

LM5066Hx 5.5V 至 90V 高级热插拔控制器，具备 I/V/P 监控与 PMBus® 接口

1 特性

- 输入工作电压范围：5.5V 至 90V
 - 100V 绝对最大额定值
 - 输出端可耐受高达 -5V 的负电压
- 可调 ILIM 阈值为 10mV 至 50mV
- 可编程 FET SOA 保护
- 带数字计时器的可编程过流消隐
- 强栅极下拉 (1.5A)，可实现快速关断
- 强大的短路保护
 - 快速跳闸响应 (270ns)
 - 不受电源线路瞬变影响
- 具备附加特性的 LM5066H2
 - 适用于高功率应用的双栅极驱动器
 - 用于并联控制器运行的 SYNC 引脚
 - 软启动电容器断开功能
- 故障 FET 检测
- 可编程 UV、OV、 t_{FAULT} 阈值
- 外部 FET 温度检测
- 故障 FET 检测
- 用于遥测、控制、配置和调试的 PMBus® 接口
 - 用于配置的片上 EEPROM 非易失性存储器
 - 高精度 V_{IN} 、 V_{OUT} 、 I_{IN} 、 P_{IN} 、 V_{AUX} 监控 V ($<\pm 1\%$)；I ($<\pm 1\%$)；P ($<\pm 1.75\%$)
 - 使用单个命令进行下电上电
 - 多起事件的黑盒故障记录，具有存储在内部 EEPROM 上的相对时间戳
- 具有 250kHz 采样率的 12 位 ADC
- 支持通过 Read_EIN 命令进行能量监控
- 外部 FET 温度检测

2 应用

- 服务器和高性能计算
- 网络接口卡
- 显卡和硬件加速器卡
- 数据中心交换机和路由器
- 输入热插拔
- PLC 电源管理
- 24V 至 48V 工业系统

3 说明

LM5066Hx 为 12V、24V 和 48V 系统提供了强大的保护和精密监测，具有可编程 UV、OV、ILIM 和快速短路保护，适用于定制的输入电源应用。可编程功率限制阈值以及可调节故障计时器 (t_{FAULT}) 可限制最大功率耗散并确保在所有条件（包括启动和故障事件）下提供 FET SOA 保护。使用数字计时器的两级过流消隐功能，可允许更高的负载瞬态通过，从而实现更低的电流限制设置并降低对强大 SOA MOSFET 的要求。

集成的 PMBus® 接口可实现系统的实时远程监测、控制和配置。可远程访问关键参数以进行遥测，可通过 PMBus 配置各种阈值或将其存储在内部 EEPROM 中。快速、准确的模拟负载电流监测器支持预测性维护和动态电源管理，包括 Intel PSYS 和 PROCHOT 功能，可优化服务器性能。黑盒故障记录功能有助于调试现场故障。

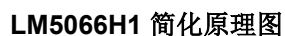
LM5066H2 具有双通道栅极驱动架构，能够使用单个强大的 SOA FET 来处理启动和故障条件下的功率应力，并与多个小型低 $R_{\text{DS(ON)}}$ FET 相结合，用于正常负载电流运行，从而减小了总解决方案尺寸。此类器件的额定工作结温范围为 -40°C 至 +125°C。

器件信息

器件型号	封装 ⁽¹⁾	本体尺寸 (标称值)
LM5066H1PWPR	PWP (TSSOP 28)	9.70mm × 4.40mm
LM5066H2NLPR	NLP (QFN 35)	5.00mm × 7.00mm

(1) 如需了解所有可用封装，请参阅数据表末尾的可订购产品附录。





内容

1 特性	1	7.3 特性说明	24
2 应用	1	7.4 器件功能模式	30
3 说明	1	7.5 编程	35
4 器件比较表	4	8 应用和实施	84
5 引脚配置和功能	5	8.1 应用信息	84
6 规格	6	8.2 典型应用	84
6.1 绝对最大额定值.....	6	8.3 电源相关建议	95
6.2 ESD 等级.....	7	8.4 布局	95
6.3 建议运行条件.....	7	9 器件和文档支持	97
6.4 热性能信息.....	7	9.1 第三方产品免责声明.....	97
6.5 电气特性.....	8	9.2 接收文档更新通知.....	97
6.6 时序要求.....	17	9.3 支持资源.....	97
6.7 PMBus 接口时序特性.....	18	9.4 商标.....	97
6.8 典型特性.....	19	9.5 静电放电警告.....	97
7 详细说明	23	9.6 术语表.....	97
7.1 概述.....	23	10 修订历史记录	97
7.2 功能方框图.....	24	11 机械、封装和可订购信息	97

4 器件比较表

表 4-1 总结了 LM5066H1 和 LM5066H2 之间的差异。

表 4-1. LM5066H1 与 LM5066H2 的比较

主要功能	LM5066H1	LM5066H2
GATE2		✓
IMON	✓	✓
SYNC		✓
SFT_STRT		✓

5 引脚配置和功能

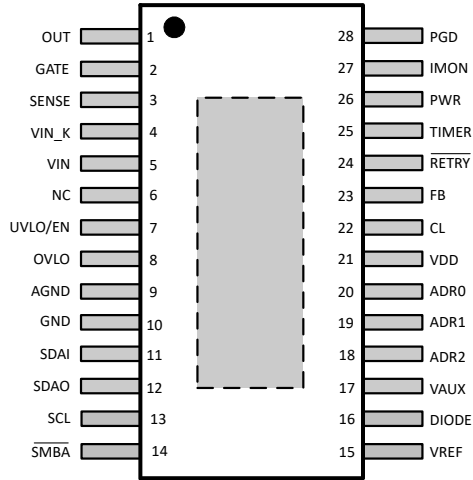
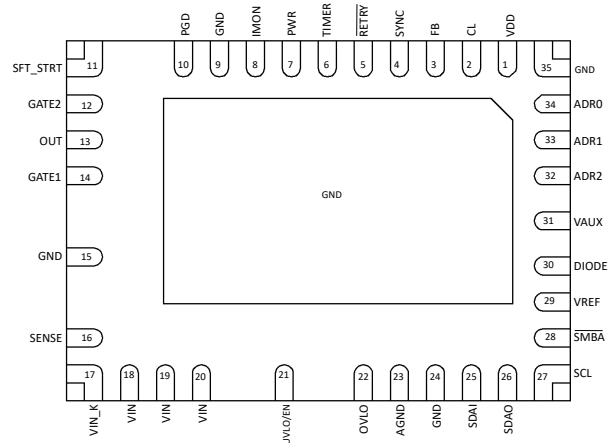


图 5-1. LM5066H1 PWP 封装 顶视图



将外露焊盘焊接到地。

图 5-2. LM5066H2 QFN 封装 顶视图

表 5-1. 引脚功能

引脚名称	引脚编号		说明
	LM5066H1	LM5066H2	
外露焊盘	Pad	Pad	封装的裸露焊盘 焊接到接地层以降低热阻
OUT	1	13	输出反馈 连接至输出电源轨（外部 MOSFET 源极）。在内部用于确定 MOSFET V_{DS} 电压，以实现功率限制并监控输出电压。
GATE1	2	14	栅极驱动输出 连接至外部 MOSFET 的栅极。连接至 LM5066H2 的单个强大 SOA MOSFET 栅极
SENSE	3	16	电流检测输入 电流检测电阻 (R_{SNS}) 上的电压通过 VIN_K 至该引脚进行测量。如果 R_{SNS} 上的电压达到过流阈值，则负载电流会受到限制，并且故障计时器激活。
VIN_K	4	17	正电源开尔文引脚 输入电压在该引脚上测量。
VIN	5	18、19、20	正电源输入 该引脚是器件的输入电源连接。可以在 VIN 及输入电源之间连接一个 $10\ \Omega$ 电阻器。在该引脚与地之间连接一个 100nF 的电容器，用于旁路。
N/C	6	-	无连接
UVLO/EN	7	21	欠压锁定 通过来自系统输入电压的外部电阻分压器，可设置欠压导通阈值。
OVLO	8	22	过压锁定 通过来自系统输入电压的外部电阻分压器，可设置过压关断阈值。
AGND	9	23	电路接地 模拟器件接地。在此引脚上连接至 GND。
GND	10	9、15、24、35	电路接地
SDAI	11	25	SMBus 数据输入引脚 SMBus 的数据输入引脚。如果应用不需要单向隔离器件，则连接至 SDAO。
SDAO	12	26	SMBus 数据输出引脚 SMBus 的数据输出引脚。如果应用不需要单向隔离器件，则连接至 SDAI。
SCL	13	27	SMBus 时钟 SMBus 的时钟引脚

表 5-1. 引脚功能 (续)

引脚名称	引脚编号		说明
	LM5066H1	LM5066H2	
SMBA	14	28	SMBus 警报线路 SMBus 警报引脚, 低电平有效
VREF	15	29	内部基准 内部生成的精密基准电压, 用于模数转换。在该引脚与地之间连接一个 1 μ F 的电容器, 用于旁路。
DIODE	16	30	外部二极管 将其连接至二极管配置的 MMBT3904 NPN 晶体管, 以进行温度监测。
VAUX	17	31	辅助电压输入 辅助引脚允许从外部源进行电压遥测。满量程输入为 2.97V。
ADR2	18	32	SMBUS 地址线 2 三态地址线。应连接至 GND、VDD, 或保持悬空。
ADR1	19	33	SMBUS 地址线 1 三态地址线。应连接至 GND、VDD, 或保持悬空。
ADR0	20	34	SMBUS 地址线 0 三态地址线。应连接至 GND、VDD, 或保持悬空。
VDD	21	1	内部子稳压器输出 内部子稳压 4.85V 辅助电源。在该引脚与地之间连接一个 1 μ F 的电容器, 用于旁路。
CL	22	2	电流限制范围 将此引脚连接至 GND 或保持悬空, 以将标称过流阈值设置为 50mV。将 CL 连接至 VDD 会将过流阈值设置为 25mV。
FB	23	3	电源正常反馈 来自输出端的外部电阻分压器设置 PGD 引脚切换的输出电压。
SYNC	-	4	并联控制器的同步导通和关断 将所有并联控制器的该引脚连接在一起进行同步操作。
RETRY	24	5	故障重试输入 该引脚配置上电故障重试行为。当该引脚连接至 GND 或保持悬空时, 器件将在故障期间持续尝试通电。如果该引脚连接至 VDD, 则器件将在故障期间闭锁。
计时器	25	6	计时电容器 连接至此引脚的外部电容器用于设置插入延时时间, 故障超时周期和重启时序。
PWR	26	7	功率限制设置 连接至该引脚的外部电阻, 与电流检测电阻 (R_{SNS}) 一起, 设置外部串联导通 MOSFET 中允许的最大功率耗散。
IMON	27	8	负载电流监测器 需要在该引脚和 GND 之间连接一个外部电阻器。IMON 引脚输出与负载电流成比例的电流。
PGD	28	10	电源正常指示器 开漏输出。当 FB 引脚上的电压高于 V_{FBTH} 和 V_{GS1} 、 V_{GS2} 为高电平时, 该输出为高电平。
SFT_STRT	-	11	软启动电容器断开 用于限制浪涌电流的 dv/dt 电容器 (C_{dvdt}) 必须从该引脚连接至 GND 在启动/重试期间内部开关将 C_{dvdt} 连接至 GATE1。成功启动后, C_{dvdt} 电容器连接至 OUT
GATE2	-	12	GATE2 驱动输出 连接至外部低 $R_{DS(ON)}$ MOSFET 栅极。

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测得 (除非另有说明) ⁽¹⁾

		最小值	最大值	单位
输入电压	VIN、VIN_K、SENSE、UVLO/EN、PGD 至 GND	-0.3	100	V

在自然通风条件下的工作温度范围内测得 (除非另有说明) ⁽¹⁾

		最小值	最大值	单位
输入电压	VIN_K、SENSE 至 GND (10 μ s、25 $^{\circ}$ C $\leq$ T _J $\leq$ 125 $^{\circ}$ C、GATE1 = GATE2 = OFF)	-0.3	105	V
	OVLO、FB、计时器、PWR、SYNC、SCL、SDAI、SDAO、CL、ADR0、ADR1、ADR2、VDD、VAUX、DIODE、RETRY、IMON、SMB $\overline{A}$ 、VREF 至 GND	-0.3	6	
	GATE1、GATE2、SFT_STRT 至 GND	-5	115	
	VIN_K 至 SENSE，AGND 至 GND	-0.3	0.3	
	GATE1、GATE2、SFT_STRT 至 OUT	-0.3	15	V
输出电压	OUT 至 GND	-5	100	V
工作结温，T _J ⁽²⁾		-40	150	$^{\circ}$ C
贮存温度，T _{stg}		-65	150	

- (1) 超出绝对最大额定值规定范围的应力可能会对器件造成永久性损坏。这些仅为应力额定值，并不意味着器件在这些条件下以及在建议运行条件以外的任何其他条件下能够正常运行。长时间处于绝对最大额定条件下可能会影响器件的可靠性。
- (2) 高结温会缩短工作寿命。结温高于 125 $^{\circ}$ C 时，工作寿命会缩短。

6.2 ESD 等级

			值	单位
V _(ESD)	静电放电	人体放电模型 (HBM)，符合 ANSI/ESDA/JEDEC JS-001 标准，所有引脚 ⁽¹⁾	± 2000	V
		充电器件模型 (CDM)，符合 JEDEC 规范 JESD22- C101，所有引脚 ⁽²⁾	± 500	

- (1) JEDEC 文件 JEP155 指出：500V HBM 时能够在标准 ESD 控制流程下安全生产。
- (2) JEDEC 文档 JEP157 指出：250V CDM 能够在标准 ESD 控制流程下安全生产。

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) ⁽¹⁾

		最小值	标称值	最大值	单位
输入电压	VIN、VIN_K、SENSE、OUT、UVLO/EN、PGD 至 GND	5.5		90	V
	OVLO、CL、RETRY、ADR0、ADR1、ADR2、SYNC 至 GND			V _{VDD}	
输入电压	VAUX 至 GND			3	V
输出电压	OUT 至 GND			V _{VIN}	V
输出电压	IMON 至 GND			3.3	V
上拉电压	SCL、SDAI、SDAO、SMB $\overline{A}$	1.8		5	V
外部电容	VDD、VREF 至 GND	1			μ F
外部电阻器	PWR 至 GND			120	k Ω
T _J	工作结温 ⁽²⁾	-40		125	$^{\circ}$ C

- (1) 建议运行条件是器件可正常运行的条件。有关规格和测试条件，请参阅“电气特性”。
- (2) 高结温会缩短工作寿命。结温高于 125 $^{\circ}$ C 时，工作寿命会缩短。

6.4 热性能信息

热指标 ⁽¹⁾		LM5066H	单位
		PWP	
		28 引脚	
R $_{\theta}$ JA	结至环境热阻	35.6	$^{\circ}$ C/W

热指标 ⁽¹⁾		LM5066H	单位
		PWP	
		28 引脚	
$R_{\theta JC(top)}$	结至外壳 (顶部) 热阻	19.9	°C/W
$R_{\theta JB}$	结至电路板热阻	16.8	°C/W
Ψ_{JT}	结至顶部特征参数	0.5	°C/W
Ψ_{JB}	结至电路板特征参数	16.7	°C/W
$R_{\theta JC(bot)}$	结至外壳 (底部) 热阻	2.9	°C/W

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

6.5 电气特性

除非另有说明, 以下条件适用: $V_{VIN} = 48V$, $-40^{\circ}C < T_J < 125^{\circ}C$, $V_{UVLO/EN} = 3V$, $V_{OVLO} = 0V$, $R_{PWR} = 20k\Omega$

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
输入 (VIN 引脚)						
V_{VIN}	工作输入电压范围		5.5		90	V
$I_{(VIN)}$	VIN 引脚电流	$V_{VIN} = 48V$, $V_{UVLO/EN} = 3V$, $V_{OVLO} = 2V$		4	7.8	mA
$I_{(Q)}$	系统总静态电流, $I_{(GND)}$	$V_{VIN} = 48V$, $V_{UVLO/EN} = 3V$, $V_{OVLO} = 2V$		-4.3	-8	mA
		$V_{VIN} = 12V$, $V_{UVLO/EN} = 3V$, $V_{OVLO} = 2V$		-4.2	-8	mA
I_{SHDN}	系统总关断电流, $I_{(GND)}$	$V_{VIN} = 48V$, $V_{UVLO/EN} = 0V$		-4.4	-8	mA
POR_R	V_{VIN} 处的上电复位上升阈值, 用于启用所有功能并触发插入计时器	V_{VIN} 上升增大		4.6	4.8	V
POR_F	V_{VIN} 处的上电复位下降阈值, 用于禁用所有功能	V_{VIN} 降低	4.2	4.26		V
VDD 稳压器 (VDD 引脚)						
V_{VDD}		$I_{VDD} = 0\text{ mA}$	4.8	4.9	5	V
		$I_{VDD} = 10\text{mA}$, $V_{VIN} > 8V$	4.8	4.9	5	V
$I_{VDDILIM}$	VDD 电流限制		-20	-35	-42	mA
$V_{VDD-PORR}$	VDD 电压复位阈值	V_{VDD} 上升		4.32	4.5	V
$V_{VDD-PORF}$	VDD 电压复位阈值	V_{VDD} 下降	3.75	3.87		V
UVLO/EN、OVLO 引脚						
$UVLO_{TH}$	UVLO 阈值	V_{UVLO} 下降	2.38	2.48	2.60	V
$UVLO_{HYS}$	UVLO 迟滞电流	$V_{UVLO} = 1V$	18	21	23	μA
$UVLO_{BIAS}$	UVLO 偏置电流	$V_{UVLO} = 3V$			1	μA
$OVLO_{TH}$	OVLO 阈值	V_{OVLO} 上升	2.38	2.48	2.60	V
$OVLO_{HYS}$	OVLO 迟滞电流	$V_{OVLO} = 3V$	-18	-21	-23	μA
$OVLO_{BIAS}$	OVLO 偏置电流	$V_{OVLO} = 1V$			1	μA

6.5 电气特性 (续)

除非另有说明，以下条件适用： $V_{VIN} = 48V$ ， $-40^{\circ}C < T_J < 125^{\circ}C$ ， $V_{UVLO/EN} = 3V$ ， $V_{OVLO} = 0V$ ， $R_{PWR} = 20k\Omega$

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
功率限制 (PWR 引脚)						
$V_{SNS,PLIM}$	功率限制检测电压 ($V_{VIN_K} - V_{SENSE}$)	$V_{SENSE} - V_{OUT} = 48V$ ， $R_{PWR} = 60k\Omega$	7.4	8.5	9.5	mV
		$V_{SENSE} - V_{OUT} = 48V$ ， $R_{PWR} = 20k\Omega$	2.1	2.8	3.5	
		$V_{SENSE} - V_{OUT} = 48V$ ， $R_{PWR} = 20k\Omega$ ， $0^{\circ}C \leq T_J \leq 85^{\circ}C$	2.2	2.8	3.38	
		$V_{SENSE} - V_{OUT} = 12V$ ， $R_{PWR} = 60k\Omega$	30	34.2	38	
		$V_{SENSE} - V_{OUT} = 12V$ ， $R_{PWR} = 20k\Omega$	9.8	11.33	13.25	
		$V_{SENSE} - V_{OUT} = 12V$ ， $R_{PWR} = 20k\Omega$ ， $0^{\circ}C \leq T_J \leq 85^{\circ}C$	10.15	11.33	12.43	
I_{PWR}	来自 PWR 引脚的拉电流	$V_{PWR} = 2.5V$	-19.6	-20	-20.4	μA
$R_{SAT(PWR)}$	如果禁用，则下拉 PWR 引脚	$V_{UVLO} = 0V$		96		Ω
GATE 控制 (GATE 引脚)						
I_{GATE1}	拉电流	正常运行， $V_{GATE1} - V_{OUT} = 5V$	-19.6	-21	-23.6	μA
	故障灌电流	$V_{UVLO} = 2V$	7.5	10	13.4	mA
	POR 断路器灌电流	$V_{VIN_K} - V_{SENSE} = 60mV$ ， $V_{GATE1} - V_{OUT} = 5V$ ，CB/CL 比率位=0， CL = VDD		1.5		A
	稳压最大灌电流	$V_{VINK} - V_{SENSE} = 30mV$ ，CL = VDD	175	252		μA
I_{GATE2}	拉电流	正常运行， $V_{GATE2} - V_{OUT} = 5V$		-130		μA
	故障灌电流	$V_{UVLO} = 2V$		10		mA
	POR 断路器灌电流	$V_{VIN_K} - V_{SENSE} = 60mV$ 、 $V_{GATE2} - V_{OUT} = 5V$ 、 CB/CL 比率位 = 0、CL = VDD		1.5		A
V_{GATE1Z}	GATE 至 OUT 齐纳二极管的反向偏置电压， $I_Z = -100\mu A$	$V_{GATE1} - V_{OUT}$ 、 $V_{OUT} = 0V$	11	15.4	18.8	V
V_{GATECP}	正常运行时的峰值电荷泵电压 ($V_{VIN} = V_{OUT}$)	$V_{GATE1} - V_{OUT}$ 、 $V_{GATE2} - V_{OUT}$ 、 $V_{OUT} = 48V$	11	12.5	14	V
OUT 引脚						
I_{OUT-EN}	OUT 偏置电流，已启用	$V_{VIN} = V_{OUT}$ ，正常运行， $V_{VIN} = 5.5V$ 、 $48V$ 、 $90V$	-50	2	20	μA
$I_{OUT-DIS}$	OUT 偏置电流，已禁用	$V_{UVLO/EN} = 0V$ ， $V_{VIN_K} = V_{SENSE} = V_{OUT}$ ， $V_{VIN} = 5.5V$ 、 $48V$ 、 $90V$		40	55	μA
	OUT 偏置电流，已禁用	$V_{UVLO/EN} = 0V$ ， $V_{OUT} = -5V$ ， $V_{VIN_K} = V_{SENSE}$	-290	-340	-400	
	OUT 偏置电流，已禁用	$V_{UVLO/EN} = 0V$ ， $V_{OUT} = 0V$ ， $V_{VIN_K} = V_{SENSE}$ ， $V_{VIN} = 5.5V$ ， $48V$ ， $90V$		-30	-44	
$V_{OUT-DIS}$	OUT 电压，禁用	$V_{UVLO/EN} = 0V$ ， $V_{VIN_K} = V_{SENSE}$		0.8	1.1	V

