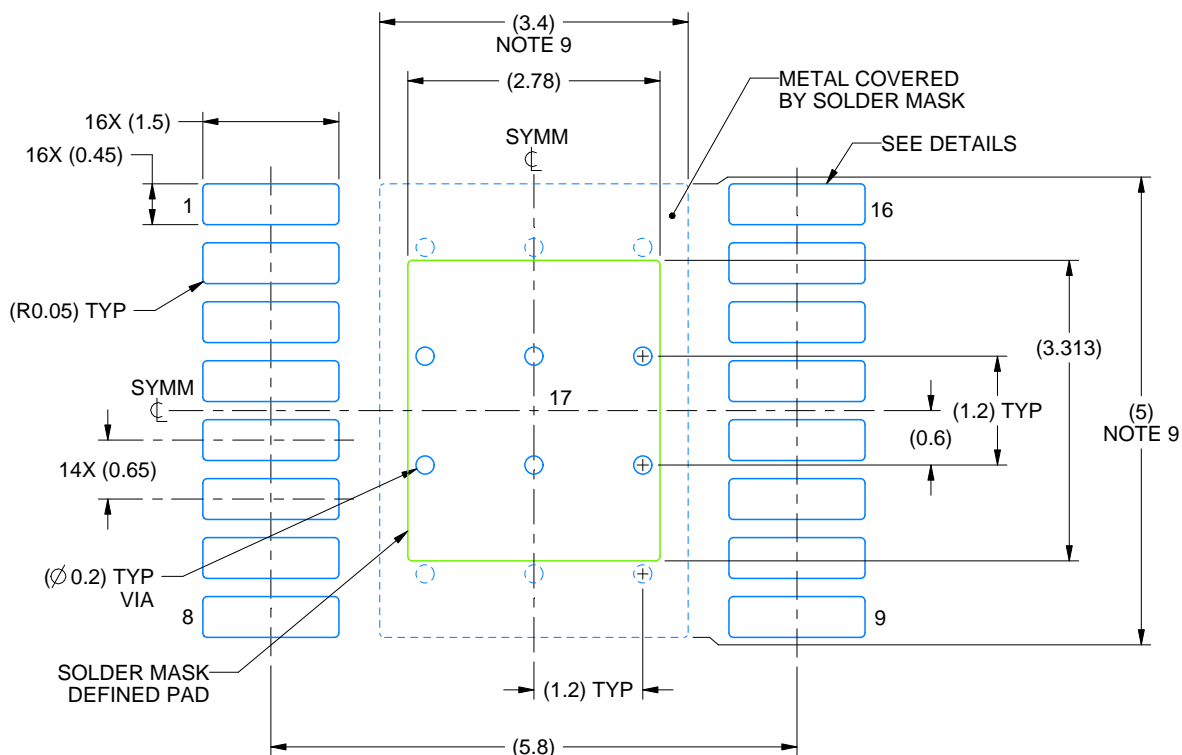
1. All linear dimensions are in millimeters. Any dimensions in parenthesis are for reference only. Dimensioning and tolerancing per ASME Y14.5M.
2. This drawing is subject to change without notice.
3. This dimension does not include mold flash, protrusions, or gate burrs. Mold flash, protrusions, or gate burrs shall not exceed 0.15 mm per side.
4. Reference JEDEC registration MO-153.
5. Features may differ or may not be present.

EXAMPLE BOARD LAYOUT

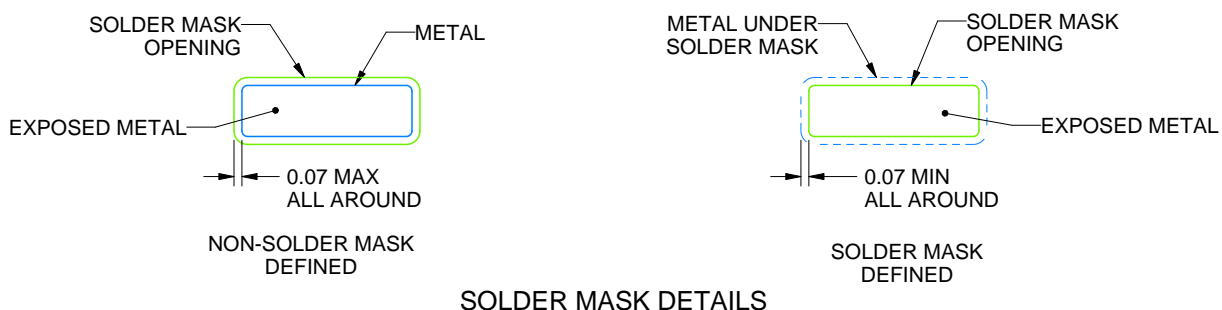
PWP0016P

PowerPAD™ TSSOP - 1.2 mm max height

SMALL OUTLINE PACKAGE



LAND PATTERN EXAMPLE
EXPOSED METAL SHOWN
SCALE: 12X



SOLDER MASK DETAILS

4229205/A 12/2022

NOTES: (continued)