6.5 电气特性 (续)

除非另有说明，以下条件适用： $V_{VIN} = 48V$ ， $-40^{\circ}C < T_J < 125^{\circ}C$ ， $V_{UVLO/EN} = 3V$ ， $V_{OVLO} = 0V$ ， $R_{PWR} = 20k\Omega$

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
电流限值						
V _{CL}	电流限制阈值电压： V _{VIN_K} - V _{SENSE}	DEVICE_SETUP1 [2] = 1 ; DEVICE_SETUP2 [5:3] = 001	9.2	10	11.4	mV
		DEVICE_SETUP1 [2] = 1 ; DEVICE_SETUP2 [5:3] = 010	12.5			
		DEVICE_SETUP1 [2] = 1 ; DEVICE_SETUP2 [5:3] = 100	15			
		DEVICE_SETUP1 [2] = 1 ; DEVICE_SETUP2 [5:3] = 100	15.65	17.5	19.4	
		DEVICE_SETUP1 [2] = 1 ; DEVICE_SETUP2 [5:3] = 101	20			
		DEVICE_SETUP1 [2] = 1 ; DEVICE_SETUP2 [5:3] = 110	22.5			
		DEVICE_SETUP1 [2] = 0 ; CL = VDD	23	25	27.2	
		DEVICE_SETUP1 [2] = 0 ; CL = GND	46	50	54	
V _{FBCL}	折返电流限制比率： V _{VIN_K} - V _{SENSE}) _{FBCL} /V _{CL}	V _{CL} = 10mV ; DEVICE_SETUP3 [5:4] = 01	0.02	0.05	0.09	mV/mV
		V _{CL} = 10mV ; DEVICE_SETUP3 [5:4] = 10	0.07	0.1	0.14	
		V _{CL} = 25mV ; DEVICE_SETUP3 [5:4] = 01	0.03	0.05	0.07	
		V _{CL} = 25mV ; DEVICE_SETUP3 [5:4] = 10	0.08	0.1	0.12	
V _{CBL1}	过流消隐 1 阈值比率： (V _{VIN_K} - V _{SENSE}) _{CBL1} /V _{CL}	V _{CL} = 10mV ; DEVICE_SETUP3 [1:0] = 00	1.14	1.25	1.4	mV/mV
		V _{CL} = 10mV ; DEVICE_SETUP3 [1:0]= 01	1.39	1.5	1.67	
		V _{CL} = 10mV ; DEVICE_SETUP3 [1:0] = 10	1.64	1.75	1.93	
		V _{CL} = 10mV ; DEVICE_SETUP3 [1:0] = 11	1.87	2	2.2	
	过流消隐 1 阈值比率： (V _{VIN_K} - V _{SENSE}) _{CBL1} /V _{CL}	V _{CL} = 25mV ; DEVICE_SETUP3 [1:0] = 00	1.2	1.25	1.37	
		V _{CL} = 25mV ; DEVICE_SETUP3 [1:0] = 01	1.43	1.5	1.63	
		V _{CL} = 25mV ; DEVICE_SETUP3 [1:0] = 10	1.68	1.75	1.9	
		V _{CL} = 25mV ; DEVICE_SETUP3 [1:0] = 11	1.9	2	2.15	

6.5 电气特性 (续)

除非另有说明，以下条件适用： $V_{VIN} = 48V$ ， $-40^{\circ}C < T_J < 125^{\circ}C$ ， $V_{UVLO/EN} = 3V$ ， $V_{OVLO} = 0V$ ， $R_{PWR} = 20k\Omega$

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
V _{CBL2}	过流消隐 2 阈值比率： (V _{VIN_K} - V _{SENSE}) _{CBL2} /V _{CL}	V _{CL} = 10mV ； DEVICE_SETUP3 [3:2] = 00	1.38	1.5	1.66	mV/mV
		V _{CL} = 10mV ； DEVICE_SETUP3 [3:2] = 01	1.62	1.75	1.94	
		V _{CL} = 10mV ； DEVICE_SETUP3 [3:2] = 10	1.85	2	2.22	
		V _{CL} = 10mV ； DEVICE_SETUP3 [3:2] = 11	2	2.25	2.5	
	过流消隐 2 阈值比率： (V _{VIN_K} - V _{SENSE}) _{CBL2} /V _{CL}	V _{CL} = 25mV ； DEVICE_SETUP3 [3:2] = 00	1.4	1.5	1.7	
		V _{CL} = 25mV ； DEVICE_SETUP3 [3:2] = 01	1.65	1.75	1.92	
		V _{CL} = 25mV ； DEVICE_SETUP3 [3:2] = 10	1.9	2	2.2	
		V _{CL} = 25mV ； DEVICE_SETUP3 [3:2] = 11	2.1	2.25	2.5	
I _{SENSE}	检测引脚电流	启用， V _{OUT} = V _{VIN} = V _{VIN_K} = V _{SENSE} = 48V		10	12.2	μA
		启用， V _{OUT} = 0V，V _{VIN} = V _{VIN_K} = V _{SENSE} = 48V		26	30	
		V _{UVLO/EN} = 0V，V _{OUT} = 0V， V _{VIN} = V _{VIN_K} = V _{SENSE} = 48V		27	30	
I _{VIN_K}	VIN_K 引脚电流	已启用，V _{VIN_K} = 48V，V _{CL} = 25mV V _{VIN_K} - V _{SENSE} = 25mV		285	330	μA
		已启用，V _{VIN_K} = 48V，V _{CL} = 25mV V _{VIN_K} - V _{SENSE} = 5mV		265	320	μA
断路器						
V _{CB}	断路器阈值电压： (V _{VIN_K} - V _{SENSE})	V _{CL} = 10mV DEVICE_SETUP2 [7:6]= 01	10	12	15.4	mV
		V _{CL} = 10mV DEVICE_SETUP1 [3] = 0 DEVICE_SETUP2 [7:6] = 00	17.5	20	24	
		V _{CL} = 10mV DEVICE_SETUP2 [7:6]= 11	27.9	30	34.3	
		V _{CL} = 10mV DEVICE_SETUP1 [3] = 1 DEVICE_SETUP2 [7:6] = 00	37.7	40	44.8	
		V _{CL} = 25mV DEVICE_SETUP2 [7:6]= 01	27.65	30	33.97	
		V _{CL} = 25mV DEVICE_SETUP1 [3] = 0 DEVICE_SETUP2 [7:6] = 00	47.18	50	55	
		V _{CL} = 25mV DEVICE_SETUP2 [7:6]= 11	71	75	81.5	
		V _{CL} = 25mV DEVICE_SETUP1 [3] = 1 DEVICE_SETUP2 [7:6] = 00	95.2	100	107.9	

6.5 电气特性 (续)

除非另有说明，以下条件适用： $V_{VIN} = 48V$ ， $-40^{\circ}C < T_J < 125^{\circ}C$ ， $V_{UVLO/EN} = 3V$ ， $V_{OVLO} = 0V$ ， $R_{PWR} = 20k\Omega$

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
R_{TCB}	断路器与电流限制比： $(V_{VIN_K} - V_{SENSE})_{CB}/V_{CL}$	$V_{CL} = 10mV$ DEVICE_SETUP2 [7:6] = 01	0.92	1.2	1.52	mV/mV
		$V_{CL} = 10mV$ DEVICE_SETUP1 [3] = 0 DEVICE_SETUP2 [7:6] = 00	1.67	2	2.37	
		$V_{CL} = 10mV$ DEVICE_SETUP2 [7:6] = 11	2.57	3	3.45	
		$V_{CL} = 10mV$ DEVICE_SETUP1 [3] = 1 DEVICE_SETUP2 [7:6] = 00	3.47	4	4.53	
	断路器与电流限制比： $(V_{VIN_K} - V_{SENSE})_{CB}/V_{CL}$	$V_{CL} = 25mV$ DEVICE_SETUP2 [7:6] = 01	1	1.2	1.39	
		$V_{CL} = 25mV$ DEVICE_SETUP1 [3] = 0 DEVICE_SETUP2 [7:6] = 00	1.79	2	2.25	
		$V_{CL} = 25mV$ DEVICE_SETUP2 [7:6] = 11	2.72	3	3.34	
		$V_{CL} = 25mV$ DEVICE_SETUP1 [3] = 1 DEVICE_SETUP2 [7:6] = 00	3.64	4	4.42	
R_{TSCP}	短路保护阈值比： $(V_{VIN_K} - V_{SENSE})_{SCP}/V_{CB}$			1.5		mV/mV
FB 引脚						
FB_{TH}	FB 阈值下降	$V_{UVLO} = 3V$ 且 $V_{OVLO} = 0V$	2.34	2.48	2.61	V
FB_{HYS}	FB 迟滞电流		-19	-21	-23	μA
FB_{LEAK}	关断漏电流	$V_{FB} = 2.3V$			1	μA
计时器 (计时器引脚)						
V_{TMRH}	上限阈值		3.74	3.9	4.1	V
V_{TMRL}	下限阈值	重启周期	1.05	1.2	1.3	V
		第八周期结束时重新启用阈值		0.3		
I_{TIMER}	插入时间电流	计时器引脚 = 2V	-4.5	-5	-5.5	μA
	灌电流，插入时间结束时	计时器引脚 = 2V	0.9	1.5	2.1	mA
	故障检测电流，恒流计时器	计时器引脚 = 2V	-69	-75	-83	μA
	故障灌电流，恒流计时器	TIMER 引脚 = 2V； DEVICE_SETUP4 [6] = 0	2	2.5	3	μA
		TIMER 引脚 = 2V； DEVICE_SETUP4 [6] = 1	70	75	83	
	故障检测电流，P ² T 计时器	TIMER 引脚 = 0.5V， $(V_{SENSE} - V_{OUT}) \times V_{SENSE} = 20V \times 25mV$ ； DEVICE_SETUP4 [3:2] = 10 或 11		-62		μA
		计时器引脚 = 0.5V， $V_{DS} \times V_{SENSE} = 48V \times 5mV$ ； DEVICE_SETUP4，3:2 = 10 或 11		-13.8		
P ² t 阈值	P ² t 计时器阈值电压	$(V_{SENSE} - V_{OUT}) \times V_{SENSE} = 48V \times 5mV$ ； DEVICE_SETUP4 [3:2] = 10 或 11	0.9	1	1.1	V

6.5 电气特性 (续)

除非另有说明，以下条件适用： $V_{VIN} = 48V$ ， $-40^{\circ}C < T_J < 125^{\circ}C$ ， $V_{UVLO/EN} = 3V$ ， $V_{OVLO} = 0V$ ， $R_{PWR} = 20k\Omega$

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
SYNC						
I_{SYNC_LEAK}	SYNC 引脚上的漏电流	$V_{SYNC} = V_{VDD}$ ，正常运行		800		nA
I_{SYNC}	灌电流	$V_{SYNC} = 0.1V$ ，故障状态，OVLO 高电平		20		mA
V_{SYNC}	稳态指示电压	稳定状态，PGD 高电平		V_{VDD}		V
	故障指示电压	故障状态，OVLO 高电平		200		mV
电源正常 (PGD 引脚)						
PGD_{VOL}	输出低电压	$I_{SINK} = 2mA$		120	200	mV
PGD_{IOH}	关断漏电流	$V_{PGD} = 90V$			2.5	μA
		$V_{PGD} = V_{VDD}$			1	μA
V_{GS1_PGDH}	用于 PGD 高电平置为有效的 $V_{GATE1} - V_{OUT}$ 阈值		7.5	8.1	8.55	V
V_{GS1_G2L}	GATE2 下拉的 $V_{GATE1} - V_{OUT}$ 下降阈值			7.85		V
V_{GS2_PGDH}	用于 PGD 高电平置为有效的 $V_{GATE2} - V_{OUT}$ 阈值			8.1		V
V_{DS_PGDH}	PGD 高电平置为有效的 V_{DS} 阈值	$V_{SENSE} - V_{OUT}$	1.3	1.9	2.5	V
V_{DS_G2L}	G2 下拉的 V_{DS} 阈值	$V_{SENSE} - V_{OUT}$		2.5		V
SFT_STRT						
$I_{(SFT_STRT, GATE1)}$	GATE1 到 SFT_STRT 充电电流	$V_{OUT} = V_{SFT_STRT} = 0V$		-22		μA
$R_{(SFT_STRT, OUT)}$	SFT_STRT 和 OUT 之间的开关电阻	$V_{SFT_STRT} = V_{OUT} + 0.1V$		2		Ω
IMON						
G_{IMON}	跨导放大器增益 ($I_{IMON} : V_{VIN_K} - V_{SENSE}$)	$V_{CL} = 10mV$ ， $V_{VIN_K} - V_{SENSE} = 10mV$	9.78	10	10.2	$\mu A/mV$
G_{IMON}	跨导放大器增益 ($I_{IMON} : V_{VIN_K} - V_{SENSE}$)	$V_{CL} = 25mV$ ， $V_{VIN_K} - V_{SENSE} = 25mV$	9.8	10	10.2	$\mu A/mV$
$I_{LKG(IMON)}$	IMON 引脚漏电流	$V_{IMON} = 3.3V$	-0.35		0.35	μA
FET_FAIL						
V_{GS1_FFTH}	用于 FET_FAIL 检测的 GATE1 V_{GS} 阈值		3.3	4.1	4.7	V
V_{GS2_FFTH}	用于 FET_FAIL 检测的 GATE2 V_{GS} 阈值			4.1		V
V_{DS_FFTH}	用于 FET_FAIL 检测的 V_{DS} 阈值			2		V
V_{SNS_FFTH}	用于 FET_FAIL 检测的 V_{SNS} 阈值		1.9	2.5	3.2	mV
内部基准						
V_{REF}	基准电压		2.96	2.97	2.98	V
ADC 和 AUX						
	分辨率			12		位
DNL	差分非线性	仅 ADC	-0.67		1.5	LSB
INL	积分非线性	仅 ADC	-2.1		2.4	LSB
采样速率	样本/秒	任何通道		250		kHz
$t_{ACQUIRE}$	采集 + 转换时间	任何通道		4		μs
t_{RR}	采集轮询时间	循环所有通道		20		μs

6.5 电气特性 (续)

除非另有说明, 以下条件适用: $V_{VIN} = 48V$, $-40^{\circ}C < T_J < 125^{\circ}C$, $V_{UVLO/EN} = 3V$, $V_{OVLO} = 0V$, $R_{PWR} = 20k\Omega$

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
I_{AUX_LK}	AUX 上的漏电流	$V_{AUX} = 3V$, 正常运行			500	nA

6.5 电气特性 (续)

除非另有说明, 以下条件适用: $V_{VIN} = 48V$, $-40^{\circ}C < T_J < 125^{\circ}C$, $V_{UVLO/EN} = 3V$, $V_{OVLO} = 0V$, $R_{PWR} = 20k\Omega$

参数	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
遥测精度					
I_{IN-ACC}	输入电流绝对精度	$V_{CL} = 10mV$, $V_{VIN_K} - V_{SENSE} = 10mV$	-3	3	%
		$V_{CL} = 10mV$, $V_{VIN_K} - V_{SENSE} = 10mV$, $0^{\circ}C \leq T_J \leq 85^{\circ}C$	-2.5	2.5	
		$V_{CL} = 10mV$, $V_{VIN_K} - V_{SENSE} = 20mV$, ADC 满量程 = $2 \times V_{CL}$	-2	2	
		$V_{CL} = 10mV$, $V_{VIN_K} - V_{SENSE} = 20mV$, ADC 满量程 = $2 \times V_{CL}$, $0^{\circ}C \leq T_J \leq 85^{\circ}C$	-1.5	1.5	
		$V_{CL} = 25mV$, $V_{VIN_K} - V_{SENSE} = 25mV$	-1.22	1.22	
		$V_{CL} = 25mV$, $V_{VIN_K} - V_{SENSE} = 25mV$, $0^{\circ}C \leq T_J \leq 85^{\circ}C$	-0.95	0.95	
		$V_{CL} = 25mV$, $V_{VIN_K} - V_{SENSE} = 5mV$, $0^{\circ}C \leq T_J \leq 85^{\circ}C$	-4.7	4.7	
		$V_{CL} = 25mV$, $V_{VIN_K} - V_{SENSE} = 50mV$, ADC 满量程 = $2 \times V_{CL}$	-1.4	1.4	
		$V_{CL} = 25mV$, $V_{VIN_K} - V_{SENSE} = 50mV$, ADC 满量程 = $2 \times V_{CL}$, $0^{\circ}C \leq T_J \leq 85^{\circ}C$	-1.2	1.2	
V_{ACC}	VIN、VOUT 绝对精度	V_{VIN} 、 $V_{VOUT} = 48V$	-1.18	1.18	%
		V_{VIN} , $V_{VOUT} = 48V$, $0^{\circ}C \leq T_J \leq 85^{\circ}C$	-1	1	
		V_{VIN} 、 $V_{VOUT} = 12V$	-1.64	1.64	
	VAUX 绝对精度	$VAUX = 2.8V$	-0.47	0.47	
		$VAUX = 2.8V$, $0^{\circ}C \leq T_J \leq 85^{\circ}C$	-0.36	0.36	
P_{IN-ACC}	输入功率精度, $V_{CL} = 10mV$, ADC 满量程 = $1 \times V_{CL}$	$V_{VIN} = 48V$, $V_{CL} = 10mV$, $V_{VIN_K} - V_{SENSE} = 10mV$	-3.62	3.62	%
		$V_{VIN} = 48V$, $V_{CL} = 10mV$, $V_{VIN_K} - V_{SENSE} = 10mV$, $0^{\circ}C \leq T_J \leq 85^{\circ}C$	-3	3	
	输入功率精度, $V_{CL} = 25mV$, ADC 满量程 = $1 \times V_{CL}$	$V_{VIN} = 48V$, $V_{CL} = 25mV$, $V_{VIN_K} - V_{SENSE} = 25mV$	-2	2	
		$V_{VIN} = 48V$, $V_{CL} = 25mV$, $V_{VIN_K} - V_{SENSE} = 25mV$, $0^{\circ}C \leq T_J \leq 85^{\circ}C$	-1.65	1.65	

6.5 电气特性 (续)

除非另有说明，以下条件适用： $V_{VIN} = 48V$ ， $-40^{\circ}C < T_J < 125^{\circ}C$ ， $V_{UVLO/EN} = 3V$ ， $V_{OVLO} = 0V$ ， $R_{PWR} = 20k\Omega$

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
E _{IN} 绝对误差	5ms 间隔内的累积电能	V _{CL} = 10mV , V _{VIN} = 48V , V _{VIN_K} - V _{SENSE} = 10mV , ADC 满量程 = 1xV _{CL} , 0℃ ≤ T _J ≤ 85℃	±3			%
		V _{CL} = 25mV , V _{VIN} = 48V , V _{VIN_K} - V _{SENSE} = 25mV , ADC 满量程 = 1xV _{CL} , 0℃ ≤ T _J ≤ 85℃	±2			
远程二极管温度传感器						
T _{ACC}	使用本地二极管时的温度精度	25℃ ≤ T _A ≤ 85℃	2			℃
	远程二极管分辨率		12			位
I _{DIODE}	外部二极管电流源	高电平	-228	-250	-325	μA
		低电平	-9	-10	-12.5	μA
	二极管电流比		23	25	27	

6.5 电气特性 (续)

除非另有说明, 以下条件适用: $V_{VIN} = 48V$, $-40^{\circ}C < T_J < 125^{\circ}C$, $V_{UVLO/EN} = 3V$, $V_{OVLO} = 0V$, $R_{PWR} = 20k\Omega$

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
PMBus 引脚阈值 (SMBA、SDA、SCL)						
V _{PULLUP_PMBus}	PMBus 接口上拉		1.62		5	V
C _{PMB_BUS}	PMBus 引脚电容 - SCL				10	pF
	PMBus 引脚电容 - SDAI				10	
	PMBus 引脚电容 - SDAO				10	
V _{IL}	SCL 输入逻辑低电平				0.85	V
V _{IH}	SCL 输入逻辑高电平		1.25			V
V _{IL}	SDAI 输入逻辑低电平				0.85	V
V _{IH}	SDAI 输入逻辑高电平		1.25			V
V _{OL}	低电平输出电压 - SDAO	I _{OL} = 20mA (由电源提供)			0.4	V
I _{LEAK}	SCL 的输入漏电流	SCL = 5V			1	μA
	SDAI 的输入漏电流	SDAI = 5V			1	
	SDAO 的输入漏电流	SDAO = 5V			1	
	SMBA 的输入漏电流	SMBA = 5V			1	
地址选择 (ADR0、ADR1、ADR2)						
V _{ADRx}	ADR0、ADR1 和 ADR2 引脚电压	ADRx 引脚悬空		1.63		V
配置 PIN 阈值 (CL、RETRY)						
CL _{TH}	阈值电压			2.6		V
RETRY _{TH}	阈值电压			2.6		V
I _{LEAK}	输入漏电流	CL、RETRY = 5V		0.06	0.15	μA

6.6 时序要求

除非另有说明, 以下条件适用: $V_{VIN} = 48V$, $-40^{\circ}C < T_J < 125^{\circ}C$, $V_{UVLO/EN} = 3V$, $V_{OVLO} = 0V$, $R_{PWR} = 20k\Omega$

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
$UVLO_{DEL}$	UVLO 延迟	$V_{UVLO/EN} > UVLO_{TH}$ 至 GATE 高电平	20	28	35	μs
		$V_{UVLO/EN} < UVLO_{TH}$ 至 GATE 低电平	4	7	10	μs
$OVLO_{DEL}$	OVLO 延迟	$V_{OVLO} < OVLO_{TH}$ 至 GATE 高电平	20	28	35	μs
		$V_{OVLO} > OVLO_{TH}$ 至 GATE 低电平	4	7	10	μs
PGD_{DEL}	电源正常置为有效延迟, $V_{GS2} \uparrow$ 至 PGD $\uparrow$	$V_{GS1} > 8V$, $V_{FB} = 3V$, $V_{DS} < 2V$, $V_{GS2} > 8V$ 至 PGD 高电平		5		μs
	电源正常置为有效延迟, $V_{FB} \uparrow$ 至 PGD $\uparrow$	$V_{GS1} > 8V$, $V_{GS2} > 8V$, $V_{DS} < 2V$, $V_{FB} > V_{FBTH}$ 至 PGD 高电平		0.75	3	
	V_{FB} 低电平到 PGD 置为无效延迟	$V_{FB} < V_{FBTH}$ 至 PGD 低电平		0.6	1	
$t_{GATE2DEL}$	GATE2 导通延迟	$V_{DS} < 2V$ 至 GATE2 高电平		22		μs
	GATE2 关断延迟	$V_{DS} > 2V$ 至 GATE2 低电平		2.5		
t_{CL}	电流限制响应时间	t_{CBL1} 和 t_{CBL2} 消隐计时器到期, $V_{VIN} - V_{SENSE}$ 从 0mV 跃升至 80mV, $V_{CL} = 50mV$		12	30	μs

6.6 时序要求 (续)

除非另有说明，以下条件适用： $V_{VIN} = 48V$ ， $-40^{\circ}C < T_J < 125^{\circ}C$ ， $V_{UVLO/EN} = 3V$ ， $V_{OVLO} = 0V$ ， $R_{PWR} = 20k\Omega$

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
t _{CB}	断路器响应时间	V _{VIN_K} - V _{SENSE} 阶跃从 0mV 至 150mV 至 GATE 低电平，V _{CL} = 50mV，DEVICE_SETUP2 [0] =0，DEVICE_SETUP1 [3] = 0	0.27	0.8		μs
t _{SCP}	SCP 响应时间	V _{VIN_K} - V _{SENSE} 阶跃从 0mV 至 225mV 至 GATE 低电平，V _{CL} = 25mV，DEVICE_SETUP1 [3] = 0	0.45	0.8		μs
t _{FAULT_DELAY}	故障到 GATE 低电平延迟	V _{TIMER} > V _{TMRH} 到 GATE 低电平	10	14		μs
t _{SYNC}	VDD 到 0V	C _{SYNC} = 0nF，V _{OVLO} > OVLO _{TH} 至 SYNC 低电平	5.5			μs
t _{SYNC}	0V 至 VDD	C _{SYNC} = 0nF，V _{OVLO} < OVLO _{TH} 至 SYNC 高电平	5			μs
t _{BLTIMER1}	消隐计时器 1 范围		0		95	ms
t _{BLTIMER2}	消隐计时器 2 范围		0		95	ms
t _{WD}	看门狗计时器范围		9.5		9500	ms
t _{RETRY}	数字重试延迟范围		9.5		95000	ms
t _{INSEL}	数字插入延迟范围		0.95		950	ms

6.7 PMBus 接口时序特性

在自然通风条件下的工作温度范围内测得（除非另有说明）

参数	测试条件		最小值	典型值	最大值	单位
PMBus 时序特性						
PMB _{CLKR}	PMBus 时钟频率范围	PMBus 时钟要求	0.05		1	MHz
t _{PMB-BUF}	停止和启动条件之间的 PMBus 空闲时间		0.5			μs
t _{PMB-HD-STA}	重复启动条件的保持时间		0.26			μs
t _{PMB-SU-STO}	停止条件建立时间		0.26			μs
t _{PMB-HD-DAT}	SDA 保持时间		0			μs
t _{PMB-SU-DAT}	SDA 建立时间		50			ns
t _{PMB-TIMEOUT}	SCLK 低电平超时		25		35	ms
t _{PMB-LOW}	SCLK 低电平时间		0.5			μs
t _{PMB-HIGH}	SCLK 高电平时间		0.26		50	μs
t _{R-PMB}	SDA/SCLK 上升时间 (V _{IL(MAX)} - 150mV 至 V _{IH(MIN)} + 150mV)	100kHz 级			300	ns
		400kHz 级			300	ns
		1000kHz 级			120	ns
t _{F-PMB}	SDA/SCLK 下降时间， (V _{IH(MIN)} + 150mV 至 V _{IL(MAX)} + 150mV)	100kHz 级			1000	ns
		400kHz 级			300	ns
		1000kHz 级			120	ns

6.8 典型特性

除非另有说明，否则以下条件适用： $T_J = 25^\circ\text{C}$ 、 $V_{IN} = 48\text{V}$ 。所有图表都示出了结温。

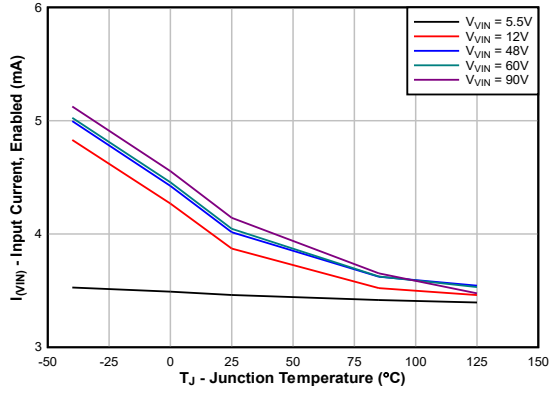


图 6-1. VIN 引脚电流与 V_{IN} 和 T_J 间的关系

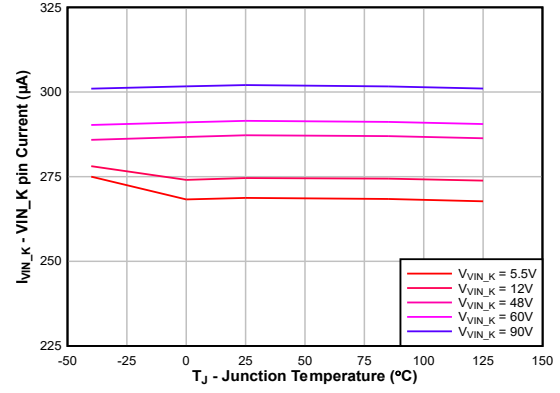


图 6-2. VIN_K 引脚电流与 V_{IN} 和 T_J 间的关系

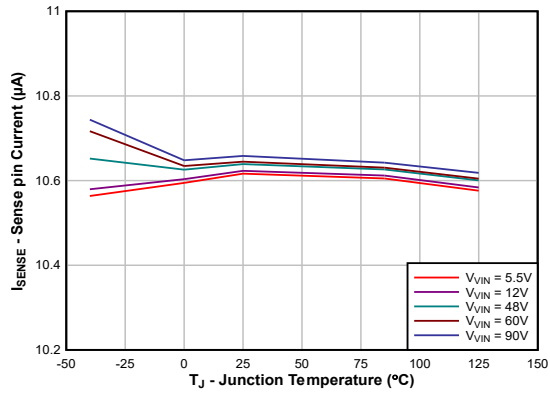


图 6-3. SENSE 引脚电流与 V_{IN} 和 T_J 间的关系

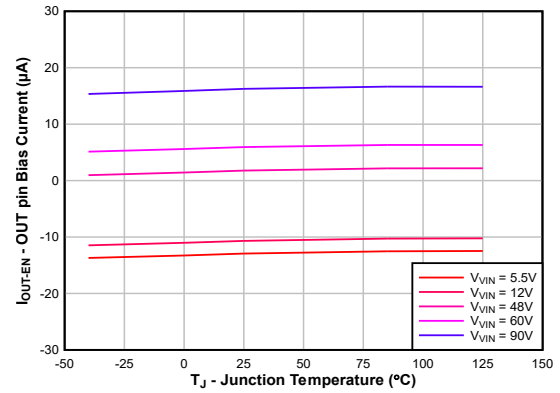


图 6-4. OUT 偏置电流 (启用) 与 V_{IN} 和 T_J 间的关系

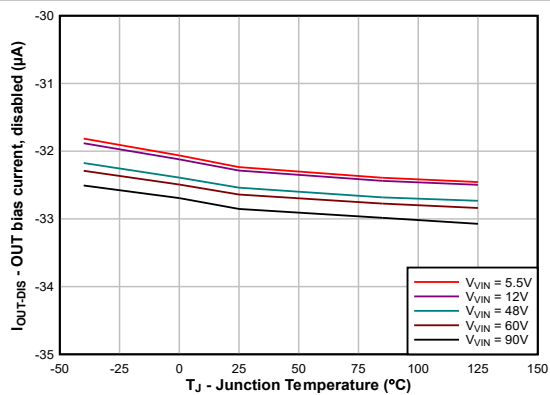


图 6-5. OUT 偏置电流 (禁用) 与 V_{IN} 和 T_J 间的关系

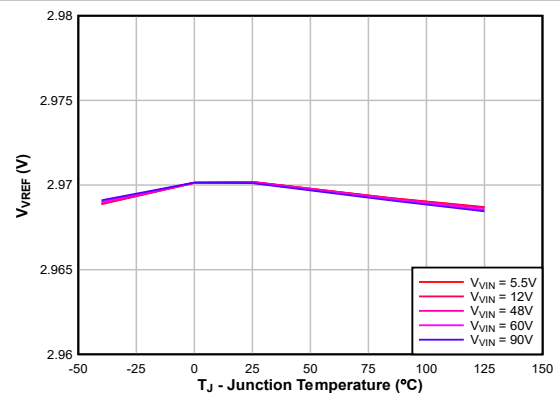


图 6-6. VREF 电压与 V_{IN} 和 T_J 间的关系

6.8 典型特性 (续)

除非另有说明, 否则以下条件适用: $T_J = 25^\circ\text{C}$ 、 $V_{IN} = 48\text{V}$ 。所有图表都示出了结温。

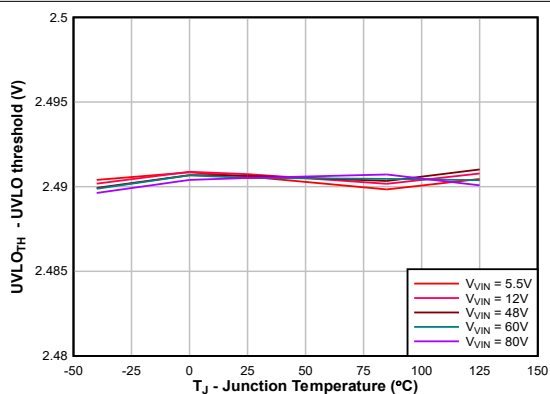


图 6-7. UVLO 阈值与 V_{IN} 和 T_J 间的关系

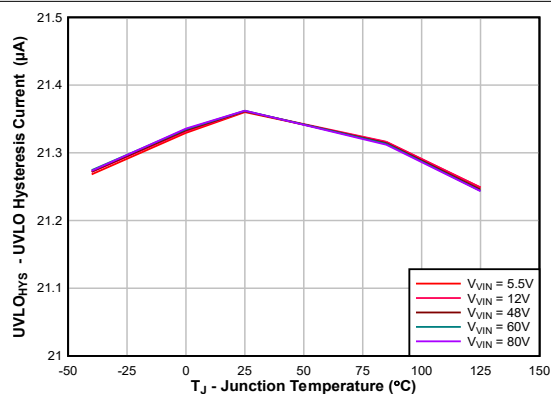


图 6-8. UVLO 磁滞电流与 V_{IN} 和 T_J 间的关系

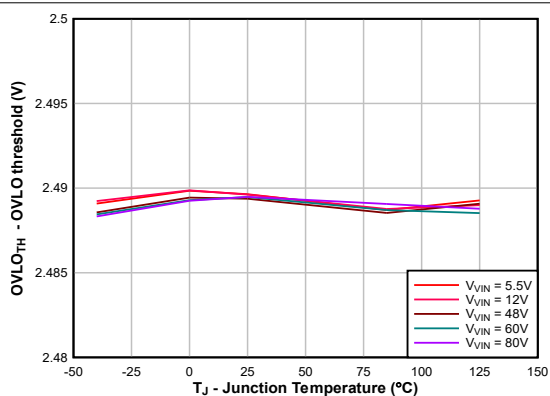


图 6-9. OVLO 阈值与 V_{IN} 和 T_J 间的关系

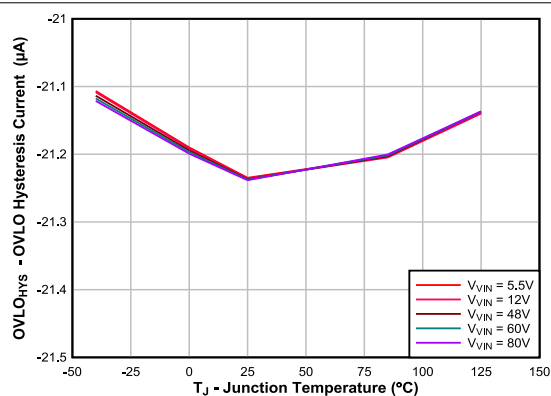


图 6-10. OVLO 磁滞电流与 V_{IN} 和 T_J 间的关系

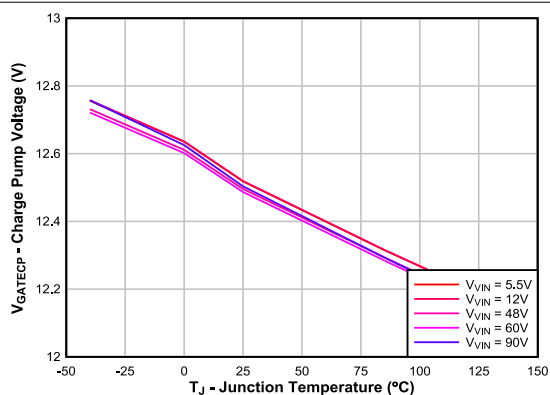


图 6-11. GATE1 电压与 V_{IN} 和 T_J 间的关系

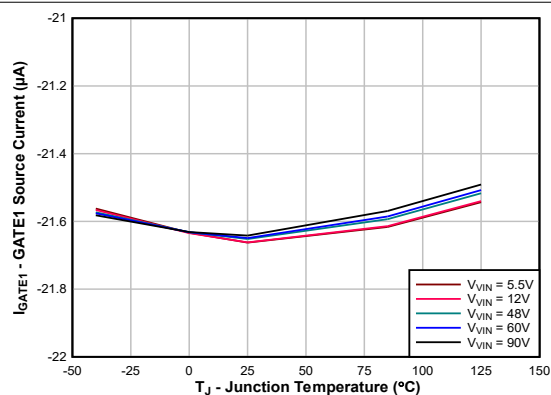


图 6-12. GATE1 拉电流与 V_{IN} 和 T_J 间的关系

6.8 典型特性 (续)

除非另有说明, 否则以下条件适用: $T_J = 25^{\circ}\text{C}$ 、 $V_{IN} = 48\text{V}$ 。所有图表都示出了结温。

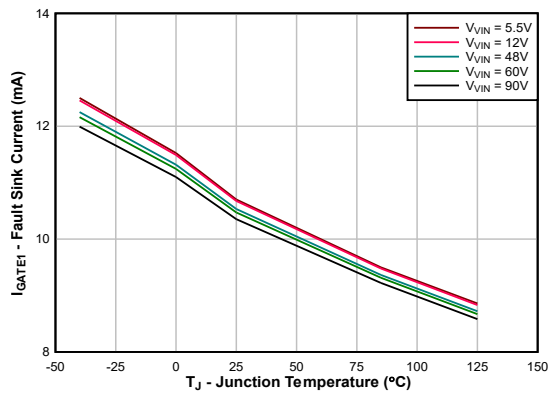


图 6-13. GATE1 灌电流与 V_{IN} 和 T_J 间的关系

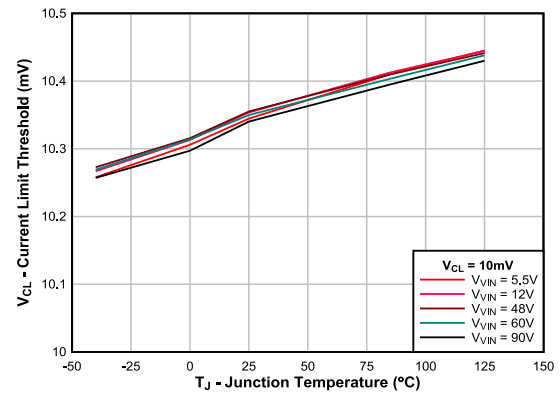


图 6-14. 电流限制阈值与 V_{IN} 和 T_J 间的关系

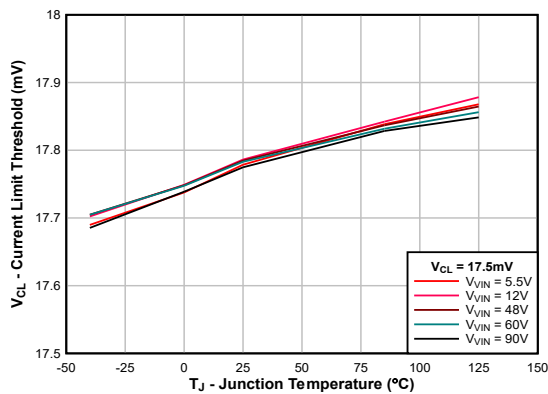


图 6-15. 电流限制阈值与 V_{IN} 和 T_J 间的关系

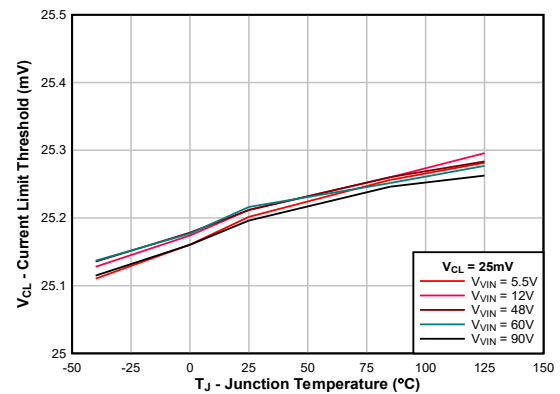


图 6-16. 电流限制阈值与 V_{IN} 和 T_J 间的关系

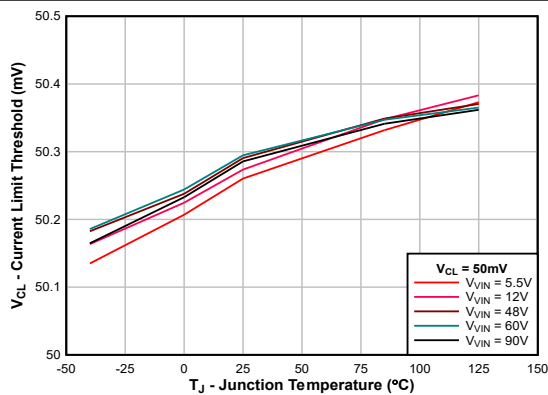


图 6-17. 电流限制阈值与 V_{IN} 和 T_J 间的关系

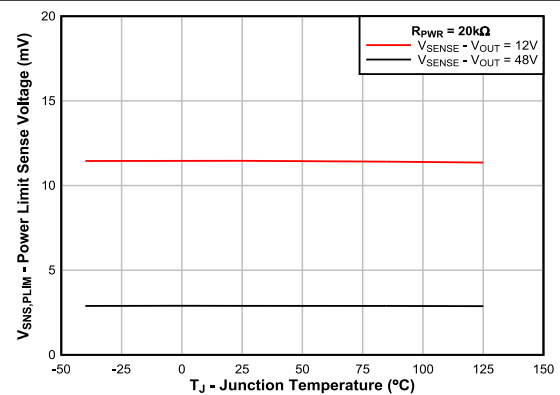


图 6-18. 功率限制阈值与 V_{IN} 和 T_J 间的关系

6.8 典型特性 (续)