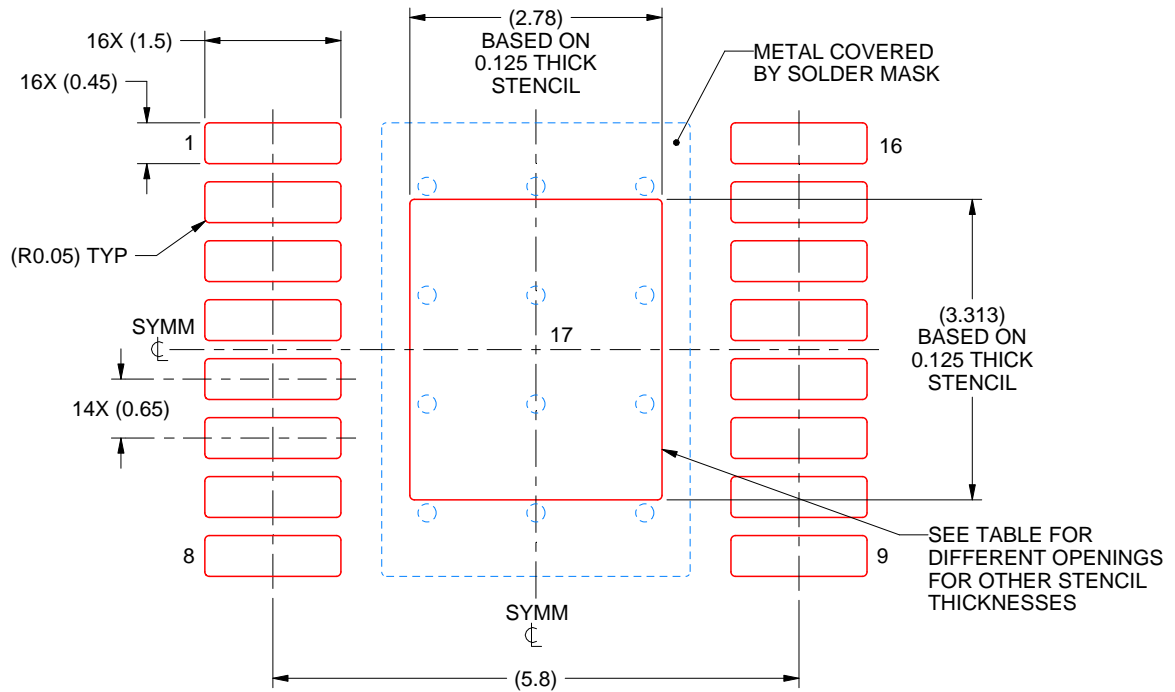
6. Publication IPC-7351 may have alternate designs.
7. Solder mask tolerances between and around signal pads can vary based on board fabrication site.
8. This package is designed to be soldered to a thermal pad on the board. For more information, see Texas Instruments literature numbers SLMA002 (www.ti.com/lit/slma002) and SLMA004 (www.ti.com/lit/slma004).
9. Size of metal pad may vary due to creepage requirement.
10. Vias are optional depending on application, refer to device data sheet. It is recommended that vias under paste be filled, plugged or tented.

EXAMPLE STENCIL DESIGN

PWP0016P

PowerPAD™ TSSOP - 1.2 mm max height

SMALL OUTLINE PACKAGE



SOLDER PASTE EXAMPLE
BASED ON 0.125 mm THICK STENCIL
SCALE: 12X

STENCIL THICKNESS	SOLDER STENCIL OPENING
0.1	3.11 X 3.70
0.125	2.78 X 3.31 (SHOWN)
0.15	2.54 X 3.02
0.175	2.35 X 2.80

4229205/A 12/2022

NOTES: (continued)

11. Laser cutting apertures with trapezoidal walls and rounded corners may offer better paste release. IPC-7525 may have alternate design recommendations.
12. Board assembly site may have different recommendations for stencil design.

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 © 2026，德州仪器 (TI) 公司

最后更新日期：2025 年 10 月