除非另有说明, 否则以下条件适用: $T_J = 25^\circ\text{C}$ 、 $V_{IN} = 48\text{V}$ 。所有图表都示出了结温。

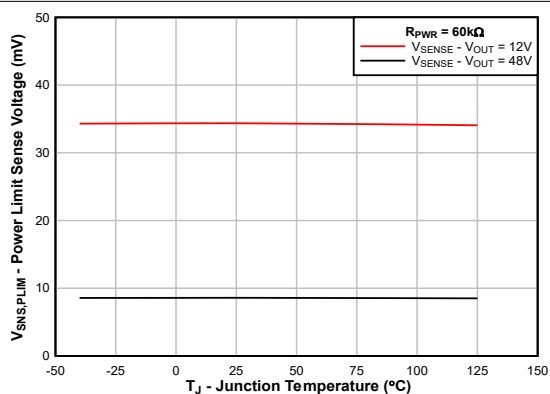


图 6-19. 功率限制阈值与 V_{IN} 和 T_J 间的关系

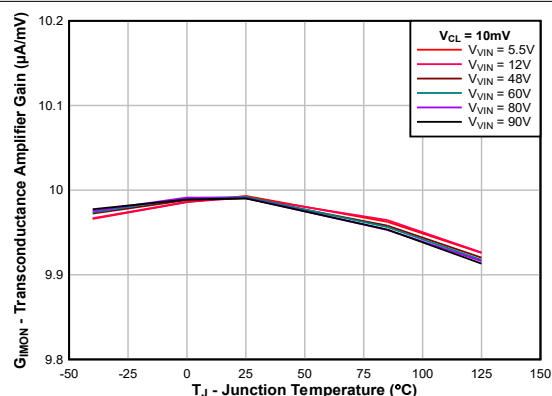


图 6-20. G_{IMON} 与 V_{IN} 和 T_J 间的关系

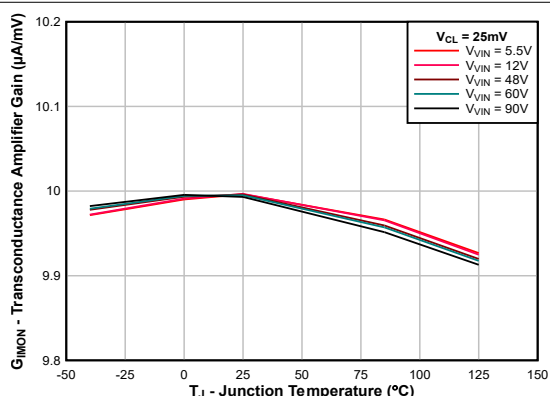


图 6-21. G_{IMON} 与 V_{IN} 和 T_J 间的关系

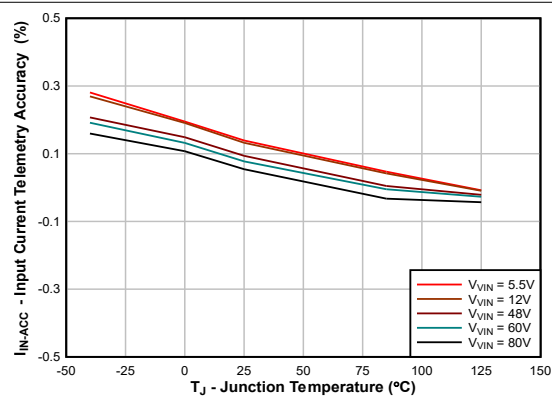


图 6-22. 输入电流遥测精度与 V_{IN} 和 T_J 间的关系

7 详细说明

7.1 概述

LM5066Hx 为 12V、24V 和 48V 系统提供了全面的热插拔控制和电源监控功能。其内联保护电路可限制在卡插入带电背板时的浪涌电流，从而防止电压骤降，并控制连接负载的 dV/dt 。这可以避免意外复位，从而最大限度地减少对其他系统元件的干扰。移除卡后，该器件还会启用受控关断功能。

除了可编程电流限值外，LM5066Hx 还监测并限制 MOSFET 中的最大功率耗散，以保持器件安全工作区 (SOA) 内运行。扩展电流或功率限制条件可触发 MOSFET 器件关断，重试选项可配置 (无、1、2、4、8、16 或无限尝试)。断路器功能可在检测到严重过流情况时快速关断 MOSFET。当系统输入电压超出所需的工作范围时，可编程欠压锁定 (UVLO) 和过压锁定 (OVLO) 电路会关断 LM5066Hx。

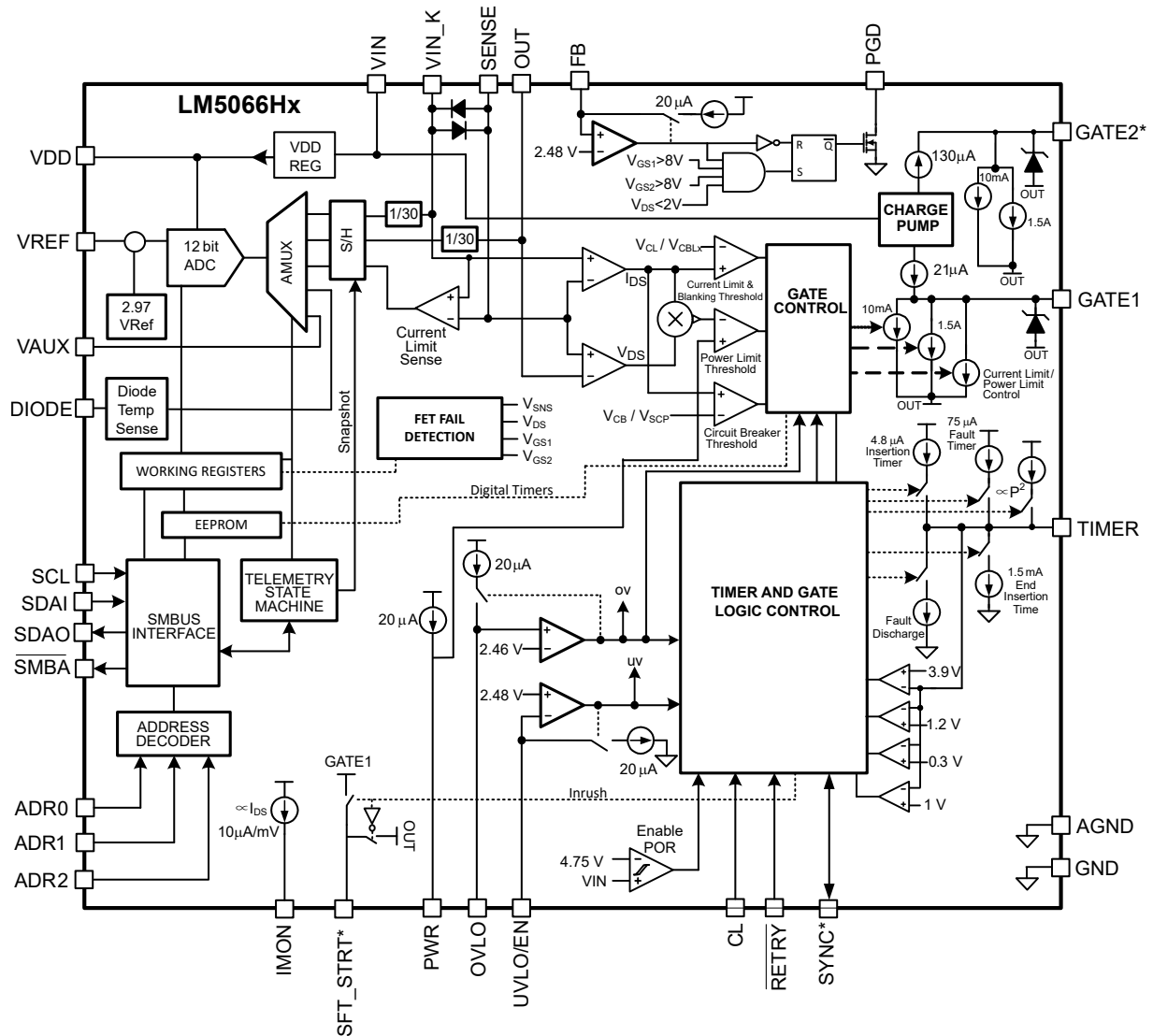
通过 PMBus® 接口可提供广泛的配置选项，也可以存储在内部 EEPROM 中，从而实现自主操作，而无需主机在上电时干预。全面的遥测功能包括监控输入电压、输出电压、输入电流、输入功率、温度和辅助输入。该器件具有输入电压、电流、功率和温度的峰值监测功能，并可对关键参数进行可编程的平均值计算。受监控参数的可编程警告阈值可通过 PMBus 接口触发 SMBA 引脚。高级遥测功能包括高速 ADC 样本缓冲 (“数字示波器”) 和黑盒故障记录，可简化调试并实现预测性维护。

集成的高精度、高带宽模拟负载电流监测器可在稳态和瞬态条件下实现精确的负载电流测量，有助于先进的动态平台电源管理技术 (如 Intel PSYS) 优化系统功耗和吞吐量，而不会影响安全性。

LM5066H2 采用双路栅极驱动器架构，优化了布板空间，并降低了需要多个热插拔 FET 的大功率应用中的元件成本。初级栅极驱动器 (GATE1) 控制单个强大的 SOA FET，该 FET 专为应对启动、电流限制和故障事件期间的功率限制等严苛条件而设计。次级栅极驱动器 (GATE2) 仅在主 FET 达到完全增强后才会激活，从而使系统设计人员能够仅根据低 $R_{DS(ON)}$ 特性选择次级 FET，而无需广泛的 SOA 功能。这种架构显著减少了元件数量和布板空间，同时保持稳健的系统保护。该器件的 100 μA 拉电流能力可确保瞬态条件下的快速恢复，防止在相邻卡移除等事件期间系统复位。

LM5066H2 采用高级软启动电容器断开功能，可提供受控的启动时序，同时在正常运行期间自动断开软启动电容器。这一特性支持使用较小的热插拔 FET，而不会牺牲瞬态响应性能，从而进一步优化系统设计。该器件包含全面的诊断功能，可检测连接至 GATE1 和 GATE2 引脚的外部 MOSFET 损坏，从而增强系统可靠性并便于故障排除。

7.2 功能方框图



* Pin available in LM5066H2 only

7.3 特性说明

7.3.1 电流限值

LM5066Hx 在 10mV 至 50mV 范围内的八个可编程阈值下提供限流保护。当检测电阻 R_{SNS} 上的电压 (在 VIN_K 和 $SENSE$ 引脚之间) 超过选择的阈值时, 将会激活电流限制。可以直接使用 CL 引脚设置两个阈值: 当 CL 连接至 VDD 时为 25mV, 当 CL 连接至 GND 时为 50mV。可通过 PMBus 接口对 $DEVICE_SETUP1$ 和 $DEVICE_SETUP2$ 寄存器进行编程, 从而获得所有八 (8) 个阈值。

在过流事件期间, 该器件提供两种保护模式: 过流消隐和电流限制。根据配置, 这些模式可以独立运行或按顺序运行。

在过流消隐模式下, 只要负载电流保持在断路器阈值 (V_{CB}) 以下, 器件就允许负载电流在设定的时间段内流动, 而不加以限制。LM5066Hx 采用两个配备单独计时器的过流消隐阈值:

- V_{CBL1} , 配备计时器 t_{CBL1} , 用于中等过流
- V_{CBL2} , 配备计时器 t_{CBL2} , 用于更高的过流

这些阈值和计时器在 **DEVICE_SETUP3** 和 **OC_BLANKING_TIMERS** 寄存器中进行配置。通常, V_{CBL1} 设置为高于 V_{CL} , V_{CBL2} 设置为高于 V_{CBL1} 。对于 V_{CL} 和 V_{CBL2} 之间的负载电流, t_{CBL1} 计时器激活。对于 V_{CBL1} 和 V_{CBL2} 之间的负载电流, t_{CBL2} 计时器激活。

如果电流在到期前降至相应阈值以下, 计时器将会复位。如果任一计时器由于长时间过载而到期, 器件将转换至电流限制模式。在 **LM5066H2** 中, 当任一计时器到期时, **GATE2** 会立即关闭。可通过将 t_{CBL1} 和 t_{CBL2} 设置为 $0\mu s$ 来禁用过流消隐模式。

在电流限制模式下, 会对 **GATE** 电压进行调节, 以便将由 **GATE1** 驱动流经 **MOSFET** 的电流限制在设定的电流限制阈值。故障计时器在电流限制期间激活。如果负载电流在故障计时器到期之前降至限流阈值以下, 则恢复正常运行。如果电流限制持续超过 **C_{TMR}** 设置的故障超时周期, **GATE1** 将会关闭。可以通过设置 **DEVICE_SETUP3** 中的位 7 来禁用电流限制。禁用后, 当任一消隐计时器到期时, **GATE1** 和 **GATE2** 都会在消隐阶段后关闭。当发生电流限制故障时, 器件会在 **STATUS_INPUT** (7Ch)、**STATUS_WORD** (79h) 和 **DIAGNOSTIC_WORD** (E1h) 寄存器中设置故障标志, 并将 **SMBA** 引脚置为有效。可使用 **ALERT_MASK** (D8h) 寄存器禁用 **SMBA** 信令。为了实现可靠运行, R_{SNS} 电阻值不应超过 $200m\Omega$, 以避免电流限制控制环路不稳定。

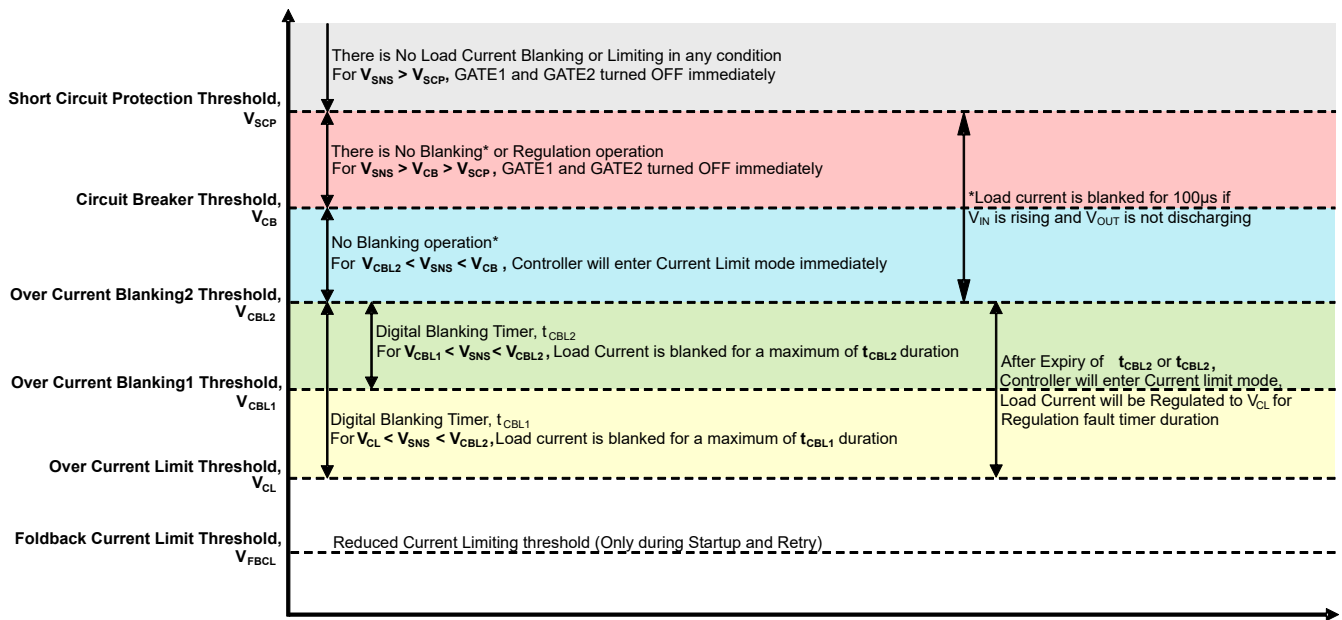


图 7-1. 电流限制、消隐和断路器阈值

表 7-1. 电流限制、折返电流限制、过流消隐、断路器和阈值设置

参数	可配置阈值数量	阈值	模拟/数字
过流限制阈值, V_{CL}	8	10mV、12.5mV、15mV、 17.5mV、20mV、22.5mV、 25mV 和 50mV	模拟
过流消隐 1 阈值, V_{CBL1}	4	$1.25 \times V_{CL}$ 、 $1.5 \times V_{CL}$ 、 $1.75 \times V_{CL}$ 、 $2 \times V_{CL}$	模拟
过流消隐 2 阈值, V_{CBL2}	4	$1.5 \times V_{CL}$ 、 $1.75 \times V_{CL}$ 、 $2 \times V_{CL}$ 、 $2.25 \times V_{CL}$	模拟
断路器阈值, V_{CB}	4	$1.2 \times V_{CL}$ 、 $2 \times V_{CL}$ 、 $3 \times V_{CL}$ 、 $4 \times V_{CL}$	模拟
短路保护阈值, V_{SCP}	1	$1.5 \times V_{CB}$	模拟
启动期间的折返因子	3	$0.05 \times V_{CL}$ 、 $0.1 \times V_{CL}$	模拟
过流消隐计时器 1	16	0ms - 95ms	数字
过流消隐计时器 2	16	0ms - 9.5ms、95ms	数字

表 7-1. 电流限制、折返电流限制、过流消隐、断路器和其他阈值设置 (续)

参数	可配置阈值数量	阈值	模拟/数字
断路器消隐时间	1	100us	模拟
调节计时器 (恒流计时器/P ² t 计时器)	通过计时器引脚设置	可使用 C _{TIMER} 进行配置 最大值: 0ms - 95ms	模拟
P ² t 计时器 - 插入计时器	4	0.95ms - 950ms	数字
P ² t 计时器 - 重试计时器	16	9.5ms - 95s	数字
启动/重试期间的看门狗计时器	16	9.5ms - 9.5s	数字

7.3.2 折返电流限制

LM5066Hx 在启动期间具有电流折返能力, 可将电流限制在正常电流限制阈值的 5% 或 10%。该功能无需在 GATE1 或 SFT_STRT 引脚上连接外部 dV/dt 电容器, 即可实现容性负载的安全启动。可以使用 DEVICE_SETUP3 寄存器中的位 4:5 来选择折返因子, 如果不需要, 可以通过同一寄存器禁用该功能。

看门狗计时器功能会监测热插拔是否在预期时间范围内启动。计时器持续时间可通过 WD_CONFIG 寄存器在 10ms 至 10s 的范围内进行编程, 并且应设置为比预期的启动时间更长。必须选择连接至 GATE1 的 MOSFET, 以便在整个看门狗计时器持续时间内处理折返电流, 从而确保在启动条件下可靠运行。

7.3.3 软启动断开 (SFT_STRT)

LM5066H2 具有先进的软启动机制, 可使用 SFT_STRT 引脚和 GND 之间连接的电容器控制流入输出电容器的浪涌电流。此配置允许根据以下公式精确控制启动电流。

与将 dV/dt 电容器直接连接至栅极的传统热插拔控制器不同, LM5066H2 在 GATE1 和 SFT_STRT 引脚之间实现了开关架构。该设计包含 GATE1 和 SFT_STRT 之间的断开开关, 以及 SFT_STRT 和 OUT 之间的放电开关。在初始热插拔和插入延迟期间, GATE1 至 SFT_STRT 开关在 SFT_STRT 至 OUT 开关闭合时保持断开。在启动期间, SFT_STRT 引脚连接至 GATE1 以控制压摆率。一旦开始正常运行, SFT_STRT 引脚便会从 GATE1 断开并连接至 OUT。

这种架构解决了传统设计中存在的多个问题: 它可防止在稳态下的电流或功率限制期间响应缓慢, 避免在断路器或短路保护事件期间出现栅极延迟关断, 同时消除误报断路器故障后立即重试时的导通缓慢问题, 此类导通缓慢可能进一步拉低输出电压。

7.3.4 断路器

LM5066Hx 提供了具有多个阈值选项的可编程断路器 (CB) 保护。通过对 DEVICE_SETUP1 和 DEVICE_SETUP2 寄存器进行编程, 可以将断路器阈值配置为电流限制阈值的 1.2x、2x、3x 或 4x。此功能可防止电流快速增加 (例如短路), 在短路情况下, 在电流限制环路响应之前, 流经检测电阻器 (R_{SNS}) 的电流可能会超过断路器阈值。

当超过断路器阈值时, GATE1 和 GATE2 都会使用强大的 1.5A 下拉电流快速关断。如果需要, 可以使用 DEVICE_SETUP4 寄存器的位 7 配置器件, 以便在 30 μs 抗尖峰脉冲时间后立即重试, 方法是释放下拉电流并启用 GATE1。在该立即重试期间, 栅极电压根据需要由 dV/dt、电流限制或功率限制功能进行控制。如果过电流或功率限制仍然存在, 调节计时器将激活。如果计时器在限制条件结束之前达到 3.9V, 则 GATE1 将使用 10mA 或 1.5A 下拉电流关闭。在立即重试期间, 有限的 21 μA 拉电流和连接至 GATE1 或 SFT_STRT 引脚的任何外部 dV/dt 电容器可以减缓 GATE1 导通。为了提高断路器误跳闸后的输出电压恢复速度, 该器件具有快速恢复功能, 可以禁用 dV/dt 电容器连接和/或启用 GATE2 与 GATE1。可以使用 DEVICE_SETUP2 寄存器中的位 1 来启用或禁用这个快速恢复逻辑。

对于在通用背板上具有多个热插拔卡的系统 (例如刀片服务器和电信设备), 电源瞬态可能会导致足够大的电流尖峰, 从而错误地触发断路器。为了防止误跳闸, LM5066Hx 实现了一种保护算法, 以消隐 100 μs 的断路器阈值, 从而在不关闭系统的情况下使瞬变稳定下来。在此消隐期间, 固定短路保护 (SCP) 阈值 (断路器阈值的 1.5

倍) 保持有效状态, 以防止发生严重过流事件。如果超过此 SCP 阈值, 器件将以 1.5A 下拉电流关断两个栅极。可以使用 DEVICE_SETUP2 寄存器中的位 0 来启用或禁用这个电源瞬态消隐功能。

断路器事件在 STATUS_OTHER (7Fh)、STATUS_MFR_SPECIFIC (80h) 和 DIAGNOSTIC_WORD (E1h) 寄存器中设置故障标志, 并将 SMBA 引脚置为有效 (除非通过 ALERT_MASK (D8h) 寄存器禁用该功能)。可以通过 DEVICE_SETUP (D9h) 寄存器修改断路器配置。

7.3.5 功率限制

LM5066Hx 采用 MOSFET 功率限制功能, 可保护外部 FET 不在其安全工作区 (SOA) 外工作。该功能通过测量由 GATE1 驱动 MOSFET 的漏源电压 (SENSE 至 OUT) 和通过检测电阻 R_{SNS} (VIN_K 至 SENSE) 的漏极电流来监测其功率耗散。可以使用 PWR 引脚上的电阻器来设置功率限制阈值。

当功率耗散达到限制阈值时, 器件会关断 GATE2 并调制 GATE1 电压, 以调节通过 Q1 的电流。在功率限制期间, 故障调节计时器激活。如果功率限制条件持续超过 C_{TMR} 电容器设置的故障超时周期, GATE1 将会关断。该事件会设置 STATUS_INPUT (7Ch) 寄存器中的 IIN_OC 故障位、STATUS_WORD (79h) 寄存器中的 INPUT 位以及 DIAGNOSTIC_WORD (E1h) 寄存器中的 IIN_OC/PFET_OP_FAULT 位。除非通过 ALERT_MASK (D8h) 寄存器禁用, 否则 SMBA 引脚也会置为有效。

对于输入电压可能会发生阶跃变化 (例如 45V 至 55V) 的应用, 该器件包含功率限制消隐模式。在正常运行期间, 随着 V_{DS} 的增加, 恒定功率限制曲线中的电流限制阈值会降低。这可能会导致器件在高负载下的整个故障计时器持续时间内保持功率限制模式, 从而可能关断 FET。功率限制消隐通过在 V_{DS} 低于 $V_{PLIM,BL}$ 阈值时禁用恒定功率限制型电流折返来解决该问题。这样就允许更大的电流流动并为输出电容器充电, 同时为负载提供服务, 从而帮助输出电压达到输入电压, 而无需关断 MOSFET。 $V_{PLIM,BL}$ 阈值可通过 DEVICE_SETUP4 寄存器的位 0:1 进行配置。

在 V_{DS} 区域低于 $V_{PLIM,BL}$ 时, 由于电流限制折返在功率限制消隐模式下被禁用, FET 功率耗散将超过 PLIM。此功能仅在稳定状态下运行 (当 PG = 高电平时), 在启动或重试条件下不可用。为了使 FET 保持在其 SOA 范围内运行, 数字计时器在功率限制消隐模式期间激活。该计时器应由设计人员配置, 通常设置为短于调节计时器持续时间。

该器件针对不同的工作条件提供灵活的配置选项, 允许根据系统要求选择性启用 SFT_STRT 至 GATE1 连接、电流限制、功率限制消隐模式、过流消隐和折返电流限制。

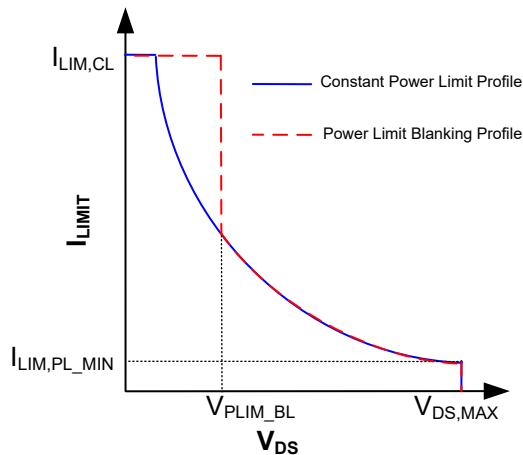


图 7-2. 功率限制曲线

7.3.6 UVLO

仅当输入电源电压在可编程欠压锁定 (UVLO) 和过压锁定 (OVLO) 电平定义的工作范围内时, LM5066Hx 才会启用 MOSFET。VIN 端的 UVLO 阈值通常通过电阻分压器网络进行设置。当 VIN 低于 UVLO 阈值时, UVLO 引脚

上的内部 20 μ A 电流源激活，同时 OVLO 上的电流源保持关断。在这种情况下，GATEx 和 OUT 引脚之间的强下拉电流 (10mA 或 1.5A) 会使 MOSFET 保持关断状态。随着 VIN 增加并将 UVLO 引脚电压升高到其阈值以上，UVLO 上的 21 μ A 电流源会关闭。此操作会增加 UVLO 引脚上的电压，从而提供迟滞以确保阈值稳定运行。

一旦 UVLO/EN 引脚超过其阈值，并且插入延时时间结束，GATE1 将采用 20 μ A 电流源导通。在 GATE1 的 V_{GS} 达到超过 8V 且 FET 上的电压 (V_{DS}) 降至 2V 以下后，便会激活 GATE2。

“应用和实施”部分提供了计算阈值设置电阻值的详细过程。为了实现最小 UVLO 电平配置，UVLO/EN 引脚可以直接连接至 VIN，从而在 VIN 达到上电复位 (POR) 阈值时允许 MOSFET 在插入时间后激活。上电后，UVLO 条件会设置多个状态标志，STATUS_WORD (79h) 寄存器中的 INPUT 位、STATUS_INPUT (7Ch) 寄存器中的 VIN_UV_FAULT 位，以及 DIAGNOSTIC_WORD (E1h) 寄存器中的 VIN_UNDERVOLTAGE_FAULT 位。除非通过 ALERT_MASK (D8h) 寄存器禁用，否则 SMBA 引脚在此情况下会拉至低电平。

7.3.7 OVLO

当 VIN 导致 OVLO 引脚电压超过其阈值时，MOSFET 通过 GATE 引脚上的强下拉电流 (10mA 或 1.5A) 关断，从而将负载与电源断开。在 OVLO 条件下，内部 21 μ A 电流源在 OVLO 引脚上激活，增加电压以产生阈值迟滞，从而实现稳定运行。

当 VIN 降至 OVLO 阈值以下时，GATE1 会首先重新激活，然后 GATE2 会导通，但前提是 GATE1 的栅源电压超过 8V 且漏源电压降至 2V 以下。OVLO 事件会设置多个状态标志：STATUS_INPUT (7Ch) 寄存器中的 VIN_OV_FAULT 位、STATUS_WORD (79h) 寄存器中的 INPUT 位，以及 DIAGNOSTIC_WORD (E1h) 寄存器中的 VIN_OVERVOLTAGE_FAULT 位。除非通过 ALERT_MASK (D8h) 寄存器禁用，否则 SMBA 引脚在此情况下会拉至低电平。

“应用和实施”部分提供了计算适当阈值设置电阻器值的过程。

7.3.8 电源正常

LM5066Hx 具有“电源正常”指示引脚 (PGD)，该引脚需要一个外部上拉电阻器，以为下游电路提供状态指示。PGD 引脚的关断状态电压可在高于或低于 VIN 和 OUT 电压的条件下运行。

满足以下所有条件时，PGD 信号会置为高电平，

- FB 引脚电压超过 PGD 阈值
- GATE1-OUT 和 GATE2-OUT 电压都表示完全增强 ($V_{GS1} > 8V$ 和 $V_{GS2} > 8V$)
- FET (V_{DS}) 两端电压小于 2V

PGD 信号在以下情况下拉至低电平：

- FB 引脚电压降至 PGD 下降阈值以下

输出电压阈值通常通过从输出端到反馈引脚的电阻分压网络进行设置。但是，只要 FB 引脚电压保持在其最大额定值范围内，也可以监测其他电压。为实现阈值迟滞，该器件在 FB 引脚处包含一个 21 μ A 电流源。当 FB 电压低于阈值时，该电流源保持禁用状态。当输出电压增加且 FB 超过阈值时，电流源将激活，从引脚输出电流以升高 FB 电压。PGD 引脚的状态可以通过 PMBus 接口读取，具体可通过 STATUS_WORD (79h) 或 DIAGNOSTIC_WORD (E1h) 寄存器获取。

7.3.9 VDD 子稳压器

LM5066Hx 包含一个内部线性子稳压器，可将输入电压转换为 4.9V 电源轨，从而为低压电路供电。若 CL、RETRY、ADR2、ADR1 和 ADR0 引脚需要接高电平，该 VDD 输出可作为这些引脚的上拉电源。它还可以用作 PGD 引脚和 SMBus 信号 (SDA、SCL 和 SMBA) 的上拉电源。

VDD 子稳压器专为轻负载应用而设计，不应为其他集成电路供电。为了保护器件，VDD 引脚包含设置为 30 mA 的电流限制，以防止在短路情况下损坏。要正常运行，需要在尽可能靠近 VDD 引脚的位置连接一个至少为 1 μ F 的陶瓷旁路电容器。

7.3.10 远程温度检测

LM5066Hx 采用外部 MMBT3904 NPN 晶体管实现远程温度检测功能。将晶体管的基极和集电极连接至 DIODE 引脚，并将发射极连接至 LM5066Hx 接地端。将晶体管放置在需要温度监测的元件附近，例如热插拔通路 MOSFET (Q1)。温度测量的工作原理是通过检测二极管电压随 DIODE 引脚输出的电流阶跃变化而产生的变化。该引脚提供 $10\ \mu\text{A}$ 的恒定电流，且每 $50\ \mu\text{s}$ 会周期性输出 $250\ \mu\text{A}$ 的脉冲以进行温度测量。为获得准确读数，需尽量减小 DIODE 引脚与晶体管之间的寄生电阻，从晶体管发射极到器件地采用开尔文连接，并在晶体管两端并联一个 1nF 的旁路电容以降低噪声。

可通过 READ_TEMPERATURE_1 PMBus 命令 (8Dh) 获取温度读数。默认温度故障和警告阈值可以通过 PMBus 接口使用 OT_WARN_LIMIT (51h) 和 OT_FAULT_LIMIT (4Fh) 命令进行配置。不使用温度检测功能时，请将 DIODE 引脚接地。请注意，当输入电压低于最低工作电平 (5.5V) 时，温度读数可能会不准确，因为这会导致 VREF 降至其标称 2.97V 以下。在较高的环境温度下，这种情况可能会导致读数超过 OT_FAULT_LIMIT，从而触发禁用 Q1 的故障。若要恢复，请清除故障并通过向 OPERATION (03h) 寄存器先写入 0h 再写入 80h 来复位器件。

7.3.11 MOSFET 损坏检测

LM5066Hx 具有 MOSFET 故障检测功能，可在特定条件下识别外部 MOSFET 的损坏情况。该器件监测两种主要的故障类型：

在以下情况下检测漏源极或漏栅故障：

- 在插入期间，检测电阻上的电压超过 2mV ($V_{\text{SNS}} > 2\text{mV}$) 或 FET 上的电压降至 2V 以下 ($V_{\text{DS}} < 2\text{V}$)
- 启动后，如果栅极由于任何故障而关断，且检测电阻电压在 1ms 后保持在 2mV 以上

当以下情况下，检测栅源或漏栅故障：

- 在 GATE1 设置为高电平后， V_{GS1} 保持低于 4V 的时间超过 500ms
- 在 GATE2 设置为高电平后， V_{GS2} 保持低于 4V 的时间超过 500ms

当检测到漏极故障时，会更新多个状态寄存器，STATUS_WORD (79h) 中的 FET_FAIL 位，STATUS_MFR_SPECIFIC (80h) 和 DIAGNOSTIC_WORD (E1h) 中的 EXT_MOSFET_SHORTED 位，以及 STATUS_MFR_SPECIFIC 中的 FET_FAULT_DRAIN 位。SMBA 引脚会置为有效，除非通过 ALERT_MASK 寄存器 (D8h) 进行禁用。器件保持锁闭状态，直到发出运行关闭命令，然后运行开启，或者发出 UVLO/EN 切换或 POWER_CYCLE 命令，或者发生电源下电上电事件。

对于栅极故障，器件会在 STATUS_WORD (79h) 中设置 FET_FAIL 位，在 STATUS_MFR_SPECIFIC (80h) 和 DIAGNOSTIC_WORD (E1h) 中设置 EXT_MOSFET_SHORTED 位。此外，若为 GATE1 故障，设置 STATUS_MFR_SPECIFIC 中的 FET_FAULT_GATE1 位，若为 GATE2 故障，设置 FET_FAULT_GATE2 位。检测到 GATE 类型故障后，可以通过设置 GATE_MASK (D7h) 寄存器中的位 6，将 GATE1 和 GATE2 配置为关断状态。如果配置为在栅极类型故障后关断，则器件会根据配置设置进行重试。

7.3.12 模拟电流监测器 (IMON)

LM5066Hx 采用精密模拟电流监测器，可输出与通过外部 MOSFET 的负载电流成比例的电流。该电流模式输出在 IMON 引脚呈现，相对于检测电阻 (R_{SNS}) 上的电压，增益为 $10\ \mu\text{A/mV}$ 。

电流输出设计允许信号在较长的电路板距离上传输，而不会因压降或相邻走线的噪声耦合引入误差。在并联热插拔配置中，可以将多个 IMON 引脚连接在一起，以提供表示系统总电流的叠加电流测量值。

出于测量目的，可通过在 IMON 引脚与地之间连接一个电阻器 (R_{IMON})，将 IMON 电流转换为电压。由此产生的电压 (V_{IMON}) 可根据以下公式准确反映负载电流。

IMON 电路在不同的负载和温度条件下都能提供高带宽和高精度，且不受电路板布局 and 系统工作参数的影响。这种性能使其非常适合 Intel PSYS 或 PROCHOT 等先进的动态平台电源管理实施方案，能让系统在不影响安全性

和可靠性的前提下，最大限度地提高电源利用率和吞吐量。如果应用中不需要 IMON 功能，该引脚可保持悬空而不影响器件运行。

7.4 器件功能模式

7.4.1 上电序列

LM5066Hx 可在 5.5V 至 80V 输入电压范围内运行，具有 100V 瞬态电压能力。在初始上电期间，该器件通过在 GATEx 和 OUT 引脚之间施加 10mA 下拉电流，防止 MOSFET 意外导通，从而避免米勒电容充电效应。计时器引脚初始电位为地电平。当 VIN 达到上电复位 (POR) 阈值时，插入延迟序列开始。在此期间，5 μ A 电流源为外部定时电容 (C_{TMR}) 充电，而 10mA 下拉将使 MOSFET 保持在关断状态。此延迟使输入电压瞬变能够在启用导通器件之前稳定下来。当计时器引脚达到 3.9V 时，插入延迟结束，此时 C_{TMR} 通过内部 1.5mA 灌电流快速放电。

如果 VIN 在插入延迟后超过 UVLO 阈值，则 GATE1 引脚将通过 21 μ A 电流源激活，为 MOSFET 栅极充电。内部 16.5V 齐纳二极管限制了最大栅源电压。对于 LM5066H2，一旦 GATE1 V_{GS} 超过 8V 且 V_{DS} 降至 2V 以下，GATE2 就会通过 130 μ A 拉电流导通。随着输出电压上升，该器件会监测流经 MOSFET 的电流和功率耗散。在浪涌电流或功率限制期间，75 μ A 故障计时器电流为 C_{TMR} 充电。如果在计时器达到 3.9V 之前限制条件得到解决，电流源将关闭，C_{TMR} 将通过 2.5 μ A 灌电流进行放电。如果计时器在仍处于限制条件下时达到 3.9V，则会将一个故障置为有效且 GATE1 关断。

STATUS_MFR_SPECIFIC 寄存器 (80h) 中的 CONFIG_PRESET 位保持置位状态，直到使用 CLEAR_FAULTS 命令清除。一个可配置的看门狗计时器 (10ms 至 10s) 可监测上电进度。当 GATE1 启用时，该计时器将启动，如果 PGD 未在设置的持续时间内置为有效，则会在 STATUS_MFR_SPECIFIC_2 寄存器中指示 WD 计时器故障。该故障可以配置为通过 GATE_MASK 寄存器关闭 GATE1 和 GATE2。

器件 SMBus 地址由上电时的 ADR0，ADR1 和 ADR2 引脚状态决定，在 VDD 超过其 4.3V POR 阈值后锁存。可以通过将 VREF 引脚保持为低电平来延迟地址捕获，这同时也会复位逻辑并清除运行存储器。释放后，该地址会在 VREF 超过 2.55V 时锁存。对于自定义寻址，可在地址引脚悬空的情况下，通过编程 PMBUS_ADDR 寄存器来覆盖硬件设置的地址。

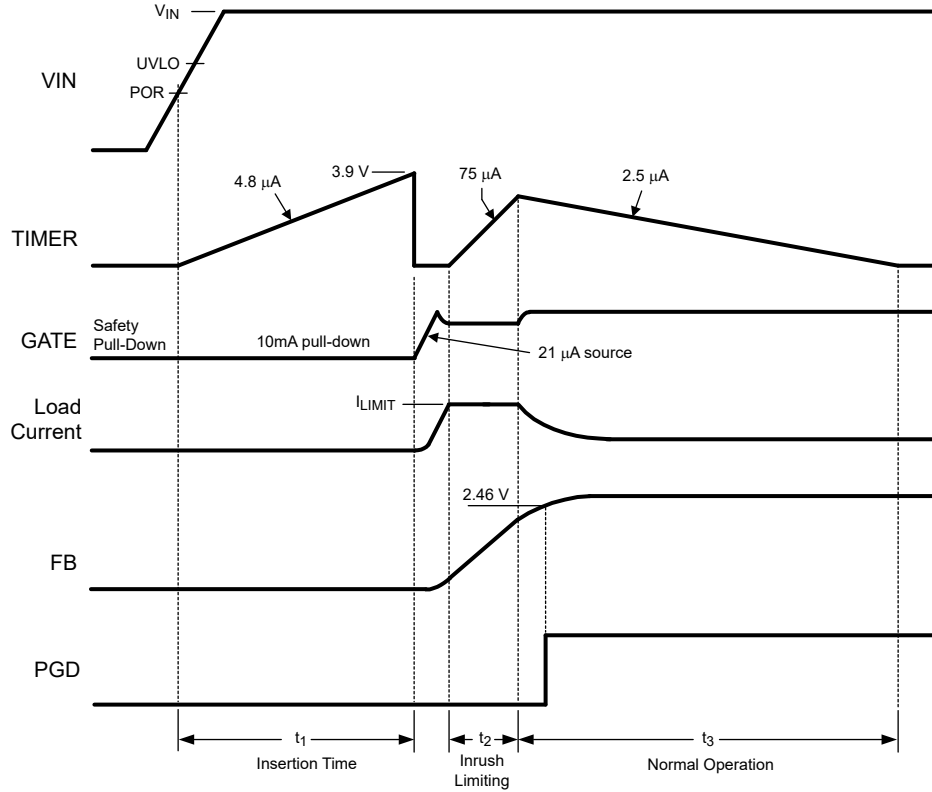


图 7-3. 上电序列 (仅限电流限制)

7.4.2 栅极控制

LM5066H1 提供单栅极驱动，能够并联驱动多个 MOSFET。LM5066H2 采用双通道栅极驱动架构，针对高功率热插拔应用优化了 MOSFET 选择。GATE1 可在双栅极配置下驱动单个稳健的 SOA MOSFET，或在单栅极模式下驱动多个 MOSFET。在 21 μ A 栅源电流的情况下，GATE1 可提供受控导通功能，以便实现基于有效浪涌电流限制或功率限制的启动。对于 LM5066H1，dV/dt 电容器可直接从 GATE1 连接至 GND；对于 LM5066H2，dV/dt 电容器可跨接在 SFT_STRT 与 GND 之间，以进一步管理浪涌电流。在电流限制或功率限制条件下，该器件会调节 GATE1，同时保持 GATE2 关闭。

在双路栅极运行中，GATE2 驱动多个低 $R_{DS(ON)}$ MOSFET，以实现正常运行。为了保护这些 MOSFET，只要 V_{DS} 超过 2V，GATE2 就会关断，从而防止启动、短路情况或电流/功率限制事件期间产生功率应力。仅当 GATE1 V_{GS} 超过 8V 且 V_{DS} 降至 2V 以下时，GATE2 才会激活。更高的栅源电流 (130 μ A) 可使多个并联 MOSFET 快速导通。

如果发生以下任何事件，则 LM5066Hx 的 GATE1 和 GATE2 已关闭：

- 过流消隐和调节故障计时器到期后，电流超过电流限制阈值
- MOSFET 中的功率耗散超过功率限制阈值，调节故障计时器到期
- 欠压或过压条件
- 断路器或短路保护
- 过热、MOSFET 损坏检测或看门狗超时故障
- PMBus 命令、OPERATION 或 POWER CYCLE 命令用于设置输出禁用

在稳定状态下，当发生以下任何条件时，GATE2 将关断，GATE1 保持导通或处于稳压状态，

- V_{DS} 出于任何原因都超过 2V
- 电流限制或功率限制操作开始

一个内部电荷泵向两个输出端提供栅极电压，在正常运行时在栅极上产生约 13.5V 的电压。在初始上电期间，10mA 下拉电阻可防止米勒电容效应导致不必要的 MOSFET 激活。

在插入期间，10mA 下拉电流使两个栅极保持低电平。插入后，GATE1 电压进行调制，在计时器电容器充电时，将电流和功率保持在编程的限值范围内。如果在计时器达到 3.9V 之前限制条件得到解决，电容器将放电并开始正常运行。如果限制持续到计时器达到 3.9V，GATE1 会拉至低电平，直到重试。

LM5066Hx 可针对各种故障条件提供可配置的栅极下拉强度（10mA 或 1.5A），以灵活匹配系统要求。

参数	条件	GATE1	GATE2
拉电流	正常运行	21 μ A	130 μ A
灌电流	$V_{UVLO} < V_{UVLOTH}$	10mA /1.5A 可在 DEVICE_SETUP5 寄存器的位 0 中进行选择	
	$V_{OVLO} > V_{OVLOTH}$	10mA /1.5A 可在 DEVICE_SETUP5 寄存器的位 1 中进行选择	
	OC / FET Plim 故障 调节计时器到期后	10mA /1.5A 可在 DEVICE_SETUP5 寄存器的位 4 中进行选择	x
	消隐计时器到期， 器件进入电流/功率限制	x	10mA /1.5A 可在 DEVICE_SETUP5 寄存器的位 3 中进行选择
	数字故障/命令 (OT、FET_FAIL、运行、下电上电、WD 到期)	10mA /1.5A 可在 DEVICE_SETUP5 寄存器的位 2 中进行选择	
	CB / SCP	1.5A	
	VIN < POR 插入时间	10mA	
最大稳压灌电流	OC/FET Plim 限制	235 μ A	x

7.4.3 故障计时器和重启

当在启动或其他故障事件期间超过电流或功率限制阈值时，该器件会调节 GATE1 电压，以控制负载电流并限制初级 FET (Q1) 中的功率耗散。在这些调节时段内，75 μ A 电流源为连接至计时器引脚的外部故障计时器电容器 (C_{TMR}) 充电，对于 LM5066H2，GATE2 将保持完全关断状态。如果在计时器引脚电压达到 3.9V 之前限制条件解决，该器件将恢复正常工作，并且 C_{TMR} 通过 10mA 灌电流进行放电。但是，如果计时器引脚电压在仍处于限制模式时达到 3.9V，GATE1 会通过 10mA 或 1.5A 下拉电流关断。后续的重启行为取决于所选的重试配置。

当 $\overline{\text{RETRY}}$ 引脚为高电平时，该器件会在故障超时期结束后将 GATE 锁存为低电平。然后，计时电容器通过 2.5 μ A 灌电流向地放电。GATE 保持低电平，直到通过对输入电压进行上下电循环或使用集电极开路或漏极开路器件短暂地将 UVLO/EN 引脚拉至其阈值以下来从外部启动上电序列。为了成功重新启动，计时器引脚电压必须低于 0.3V。在该锁闭关断条件下，DIAGNOSTIC_WORD (E1h) 寄存器中的 TIMER_LATCHED_OFF 位保持置位状态。

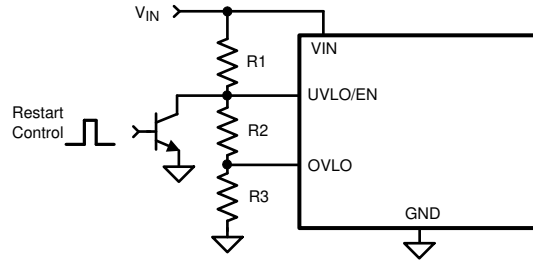


图 7-4. 锁存故障重启控制

LM5066Hx 采用用于故障恢复的可配置自动重试机制。在故障超时期间之后，器件启动自动重启序列，在此期间计时器引脚会在 3.9V 至 1.2V 之间循环七次。每个周期的持续时间取决于外部计时器电容 (C_{TMR}) 值，以及内部 75 μ A 充电电流和 2.5 μ A 放电电流。在第八次高电平到低电平转换期间，当计时器引脚电压达到 0.3V 时，器件会激活 GATE 引脚上的 21 μ A 电流源，以开启外部 MOSFET (Q1)。如果故障情况仍然存在，则故障超时周期和重启序列会根据编程的重试设置重复。可通过 RETRY 引脚选择基本重试行为，支持“无重试（闭锁关断模式）”或“无限重试”两种模式。为了实现更精确的控制，DEVICE_SETUP 寄存器 (D9h) 支持选择特定重试计数：0、1、2、4、8、16 或无限。这种可编程性使系统设计人员能够根据应用要求优化故障恢复行为。在闭锁模式下，器件会将 FET 保持在关断状态，直到发出 OPERATION OFF 命令，然后发出 OPERATION ON 命令，或发出 UVLO/EN 切换或 POWER_CYCLE 命令，或发生电源下电上电事件。

计时器放电电流可通过 DEVICE_SETUP4 寄存器的位 6 配置为 2.5 μ A 或 75 μ A。重试延迟时序可以使用带有外部电容器的模拟故障计时器或数字计时器，可通过 DEVICE_SETUP4 的位 2:3 进行选择。使用数字时序时，可使用 DELAY_CONFIG 寄存器的位 4:7 在 10ms 至 10s 的范围内，对重试延迟周期进行编程。

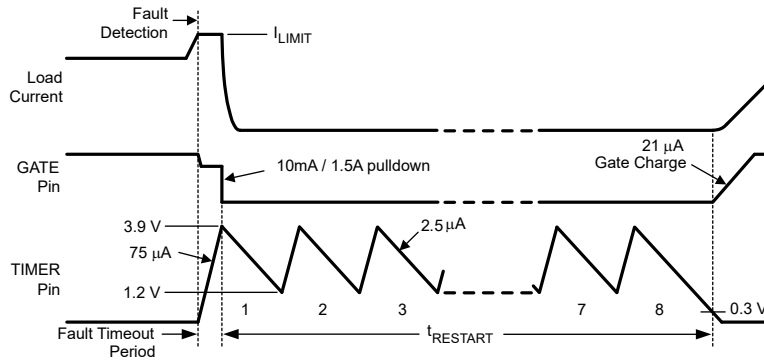


图 7-5. 重启序列

7.4.4 关断控制

通过集电极开路或漏极开路器件，将 UVLO/EN 引脚电压拉至其阈值以下，即可远程关断负载电流，具体如图 7-6 所示。释放 UVLO/EN 引脚时，LM5066Hx 会开启 FET，并同时提供浪涌电流和功率限制。此外，也可以通过将 80h 或 0h 写入 OPERATION (03h) 寄存器来启用或禁用输出。

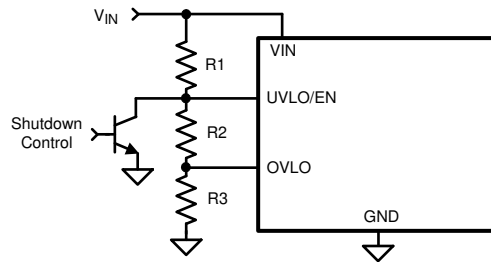


图 7-6. 关断控制

7.4.5 启用/禁用和复位

在正常运行期间，可通过将 UVLO/EN 引脚拉低至其阈值以下，或将 OVLO 引脚拉高至其阈值以上，使 LM5066Hx 输出禁用，此时 GATE 电压将以 10mA 或 1.5A 的下拉强度被拉低。切换 UVLO/EN 也会将器件从锁闭状态中复位，这种状态是在过流或过功率情况下因超过最大重试计数而引起的。虽然 UVLO/EN 和 OVLO 引脚控制输出状态，但不会影响器件存储器。无论这些引脚状态如何，地址、操作设置和故障阈值的用户编程值都会保留在操作存储器和内部 EEPROM 中。也可通过 PMBus 接口控制输出，方法是向 OPERATION 寄存器写入 80h (启用) 或 0h (禁用)。故障条件后，可通过向该寄存器先写入 0h，再写入 80h 的方式，重新启用器件。POWER_CYCLE 命令可实现受控的输出循环，先关闭电源，再经过 RETRY_CONFIG 寄存器设置的可配置延迟后重新上电。

7.5 编程

7.5.1 PMBus 命令支持

该器件具有 SMBus 接口，允许使用 PMBus 命令在 V_{IN} 、 V_{OUT} 、 I_{IN} 、 V_{AUX} 和 P_{IN} 上设置警告级别、错误掩码，并获取遥测数据。表 7-2 中展示了支持的 PMBus 命令。

表 7-2. 支持的 PMBus 命令

序号	代码	名称	功能	类型	R/W	数据字节数	默认值	存储在内部 EEPROM 中
1	01h	操作	检索或存储运行状态	控制	R/W	1	80h	否
2	03h	CLEAR_FAULTS	清除状态寄存器并重新激活黑盒寄存器以进行更新	控制	发送字节	0	不适用	否
3	10h	WRITE_PROTECT	为 OPERATION、配置寄存器和 EEPROM 启用/禁用写入保护	控制	R/W	1	00h	是
4	12h	RESTORE_FACTORY_DEFAULTS	将所有配置寄存器初始化/复位为其出厂默认值	控制	发送字节	0	不适用	否
5	15h	STORE_USER_ALL	将配置值存储到内部 EEPROM	控制	发送字节	0	不适用	否
6	16h	RESTORE_USER_ALL	使用内部 EEPROM 中存储的用户编程值初始化所有配置寄存器	控制	发送字节	0	不适用	否
7	19h	CAPABILITY	支持的 PMBus® 特性	遥测	R	1	D0h	否
8	43h	VOUT_UV_WARN_LIMIT	检索或存储输出欠压警告限制阈值	配置	R/W	2	0000h	是
9	4Fh	OT_FAULT_LIMIT	检索或存储过热故障限制阈值	配置	R/W	2	0FFFh (255°C)	是
10	51h	OT_WARN_LIMIT	检索或存储过热警告限制阈值	配置	R/W	2	0FFFh (255°C)	是
11	57h	VIN_OV_WARN_LIMIT	检索或存储输入过压警告限制阈值	配置	R/W	2	0FFFh	是
12	58h	VIN_UV_WARN_LIMIT	检索或存储输入欠压警告限制阈值	配置	R/W	2	0000h	是
13	5Dh	IIN_OC_WARN_LIMIT	检索或存储输入电流警告限制阈值 (D3h、F8h 处的镜像)	配置	R/W	2	0FFFh	是
14	78h	STATUS_BYTE	检索有关器件运行状态的信息	遥测	R	1	01h	否
15	79h	STATUS_WORD	检索有关器件运行状态的信息	遥测	R	2	0801h	否
16	7Ah	STATUS_VOUT	检索有关输出电压状态的信息	遥测	R	1	00h	否

表 7-2. 支持的 PMBus 命令 (续)

序号	代码	名称	功能	类型	R/W	数据字节数	默认值	存储在内部 EEPROM 中
17	7Ch	STATUS_INPUT	检索有关输入状态的信息	遥测	R	1	00h	否
18	7Dh	STATUS_TEMPERATURE	检索有关温度状态的信息	遥测	R	1	00h	否
19	7Eh	STATUS_CML	通信、存储器、逻辑状态	遥测	R	1	00h	否
20	7Fh	STATUS_OTHER	检索其他状态信息	遥测	R	1	00h	否
21	80h	STATUS_MFR_SPECIFIC	检索有关断路器和 MOSFET 短路状态的信息	遥测	R	1	10h	
22	86h	READ_EIN	检索能量计测量	遥测	块读取	6	00h 00h 00h 00h 00h 00h	否
23	88h	READ_VIN	检索输入电压测量值	遥测	R	2	0000h	否
24	89h	READ_IIN	检索输入电流测量值 (D1h 处的镜像)	遥测	R	2	0000h	否
25	8Bh	READ_VOUT	检索输出电压测量值	遥测	R	2	0000h	否
26	8Ch	READ_IOUT	检索输出电流测量值	遥测	R	2	0000h	否
27	8Dh	READ_TEMPERATURE_1	检索温度测量值	遥测	R	2	0000h	否
28	96h	READ_POUT	检索输出功率测量值	遥测	R	2	0000h	否
29	97h	READ_PIN	检索平均输入功率测量值 (DFh 处的镜像)。	遥测	R	2	0000h	否
30	98h	PMBUS_Revision	PMBus® 规范 I 和 II 部分修订版 1.3	遥测	R	1	33h	否
31	99h	MFR_ID	检索 ASCII 字符的制造商 ID (TI)	遥测	块读取	3	54h 49h 0h	金属
32	9Ah	MFR_MODEL	检索 ASCII 字符的器件型号。(LM5066H)	遥测	块读取	8	4Ch 4Dh 35h 30h 36h 36h 48h 0h	金属
33	9Bh	MFR_REVISION	检索 ASCII 格式的器件修订字母或数字 (例如 AA)	遥测	块读取	2	41h 41h	金属
34	A0h	READ_VIN_MIN	最小输入电压	遥测	R	2	0FFFh	否
35	A1h	READ_VIN_PEAK	峰值输入电压	遥测	R	2	0000h	否
36	A2h	READ_IIN_PEAK	峰值输入电流	遥测	R	2	0000h	否
37	A3h	MFR_SPECIFIC_05 READ_PIN_PEAK	检索测得的峰值输入功率测量值	遥测	R	2	0000h	否
38	A4h	READ_VOUT_MIN	最小输出电压	遥测	R	2	0FFFh	否

表 7-2. 支持的 PMBus 命令 (续)

序号	代码	名称	功能	类型	R/W	数据字节数	默认值	存储在内部 EEPROM 中
39	BCh	USER_DATA	一般用户可编程数据	配置	R/W	1	00h	是
40	C7h	READ_TEMP_AVG	平均器件温度	遥测	R	2	0000h	否
41	C8h	READ_TEMP_PEAK	器件峰值温度	遥测	R	2	0000h	否
42	C9h	READ_SAMPLE_BUF	ADC 采样缓冲器	遥测	块读取	64	0000h	否
43	CAh	POWER_CYCLE	断电输出并在通过 RETRY_CONFIG 寄存器进行编程的延迟后重新启动	控制	发送字节	0	未定义	否
44	CCh	DEVICE_SETUP1	检索或存储有关重试尝试次数的信息	配置	R/W	1	0000h	是
45	CDh	DEVICE_SETUP4	器件配置	配置	R/W	1	91h	是
46	CEh	DEVICE_SETUP5	器件配置	配置	R/W	1	00h	是
47	D0h	READ_VAUX	检索辅助电压测量值	遥测	R	2	0000h	否
48	D1h	MFR_READ_IIN	检索输入电流测量值 (89h 处的镜像)	遥测	R	2	0000h	否
49	D2h	MFR_READ_PIN	检索输入功率测量值	遥测	R	2	0000h	否
50	D3h	MFR_IIN_OC_WARN_LIMIT	检索或存储输入电流限值警告阈值 (5Dh、F8h 处的镜像)	配置	R/W	2	0FFFh	是
51	D4h	MFR_PIN_OP_WARN_LIMIT	检索或存储输入功率限制警告阈值	配置	R/W	2	0FFFh	是
52	D6h	CLEAR_PIN_PEAK	将峰值输入功率寄存器的内容复位为 0	控制	发送字节	0	未定义	否
53	D7h	GATE_MASK	允许用户在各种故障情况下禁用 MOSFET 栅极关断	配置	R/W	1	42h	是
54	D8h	ALERT_MASK	检索或存储用户 SMBA 故障屏蔽	配置	R/W	2	FD20h	是
55	D9h	READ_VAUX_AVG	检索平均 Vaux 测量值	遥测	R	2	0000h	否
56	DAh	BLOCK_READ	在单个事务中检索最新的诊断和遥测信息	遥测	块读取	12	0880h 0000h 0000h 0000h 0000h 0000h	否
57	DBh	SAMPLES_FOR_AVG	要取平均值的样本数的指数值 AVGN (N = 2 ^{AVGN}), 范围= 00h 至 0Ch	配置	R/W	1	08h	是

表 7-2. 支持的 PMBus 命令 (续)

序号	代码	名称	功能	类型	R/W	数据字节数	默认值	存储在内部 EEPROM 中
58	DCh	READ_AVG_VIN	检索平均输入电压测量值	遥测	R	2	0000h	否
59	DDh	READ_AVG_VOUT	检索平均输出电压测量值	遥测	R	2	0000h	否
60	DEh	READ_AVG_IIN	检索平均输入电流测量值	遥测	R	2	0000h	否
61	DFh	READ_AVG_PIN	检索平均输入功率测量值	遥测	R	2	0000h	否
62	E0h	BB_CLEAR	清除 READ_BB_RAM 数据	控制	发送字节	0	未定义	否
63	E1h	DIAGNOSTIC_WORD_READ	STATUS_WORD 的制造商特定并行, 用于在单个事务中传递所有 FAULT/WARN 数据	遥测	R	2	0880h	否
64	E2h	AVG_BLOCK_READ	在单个事务中检索最新的平均遥测和诊断信息	遥测	块读取	12	0880h 0000h 0000h 0000h 0000h 0000h	否
65	E3h	BB_ERASE	擦除内部 EEPROM 中的黑盒数据	控制	发送字节	0	未定义	否
66	E4h	BB_CONFIG	黑盒配置	配置	R/W	1	00h	是
67	E5h	OC_BLANKING_TIMERS	瞬态过流消隐计时器 1 和 2	配置	R/W	1	75h	是
68	E7h	DELAY_CONFIG	SOA 计时器配置文件的插入和重试延迟	配置	R/W	1	84h	是
69	E8h	WD_PLB_TIMER	看门狗和功率限制消隐计时器配置	配置	R/W	1	BFh	是
70	E9h	PK_MIN_AVG	峰值/最小值/平均值配置	配置	R/W	1	00h	是
71	EAh	P ² t 计时器	P ² t 计时器配置	配置	R/W	1	0Ch	是
72	EBh	FETCH_BB_EEPROM	将黑盒 EEPROM 内容获取到内部影子/工作寄存器中	控制	发送字节	0	未定义	否
73	ECh	READ_BB_RAM	黑盒 RAM/工作寄存器	遥测	块读取	7	00h	是
74	EDh	ADC_CONFIG_1	ADC 配置	配置	R/W	1	00h	是
75	EEh	ADC_CONFIG_2	ADC 配置	配置	R/W	1	00h	是
76	EFh	DEVICE_SETUP2	器件配置	配置	R/W	1	00h	是

表 7-2. 支持的 PMBus 命令 (续)

序号	代码	名称	功能	类型	R/W	数据字节数	默认值	存储在内部 EEPROM 中
77	F0h	DEVICE_SETUP3	器件配置	配置	R/W	1	00h	是
78	F2h	IIN 偏移校准	配置 IIN 偏移	配置	R/W	1	00h	是
79	F3h	STATUS_MFR_SPECIFIC_2	其他特定于制造商的故障状态	遥测	R	2	0000h	否
80	F4h	READ_BB_EEPROM	黑盒 EEPROM 内容	遥测	块读取	16	未定义	否
81	F6h	BB_TIMER	黑盒嘀嗒计时器	遥测	R	1	00h	否
82	F7h	PMBUS_ADDR	ADR0 = ADR1 = ADR2 = 开路设置的 器件地址	配置	R/W	1	40h	是
83	F8h	OC_WARN_LIMIT	检索或存储输入电流 警告限制阈值 (5Dh、F8h 处的镜 像)	配置	R/W	2	0FFFh	是

7.5.2 PMBus 命令的详细说明

7.5.2.1 操作 (01h, 读取/写入字节)

OPERATION 命令是用于控制 MOSFET 开关的标准 PMBus 命令。此命令可用于在主机控制下打开和关闭 MOSFET。它还用于在故障触发关断后重新启用 MOSFET。在故障条件清除后写入 OFF 命令，然后写入 ON 命令，将清除状态寄存器中的所有故障和警告位，并重新启用器件。在故障触发关断后仅写入 ON 命令不会清除故障寄存器或重新启用器件。OPERATION 命令与写入字节协议一起发出。

表 7-3. 识别的操作命令值

名称	说明	默认值
80h	开关打开	80h
00h	开关关闭	

7.5.2.2 CLEAR_FAULTS (03h, 发送字节)

CLEAR_FAULTS 命令是一条标准 PMBus 命令，可复位所有存储的警告和故障标志以及 $\overline{\text{SMBA}}$ 信号。如果在发出 CLEAR_FAULTS 命令时故障或警告条件仍然存在，则 $\overline{\text{SMBA}}$ 信号可能无法清除或几乎立即重新置为有效。发出 CLEAR_FAULTS 命令不会导致 MOSFET 在发生故障关断时重新导通；这必须通过在故障条件清除后发出 OPERATION OFF 命令，然后发出 OPERATION ON 命令或 POWER_CYCLE 命令来完成，或通过自动重试序列来完成。该命令还会清除 BB_RAM 内容并且将 BB_TIMER 寄存器复位为零 (0)。此命令对黑盒 EEPROM 存储器内容没有影响。此命令使用 PMBus 发送字节协议。没有此命令的数据字节。此命令为只写命令。

备注

TI 建议在每次器件成功上电后发送 CLEAR_FAULTS 命令，以清除初始化过程中状态寄存器中可能设置位的警告和故障标志位。这也可确保使 $\overline{\text{SMBA}}$ 无效。

7.5.2.3 WRITE_PROTECT (10h, 读取/写入字节)

WRITE_PROTECT 命令是一个用于控制对 PMBus 器件写入的标准 PMBus 命令。该命令的目的是防止意外更改。该命令并不用于防止对器件配置或运行进行故意或恶意更改。无论 WRITE_PROTECT 设置如何，所有支持

的命令都允许读取其参数。通过 **WRITE_PROTECT** 禁用了写入的命令应视为只读。如果尝试写入受写保护的命令，器件应将其视为无效数据，并声明通信故障。

该命令具有一个数据字节，如下表所述。

表 7-4. **WRITE_PROTECT** 寄存器说明

数据字节值	含义	默认值
1000 0000	禁用除 WRITE_PROTECT 命令之外的所有写入	0000 0000
0100 0000	禁用除 WRITE_PROTECT、OPERATION 命令之外的所有写入操作	
0010 0000		
0000 0011	禁用所有写入，并需要 VDD/VIN 下电上电才能解锁	
0000 0010	永久禁用所有写入 在使用 STORE_USER_ALL 命令后接 RESTORE_USER_ALL 命令以及 DEVICE_SETUP1 位 1 设置将此字节存储在内部 EEPROM 中之前，器件保持解锁状态。	
0000 0001	保留	
0000 0000	启用对所有命令的写入。	

7.5.2.4 **RESTORE_FACTORY_DEFAULTS** (12h，发送字节)

RESTORE_FACTORY_DEFAULTS 是一条标准的 **PMBus** 命令，用于将所有配置存储器寄存器初始化或重置为其硬件默认值。此命令使用 **PMBus** 发送字节协议。此命令只能写入，没有数据字节。

7.5.2.5 **STORE_USER_ALL** (15h，发送字节)

STORE_USER_ALL 是一条标准 **PMBus** 命令，用于将操作存储器的内容写入各自的内部 **EEPROM** 配置存储器。

此命令使用 **PMBus** 发送字节协议。此命令只能写入，没有数据字节。

7.5.2.6 **RESTORE_USER_ALL** (16h，发送字节)

RESTORE_USER_ALL 是一个标准 **PMBus** 命令，可将内部 **EEPROM** 存储器的配置寄存器复制到工作存储器中的匹配位置。

此命令使用 **PMBus** 发送字节协议。此命令只能写入，没有数据字节。

7.5.2.7 **CAPABILITY** (19h，读取字节)

CAPABILITY 命令是一条标准 **PMBus** 命令，返回有关 **LM5066Hx** 支持的 **PMBus** 功能的信息。此命令使用 **PMBus** 读取字节协议读取。

表 7-5. **CAPABILITY** 寄存器说明

位	名称	值	说明	默认值
7	PEC 支持		数据包错误改正 (PEC) 支持	1
		1	支持 PEC	
		0	不支持 PEC	

表 7-5. CAPABILITY 寄存器说明 (续)

位	名称	值	说明	默认值
6:5	总线速度	00	最大总线接口速度 100kHz	10
		01	400kHz	
		10	1MHz	
		11	保留供将来使用	
4	SMBA/ARA	1	SMB 警报/警报响应地址支持 支持 $\overline{\text{SMBA}}$ /ARA	1
		0	不支持 $\overline{\text{SMBA}}$ /ARA	
3:0	保留	0000	保留	0000

7.5.2.8 VOUT_UV_WARN_LIMIT (43h, 读取/写入字)

VOUT_UV_WARN_LIMIT 命令是一条标准 PMBus 命令, 可用于配置或读取 VOUT 欠压警告检测的阈值。对该寄存器的读写应使用表 7-72 中所示的系数。访问此命令应使用 PMBus 读取或写入字协议。如果测得的 VOUT 值低于该寄存器中设定的值, 则会设置 VOUT_UV_WARN 标志, 并将 $\overline{\text{SMBA}}$ 信号置为有效。在输出电压恢复到高于 VOUT_UV_WARN 阈值的电平并发出 CLEAR_FAULTS 命令后, 将清除警告标志和相关的 ALERT 信号。

表 7-6. VOUT_UV_WARN_LIMIT 寄存器

位	名称	说明	最小值	最大值	默认值
0	VOUT_UV_WARN_LIMIT	输出欠压警告阈值	0x0000h (0V)	0x0FFFh (89.1V)	0x0000h (0V)

当检测到输出欠压警告时, 器件会:

- 设置 STATUS_BYTE 寄存器中的 NONE_OF_THE_ABOVE/UNKNOWN 位
- 在 STATUS_WORD 寄存器高字节中设置 OUT_STATUS 位
- 在 STATUS_OUT 寄存器中设置 VOUT_UV_WARN 位
- 通过将 $\overline{\text{SMBA}}$ (如果未被屏蔽) 置为有效来通知主机, 设置 ALERT_MASK 寄存器的中 STATUS_OUT 位

7.5.2.9 OT_FAULT_LIMIT (4Fh, 读取/写入字)

OT_FAULT_LIMIT 命令是一条标准 PMBus 命令, 允许配置或读取过热故障检测的阈值。对该寄存器的读写应使用表 7-72 中所示的系数。访问此命令应使用 PMBus 读取或写入字协议。若测得温度超过此设定值, 将触发过温故障并执行以下操作: MOSFET 关断、OT_FAULT 标志位置位、 $\overline{\text{SMBA}}$ 信号置为有效。在测得的温度降至此寄存器中的值以下后, 在故障条件被清除后, 可以通过 OPERATION 关闭命令, 然后通过 OPERATION 开启命令或 POWER_CYCLE 命令或通过自动重试序列重新开启 MOSFET。

表 7-7. OT_FAULT_LIMIT 寄存器说明

位	名称	说明	最小值	最大值	默认值
15:0	OT_FAULT_LIMIT	器件过热故障阈值	0x0000h (-256 °C)	0x01FFh (255 °C)	0x0FFFh (255°C)

7.5.2.10 OT_WARN_LIMIT (51h, 读取/写入字)

OT_WARN_LIMIT 命令是一条标准 PMBus 命令, 允许配置或读取过热警告检测的阈值。对该寄存器的读写应使用表 7-72 中所示的系数。访问此命令应使用 PMBus 读取或写入字协议。如果测得的温度超过此值, 则会触发过热警告, 并在相应的寄存器中设置 OT_WARN 标志, 并且 $\overline{\text{SMBA}}$ 信号会被置为有效。

表 7-8. OT_WARN 寄存器说明

位	名称	说明	最小值	最大值	默认值
15:0	OT_WARN_LIMIT	器件过热警告阈值	0x0000h (-256°C)	0x01FFh (255°C)	0x0FFFh (255°C)

7.5.2.11 VIN_OV_WARN_LIMIT (57h , 读取/写入字)

VIN_OV_WARN_LIMIT 命令是一条标准 PMBus 命令，允许配置或读取 VIN 过压警告检测的阈值。对该寄存器的读写应使用表 7-72 中所示的系数。访问此命令应使用 PMBus 读取或写入字协议。如果测得的 VIN 值升高至高于该寄存器中的值，则会在相应的寄存器中设置 VIN_OV_WARN 警告标志，并将 SMBA 信号置为有效。

表 7-9. VIN_OV_WARN_LIMIT 寄存器说明

位	名称	说明	最小值	最大值	默认值
15:0	VIN_OV_WARN_LIMIT	输入过压警告阈值	0x0000 (0V)	0x0FFF (89.1V)	0x0FFF (89.1V)

7.5.2.12 IIN_OC_WARN_LIMIT (5Dh , 读取/写入字)

MFR_IIN_OC_WARN_LIMIT PMBus 命令设置输入过流警告阈值。如果输入电流上升至高于该寄存器中设置的值，则在相应的寄存器中设置 IIN 过流标志，并且 SMBA 会被置为有效。若要访问 MFR_IIN_OC_WARN_LIMIT 寄存器，请使用 PMBus 读取/写入字协议。对该寄存器的读写应使用表 7-72 中所示的系数。该值在 (D3h、F8h) 处也有镜像。

表 7-10. IIN_OC_WARN_LIMIT 寄存器说明

位	名称	说明	最小值	最大值	默认值
15:0	IIN_OC_WARN_LIMIT	输入过流警告阈值	0x0000h (0A)	0x0FFFh (1.08xV _{CL} / R _{SNS} A)	0x0FFFh (1.08xV _{CL} / R _{SNS} A)

7.5.2.13 STATUS_BYTE (78h , 读取字节)

STATUS_BYTE 是一条标准 PMBus 命令，可返回指示 LM5066Hx 状态的多个标志的值。访问此命令应使用 PMBus 读取字节协议。要清除该寄存器中的位，应在系统上消除底层故障并发出 CLEAR_FAULTS 命令。

表 7-11. STATUS_BYTE 寄存器说明

位	名称	值	说明	默认值
7	保留	0	保留	0
6	关闭	1	FET 驱动状态 已禁用 FET 栅极驱动器	0
		0	已启用 FET 栅极驱动	
5:4	保留	00	保留	00
3	VIN_UV_FLT	1	VIN 欠压 检测到 VIN UV 故障	0
		0	未检测到 VIN UV 故障	
2	STATUS_TEMP	1	过热故障 STATUS_TEMPERATURE 寄存器中已设置有效位	0
		0	STATUS_TEMPERATURE 寄存器中未设置有效位	

表 7-11. STATUS_BYTE 寄存器说明 (续)

位	名称	值	说明	默认值
1	CML_ERR	1	通信、内存或逻辑状态 STATUS_CML 寄存器中已设置有效位	0
		0	STATUS_CML 寄存器中未设置有效位	
0	NONE_OF_THE_ABOVE	1	发生了位 7:1 中所列事件以外的事件	1
		0	未发生位 7:1 中列出的事件以外的事件	

7.5.2.14 STATUS_WORD (79h, 读取字)

STATUS_WORD 命令是一条标准 PMBus 命令，可返回指示 LM5066Hx 状态的多个标志的值。访问此命令应使用 PMBus 读取字协议。要清除该寄存器中的位，应消除底层故障并发出 CLEAR_FAULTS 命令。启动时，输入和 VIN UV 标志默认为 1；但是，在输入电压首次超过电阻器编程的 UVLO 阈值后，这些标志会清除为 0。

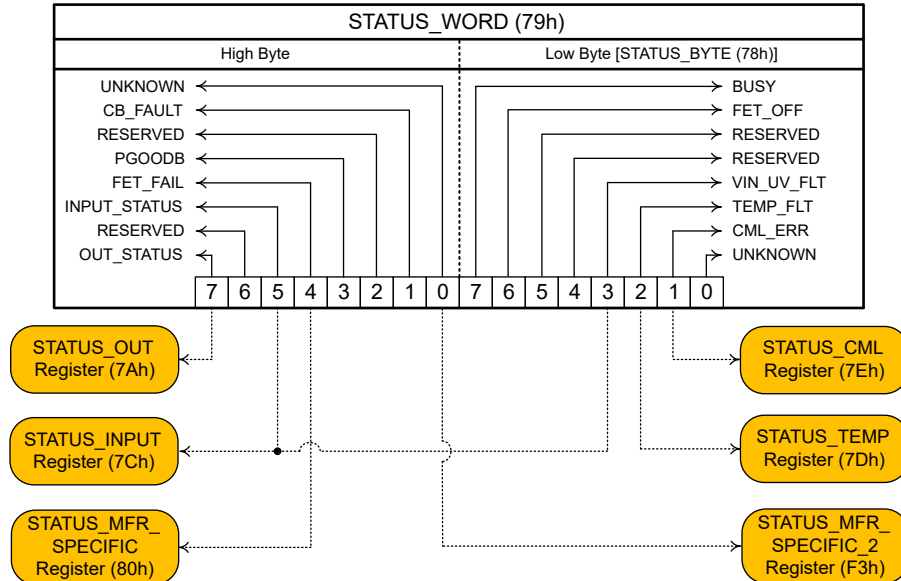


图 7-7. 状态寄存器位映射

表 7-12. STATUS_WORD 寄存器说明

位	名称	值	说明	默认值
15	OUT_STATUS	1	OUTPUT 故障状态 STATUS_OUT 寄存器中设置的有效位	0
		0	STATUS_OUT 寄存器中没有设置有效位	
14	保留	0	保留	0

表 7-12. STATUS_WORD 寄存器说明 (续)

位	名称	值	说明	默认值
13	INPUT_STATUS	1	INPUT 故障状态 STATUS_INPUT 寄存器中 设置的有效位	0
		0	STATUS_INPUT 寄存器中 没有设置有效位	
12	FET_FAIL	1	FET 失败状态 检测到 FET 故障	0
		0	未检测到 FET 故障	
11	PGOODB	1	电源正常状态 PGOOD 置为无效	1
		0	PGOOD 置为有效	
10	保留	0	保留	0
9	CB_FAULT		置为断路器 故障	0
		1	触发断路器故障	
		0	未触发断路器故障	
8	未知	1	发生了位 15:1 中所列事件 以外的事件	0
		0	未发生位 15:1 中列出的事 件以外的事件	
7:0	与 STATUS_BYTE 寄存器相同			

7.5.2.15 STATUS_VOUT (7Ah, 读取字节)

STATUS_VOUT 命令是一条标准 PMBus 命令，用于返回 VOUT UV 警告标志的值。访问此命令应使用 PMBus 读取字节协议。要清除该寄存器中的位，应清除底层故障并发出 CLEAR_FAULTS 命令。

表 7-13. STATUS_VOUT 寄存器说明

位	名称	值	说明	默认值
7:6	保留	00	保留	00
5	VOUT_UV_WARN	1	VOUT 欠压警告 发生了 VOUT UV 警告	0
		0	发生了 VOUT UV 警告	
4:0	保留	00	保留	00

7.5.2.16 STATUS_INPUT (7Ch, 读取字节)

STATUS_INPUT 命令是一条标准 PMBus 命令，用于返回与输入电压、电流和功率相关的多个标志的值。访问此命令应使用 PMBus 读取字节协议。要清除该寄存器中的位，应清除底层故障并发出 CLEAR_FAULTS 命令。

表 7-14. STATUS_INPUT 寄存器说明

位	名称	值	说明	默认值
7	VIN_OV_FLT	1	VIN 过压故障 发生了 VIN OV 故障	0
		0	未发生 VIN OV 故障	
6	VIN_OV_WARN	1	VIN 过压警告 发生了 VIN OV 警告	0
		0	未发生 VIN OV 警告	
5	VIN_UV_WARN	1	VIN 欠压警告 发生了 VIN UV 警告	0
		0	未发生 VIN UV 警告	
4	VIN_UV_FLT	1	VIN 欠压故障 发生了 VIN UV 故障	0
		0	未发生 VIN UV 故障	
3	保留	0	保留	0
2	OC_FLT	1	由于稳态下的过流，调节计时器到期 发生了输入过流故障	0
		0	未发生输入过流故障	

表 7-14. STATUS_INPUT 寄存器说明 (续)

位	名称	值	说明	默认值
1	OC_WARN	1	过流警告 输入电流超过过流警告阈值	0
		0	输入电流低于过流警告阈值	
0	IN_OP_WARN	1	过功率警告 输入电源超出过功率警告阈值	0
		0	输入电源未超出过功率警告阈值	

7.5.2.17 STATUS_TEMPERATURE (7Dh, 读取字节)

STATUS_TEMPERATURE 是一个标准 PMBus 命令, 用于返回与温度遥测值相关的多个标志的值。访问此命令应使用 PMBus 读取字节协议。要清除该寄存器中的位, 应清除底层故障并发出 CLEAR_FAULTS 命令。

表 7-15. STATUS_TEMP 寄存器说明

位	名称	值	说明	默认值
7	OT_FLT	1	过热故障 器件温度超过过热故障阈值	0
		0	器件温度低于过热故障阈值	
6	OT_WARN	1	过热警告 器件温度超过过热警告阈值	0
		0	器件温度低于过热警告阈值	
5:0	保留	000000	保留	000000

7.5.2.18 STATUS_CML (7Eh, 读取字节)

STATUS_CML 是一个标准 PMBus 命令, 用于返回与通信故障相关的许多标志的值。访问此命令应使用 PMBus 读取字节协议。若要清除该寄存器中的位, 应发出 CLEAR_FAULTS 命令。

表 7-16. STATUS_CML 寄存器说明

位	名称	值	说明	默认值
7	INV_CMD	1	命令状态 收到无效/不受支持的命令	0
		0	收到有效/受支持的命令	
6	INV_DATA	1	数据状态 接收到无效/不受支持的数据	0
		0	接收到有效/受到支持的数据	
5	INV_PEC	1	数据包错误检查状态 PEC 失败	0
		0	PEC 通过	

表 7-16. STATUS_CML 寄存器说明 (续)

位	名称	值	说明	默认值
4	MEMORY_FLT	1	内存故障状态 内存相关故障 - 配置内存内容无效 (空或损坏), 或者 STORE_USER_ALL 或 RESTORE_USER_ALL 命令失败	0
		0	无内容相关故障	
3:2	保留	000	保留	000
1	NONE_OF_ABOVE	1	发生表中所列故障以外的通信故障	0
		0	未发生表中所列故障以外的通信故障	
0	保留	0	保留	0

7.5.2.19 STATUS_OTHER (7Fh, 读取字节)

STATUS_OTHER 是一条标准 PMBus 命令, 可返回指示 LM5066Hx 状态的多个其他标志的值。访问此命令应使用 PMBus 读取字节协议。要清除该寄存器中的位, 应在系统上消除底层故障并发出 CLEAR_FAULTS 命令。

表 7-17. STATUS_VOUT 寄存器说明

位	名称	值	说明	默认值
7:6	保留	00	保留	00
5	CB_FAULT	1	置为断路器故障 触发断路器故障	0
		0	未触发断路器故障	
4:1	保留	0000	保留	0000
0	首先将 $\overline{\text{SMBA}}$ 置为有效		首先将 $\overline{\text{SMBA}}$ 置为有效	0
		1	此器件是第一个将 $\overline{\text{SMBA}}$ 置为有效的器件	
		0	此器件不是第一个将 $\overline{\text{SMBA}}$ 置为有效的器件	

7.5.2.20 STATUS_MFR_SPECIFIC (80h)

STATUS_MFR_SPECIFIC 命令是一条标准 PMBus 命令, 其中包含特定于制造商的状态信息。访问此命令应使用 PMBus 读取字节协议。若要清除该寄存器中的位, 应消除底层故障并发出 CLEAR_FAULTS 命令。

表 7-18. STATUS_MFR_SPECIFIC 寄存器说明

位	名称	值	说明	默认值
7	CB_FAULT	1	置为断路器故障 触发断路器故障	0
		0	未触发断路器故障	
6	FET_FAIL	1	FET 失败状态 检测到 FET 故障	0
		0	未检测到 FET 故障	
5	保留	0	保留	0

表 7-18. STATUS_MFR_SPECIFIC 寄存器说明 (续)

位	名称	值	说明	默认值
4	DEFAULTS_LOADED	1	默认加载状态 默认从内部 EEPROM 加载	1
		0	未检测到故障或警告	
3	BB_RAM_FULL	1	BB RAM 填充状态 已记录了七 (7) 起事件	0
		0	七 (7) 个事件尚未记录	
2	FET_FAULT_GATE2	1	FET 故障类型 在 GATE2 上检测到 FET 故障	0
		0	在 GATE2 上未检测到 FET 故障	
1	FET_FAULT_GATE1	1	FET 故障类型 在 GATE1 上检测到 FET 故障	0
		0	在 GATE1 上未检测到 FET 故障	
0	FET_FAULT_DRAIN	1	FET 故障类型 检测到 FET DRAIN 故障	0
		0	未检测到 FET 漏极故障	

在启动期间或执行 RESTORE_USER_ALL 命令后将默认配置设置和阈值成功加载到工作寄存器中时，设置 STATUS_MFR_SPECIFIC 寄存器中的 DEFAULTS_LOADED 位，并且该位保持设置状态，直到接收到 CLEAR_FAULTS 命令。

7.5.2.21 READ_EIN (86h, 块读取)

READ_EIN 是一条标准的 PMBus® 命令，可向主机返回信息，用于计算由电子保险丝供电的系统的累积电能和平均功耗。此命令提供的信息与任何特定于器件的均值计算周期、采样频率或计算算法无关。

此命令使用 PMBus® 块读取协议，块大小为六 (6)。

此命令会返回六 (6) 个字节的数据。前两 (2) 个字节是累加器的二进制补码和有符号输出，连续对瞬时输入功率（输入电压和输入电流样本的乘积）的样本求和。这两个数据字节采用 DIRECT 格式，如表 7-72 所述。累加器值会调整比例，以使单位以“瓦样本”形式显示。该“瓦样本”值必须乘以有效 ADC 采样周期，才能获得电能累积的实际值（以焦耳为单位）。

第三个数据字节，ROLLOVER_COUNT，是累加器的翻转计数。此字节是无符号整数，指示累加器从其最大正值 7FFFh 翻转到 0 的次数。ROLLOVER_COUNT 将定期从其最大正值翻转为零。由主机负责跟踪 ROLLOVER_COUNT 的状态，并考虑翻转。

其他三 (3) 个数据字节是 24 位无符号整数，表示到目前为止累积的瞬时输入功率样本的数量。该值将会定期从其最大正值回滚到 0。

累加器和翻转计数的组合可能会在几秒钟内溢出。由主机软件检测此溢出并进行适当处理。类似地，采样计数值也会溢出。

表 7-19. READ_EIN 寄存器说明

字节	说明	默认值
0	功率累加器低字节	0x00
1	功率累加器高字节	0x00
2	功率累加器翻转计数	0x00
3	采样计数低字节	0x00

表 7-19. READ_EIN 寄存器说明 (续)

字节	说明	默认值
4	采样计数中字节	0x00
5	采样计数高字节	0x00

主机使用累加器值和翻转计数来使用 [方程式 1](#) 计算“瓦样本”中的当前“能量计数”。

$$Energy_Count = (Rollover_Count \times Accumulator_Roll_Over_Value) + Accumulator_Value \quad (1)$$

其中 Accumulator_Roll_Over_Value 是累加器的最大可能正值加一 (1)。为了正确计算平均功率，必须在最大累加器值上加一 (1)。使用 [方程式 2](#) 计算 Accumulator_Roll_Over_Value。

$$Accumulator_Roll_Over_Value = \frac{1}{m} \left[\{(Y_{MAX} + 1) \times 10^{-R}\} - b \right] = \frac{1}{m} \left[\{(2^{15}) \times 10^{-R}\} - b \right] \quad (2)$$

表 7-72 包括 [方程式 2](#) 中使用的“m、b、R”系数。使用表 7-72 和 [方程式 6](#) 中的系数可获得 Accumulator_Value。使用 [方程式 3](#) 计算电能累积的实际值 (焦耳)。

$$Accumulated_Energy = Energy_Count \times Effective_ADC_Sampling_Period \quad (3)$$

主机使用 [方程式 4](#) 计算自上次读取以来的平均功耗 (以瓦特为单位)。

$$Average_Power = \frac{Current_Energy_Count - Last_Energy_Count}{Current_Sample_Count - Last_Sample_Count} \quad (4)$$

7.5.2.22 READ_VIN (88h, 读取字)

READ_VIN 命令是标准 PMBus 命令，返回 12 位的输入电压测量值。读取该寄存器时应使用表 7-72 中所示的系数。访问此命令应使用 PMBus 读取字协议。该值也在内部用于 VIN 过压和欠压警告检测。

表 7-20. READ_VIN 寄存器说明

位	名称	说明	最小值	最大值
15:0	READ_VIN	输入电压的测量值	0x0000 (0V)	0x0FFF (89.1V)

7.5.2.23 READ_IIN (89h, 读取字)

READ_IIN 命令是一条标准 PMBus 命令，可返回输入电流的 12 位测量值。读取该寄存器时应使用表 7-72 中所示的系数。访问此命令应使用 PMBus 读取字协议。该值在 (D1h) 处也有镜像。

表 7-21. READ_IIN 寄存器说明

位	名称	说明	ADC_CONFIG_2 [6] = 0		ADC_CONFIG_2 [6] = 1	
			最小值	最大值	最小值	最大值
15:0	READ_IIN	为输入电流测量的值	0x0000 (0A)	0x0FFF (1.08xV _{CL} /R _{SNS} A)	0x0000 (0A)	0x0FFF (2.16xV _{CL} /R _{SNS} A)

7.5.2.24 READ_VOUT (8Bh, 读取字)

READ_VOUT 命令是标准 PMBus 命令，会返回输出电压的 12 位测量值。读取该寄存器时应使用表 7-72 中所示的系数。访问此命令应使用 PMBus 读取字协议。此值也在内部用于 VOUT 欠压警告检测。

表 7-22. READ_VOUT 寄存器说明

位	名称	说明	最小值	最大值
15:0	READ_VOUT	输出电压的测量值	0x0000 (0V)	0x0FFF (89.1V)

7.5.2.25 READ_IOUT (8Ch , 读取字)

READ_IOUT 命令是一条标准 PMBus 命令，可返回输入电流的 12 位测量值。读取该寄存器时应使用表 7-72 中所示的系数。访问此命令应使用 PMBus 读取字协议。该值与 READ_IIN (89h) 相同。

表 7-23. READ_IOUT 寄存器说明

位	名称	说明	ADC_CONFIG_2 [6] = 0		ADC_CONFIG_2 [6] = 1	
			最小值	最大值	最小值	最大值
15:0	READ_IOUT	为输入电流测量的值	0x0000 (0A)	0x0FFF (1.08xV _{CL} /R _{SNS} A)	0x0000 (0A)	0x0FFF (2.16xV _{CL} /R _{SNS} A)

7.5.2.26 READ_TEMPERATURE_1 (8Dh , 读取字)

READ_TEMPERATURE_1 命令是标准 PMBus 命令，用于返回外部温度检测二极管测量的温度有符号值。读取该寄存器时应使用表 7-72 中所示的系数。访问此命令应使用 PMBus 读取字协议。该值也在内部用于过热故障和警告检测。应用系数后，该数据的范围为 -256°C 到 255°C。

表 7-24. READ_TEMPERATURE_1 寄存器说明

位	名称	说明	最小值	最大值
15:0	READ_TEMPERATURE_1	温度测量值	0x0000 (- 256°C)	0x01FF (255°C)

7.5.2.27 READ_POUT (96h , 读取字)

READ_POUT 命令是标准 PMBus 命令，可返回输入功率的 12 位测量值。读取该寄存器时应使用表 7-72 中所示的系数。访问此命令应使用 PMBus 读取字协议。

表 7-25. READ_POUT 寄存器说明

位	名称	说明	ADC_CONFIG_2 [6] = 0		ADC_CONFIG_2 [6] = 1	
			最小值	最大值	最小值	最大值
15:0	READ_POUT	输入功率的测量值	0x0000 (0W)	0x0FFF (96.23xV _{CL} /R _{SNS} W)	0x0000 (0W)	0x0FFF (192.45xV _{CL} /R _{SNS} W)

7.5.2.28 READ_PIN (97h , 读取字)

READ_PIN 命令是标准 PMBus 命令，可返回输入功率的 12 位测量值。读取该寄存器时应使用表 7-72 中所示的系数。访问此命令应使用 PMBus 读取字协议。该值在 (D2h) 处也有镜像。

表 7-26. READ_PIN 寄存器说明

位	名称	说明	ADC_CONFIG_2 [6] = 0		ADC_CONFIG_2 [6] = 1	
			最小值	最大值	最小值	最大值
15:0	READ_PIN	输入功率的测量值	0x0000 (0W)	0x0FFF (96.23xV _{CL} /R _{SNS} W)	0x0000 (0W)	0x0FFF (192.45xV _{CL} /R _{SNS} W)

7.5.2.29 PMBUS_REVISION (98h , 读取字节)

PMBUS_REVISION 是一条标准的 PMBus 命令，用于返回器件所遵循的 PMBus 标准版本。

该命令包含一个数据字节。Bits[7:4] 指示器件所符合的 PMBus 规范第一部分的版本。Bits[3:0] 指示器件所符合的 PMBus 规范第二部分的版本。要访问此命令，请使用 PMBus 读取字节协议。

该命令从 LM5066Hx 热插拔返回 0x33h。这意味着器件符合第一部分版本 1.3 和第二部分版本 1.3。

7.5.2.30 MFR_ID (99h , 块读取)

MFR_ID 命令是一条标准 PMBus 命令，返回制造商的标识。要读取 MFR_ID，请使用 PMBus 块读取协议。

表 7-27. MFR_ID 寄存器

字节	名称	值
1	MFR ID-1	54h ‘T’
2	MFR ID-2	49h ‘I’
3	MFR ID-3	00h

7.5.2.31 MFR_MODEL (9Ah , 块读取)

MFR_MODEL 命令是一条标准 PMBus 命令，它会返回芯片的器件型号。要读取 MFR_MODEL，请使用 PMBus 块读取协议。

表 7-28. MFR_MODEL 寄存器

字节	名称	值
1	MFR ID-1	4Ch ‘L’
2	MFR ID-2	4Dh ‘M’
3	MFR ID-3	35h ‘5’
4	MFR ID-4	30h ‘0’
5	MFR ID-5	36h ‘6’
6	MFR ID-6	36h ‘6’
7	MFR ID-7	48h ‘H’
8	MFR ID-8	00h

7.5.2.32 MFR_REVISION (9Bh , 块读取)

MFR_REVISION 命令是一条标准 PMBus 命令，用于返回器件的修订版级别。要读取 MFR_REVISION，请使用 PMBus 块读取协议。

表 7-29. MFR_REVISION 寄存器

字节	名称	值
1	MFR ID-1	41h ‘A’
2	MFR ID-2	41h ‘A’

7.5.2.33 USER_DATA (BCh , 读取/写入字节)

该寄存器用于用户应用目的。写入此寄存器的任何值都可以读回。该值对芯片的内部运行或者配置没有影响。

表 7-30. USER_DATA 寄存器

位	名称	默认值
7:0	USER_DATA	0x00h

7.5.2.34 READ_VIN_MIN (A0h, 读取字)

READ_VIN_MIN 是一条标准 PMBus 命令，返回自上电复位或上一次将 RESET_MIN (PK_MIN_AVG 寄存器的 Bit[5]) 设置为高电平以来测量的 12 位最小输入电压值。读取该寄存器时应使用表 7-72 中所示的系数。访问此命令应使用 PMBus 读取字协议。

表 7-31. READ_VIN_MIN 寄存器说明

位	名称	说明	最小值	最大值	默认值
15:0	READ_VIN_MIN	自复位或上次清除以来的最小输入电压测量值	0x0000 (0V)	0x0FFF (89.1V)	0x0FFF (89.1V)

7.5.2.35 READ_VIN_PEAK (A1h, 读取字)

READ_VIN_PEAK 命令是一个标准的 PMBus 命令，它返回自上电复位或上次 RESET_PEAK (PK_MIN_AVG 寄存器中的 Bit[7]) 设置为高电平以来测量的 12 位峰值输入电压。读取该寄存器时应使用表 7-72 中所示的系数。访问此命令应使用 PMBus 读取字协议。

表 7-32. READ_VIN_PEAK 寄存器说明

位	名称	说明	最小值	最大值	默认值
15:0	READ_VIN_PEAK	自复位或上次清除以来的峰值输入电压的测量值	0x0000 (0V)	0x0FFF (89.1V)	0x0000 (0V)

7.5.2.36 READ_IIN_PEAK (A2h, 读取字)

READ_IIN_PEAK 命令是一个标准的 PMBus 命令，它返回自上电复位或上次 RESET_PEAK (PK_MIN_AVG 寄存器中的 Bit[7]) 设置为高电平以来测量的 12 位峰值输入电流。读取该寄存器时应使用表 7-72 中所示的系数。访问此命令应使用 PMBus 读取字协议。

表 7-33. READ_IIN_PEAK 寄存器说明

位	名称	说明	ADC_CONFIG_2 [6] = 0		ADC_CONFIG_2 [6] = 1	
			最小值	最大值	最小值	最大值
15:0	READ_IIN_PEAK	自复位或上次清除以来最大输入电流的测量值	0x0000 (0A)	0x0FFF ($1.08 \times V_{CL} / R_{SNS}$ A)	0x0000 (0A)	0x0FFF ($2.16 \times V_{CL} / R_{SNS}$ A)

7.5.2.37 READ_PIN_PEAK (A3h)

READ_PIN_PEAK 命令报告自上电复位或最后一条 CLEAR_PIN_PEAK 命令或最后一个 RESET_PEAK (PK_MIN_AVG (E9h) 寄存器中的 Bit[7]) 设为高电平以来测得的最大输入功率。要访问 READ_PIN_PEAK 命令，请使用 PMBus 读取字协议。使用如表 7-72 中所示的系数。

表 7-34. READ_PIN_PEAK 寄存器说明

位	名称	说明	最小值	最大值
15:0	READ_PIN_PEAK	自复位或上次清除以来最大输入功率的测量值	0x0000 (0W)	0x0FFF ($96.23 \times V_{CL} / R_{SNS}$ W)

7.5.2.38 READ_VOUT_MIN (A4h, 读取字)

READ_VOUT_MIN 是一条标准 PMBus 命令，返回自上电复位或上一次将 RESET_MIN (PK_MIN_AVG 寄存器的 Bit[5]) 设置为高电平以来测量的 12 位最小输入电压值。读取该寄存器时应使用表 7-72 中所示的系数。访问此命令应使用 PMBus 读取字协议。此值也在内部用于 VOUT 欠压警告检测。

表 7-35. READ_VOUT_MIN 寄存器说明

位	名称	说明	最小值	最大值	默认值
15:0	READ_VOUT_MIN	自复位或上次清除以来最小输出电压的测量值	0x0000 (0V)	0x0FFF (89.1V)	0x0FFF (89.1V)

7.5.2.39 READ_TEMP_AVG (C7h , 读取字)

READ_TEMP_AVG 命令自外部温度检测二极管报告有符号温度值的 12 位 ADC 测量平均值。平均计数可以通过 SAMPLES_FOR_AVG 寄存器进行编程。通过将 PK_MIN_AVG 寄存器中的位[6] 设置为高电平, 可以将 READ_TEMP_AVG 寄存器的内容复位为零 (0x0000h)。读取该寄存器时应使用表 7-72 中所示的系数。此命令使用 PMBus 读取字协议。

表 7-36. READ_TEMP_AVG 寄存器说明

位	名称	说明	最小值	最大值
15:0	READ_TEMP_AVG	自复位或上次清除以来平均温度的测量值	0x0000 (- 256°C)	0x01FF (255°C)

7.5.2.40 READ_TEMP_PEAK (C8h , 读取字)

READ_TEMP_PEAK 命令是一条标准 PMBus 命令, 可返回自上电复位或上次 RESET_PEAK (PK_MIN_AVG 寄存器中的 Bit[7]) 设置为高电平之后由外部温度检测二极管测量的温度的有符号值。读取该寄存器时应使用表 7-72 中所示的系数。访问此命令应使用 PMBus 读取字协议。该值也在内部用于过热故障和警告检测。应用系数后, 该数据的范围为 - 256°C 到 255°C。

表 7-37. READ_TEMP_PEAK 寄存器说明

位	名称	说明	最小值	最大值
15:0	READ_TEMP_PEAK	自复位或上次清除以来的峰值温度测量值	0x0000 (- 256°C)	0x01FF (255°C)

7.5.2.41 READ_SAMPLE_BUF (C9h , 块读取)

READ_SAMPLE_BUF 是一条制造商特定命令, 用于从器件 RAM 中可用的轮询 ADC 缓冲区读取某一特定参数的最新六十四 (64) 个采样值。这使得能够以更高的速度采集多个 ADC 样本, 并一次性读出, 而无需通过 PMBus 串行接口逐个顺序读取采样值, 从而避免带宽瓶颈。这允许系统设计人员在给定的间隔内重建该参数的时间域曲线/波形。这在设计或系统调试期间非常有用, 因为它的功能与内置的“数字示波器”类似。缓冲器中 ADC 样本的更新速率取决于有效 ADC 采样周期和抽取率/样本跳过计数。用于缓冲采样的 ADC 通道和抽取率/采样跳过计数可以使用 ADC_CONFIG_2 寄存器进行配置。通过选择不同的抽取率, 用户可以在“高时间分辨率和短孔径”和“低时间分辨率和宽孔径”之间进行选择。

此命令使用 PMBus 块读取协议, 块大小为六十四 (64)。

按照 PMBus DIRECT 格式转换, 使用表 7-72 中的系数以字节为单位转换为相应单位的实际值。

ADC 采样缓冲器在器件上电后立即开始缓冲。在以下两种不同条件下, 缓冲会暂停:

1. 发出即时 READ_SAMPLE_BUF 命令。这可确保在主机读取前一组值时, 采样缓冲区不会被新的数据覆盖。读取完六十四 (64) 字节后, 缓冲区将重新开始缓冲新的采样值。
2. 如果发生故障, 采样缓冲区数据将在内部锁存。这样可以确保即使主机在读取采样缓冲区时存在延迟, 故障发生之前的采样快照也能够保留下来。在发出 CLEAR_FAULTS 命令之后, 或写入 OPERATION OFF 命令并随后写入 OPERATION ON 命令, 或切换 EN/UVLO 引脚后, 它将重新开始缓冲新的采样值。

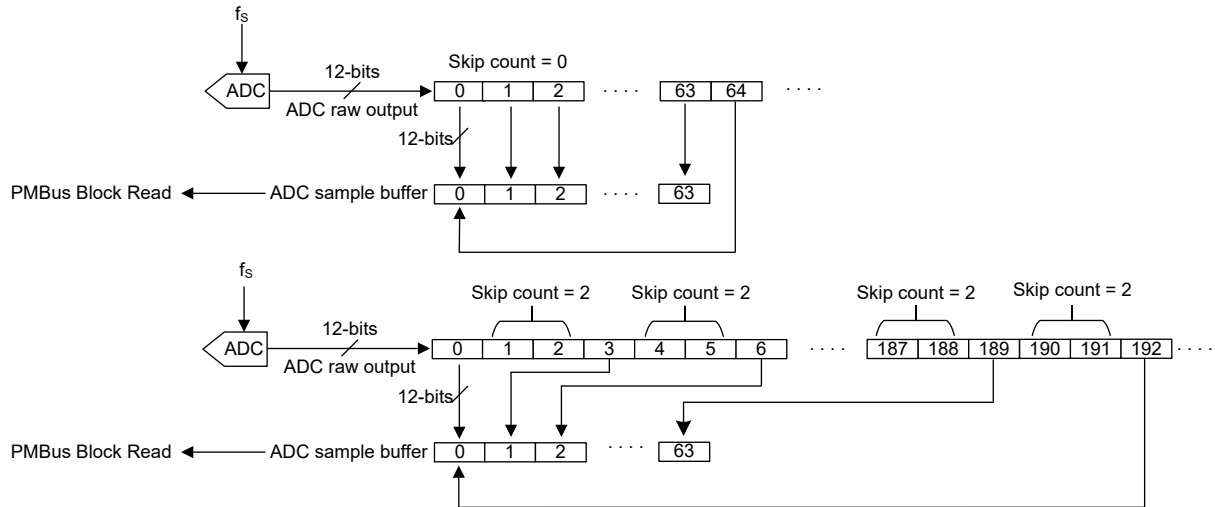


图 7-8. ADC 采样缓冲示例

7.5.2.42 POWER_CYCLE (CAh , 发送字节)

POWER_CYCLE 是一条特定于制造商的命令，用于在延迟后关闭输出并上电。可使用 DELAY_CONFIG 寄存器的位 (7:4) 来配置该延迟。执行此命令将启动电源路径复位。

此命令使用 PMBus® 发送字节协议。没有此命令的数据字节。此命令为只写命令。

备注

如果器件因故障而关断，则单独发出 POWER_CYCLE 命令不会改变器件的状态。此命令之前应具有 CLEAR_FAULTS 命令。

7.5.2.43 READ_VAUX (D0h , 读取字)

READ_VAUX 命令会报告 12 位 ADC 测得的辅助电压。当对地电压大于或等于 2.97V 时，报告值为正满量程 (0FFFh)。以接地为基准的小于或等于 0V 的电压报告为 0 (0000h)。要从 READ_VAUX 命令读取数据，请使用 PMBus 读取字协议。

表 7-38. READ_VAUX 寄存器说明

位	名称	说明	最小值	最大值
15:0	READ_VAUX	连接在 VAUX 引脚上的辅助电压源的测量值	0x0000 (0V)	0x0FFF (2.97V)

7.5.2.44 MFR_READ_IIN (D1h , 读取字)

MFR_READ_IIN 命令是 PMBus 命令，可返回输入电流的 12 位测量值。读取该寄存器时应使用表 7-72 中所显示的系数。访问此命令应使用 PMBus 读取字协议。该值在 (89h) 处也有镜像。

表 7-39. READ_IIN 寄存器说明

位	名称	说明	ADC_CONFIG_2 [6] = 0		ADC_CONFIG_2 [6] = 1	
			最小值	最大值	最小值	最大值
15:0	MFR_READ_IIN	为输入电流测量的值	0x0000 (0A)	0x0FFF (1.08xV _{CL} /R _{SNS} A)	0x0000 (0A)	0x0FFF (2.16xV _{CL} /R _{SNS} A)

7.5.2.45 MFR_READ_PIN (D2h)

MFR_READ_PIN 命令是 PMBus 命令，可返回输入功率的 12 位测量值。读取该寄存器时应使用表 7-72 中所示的系数。访问此命令应使用 PMBus 读取字协议。该值在 (97h) 处也有镜像。

表 7-40. READ_PIN 寄存器说明

位	名称	说明	ADC_CONFIG_2 [6] = 0		ADC_CONFIG_2 [6] = 1	
			最小值	最大值	最小值	最大值
15:0	MFR_READ_PIN	输入功率的测量值	0x0000 (0W)	0x0FFF (96.23xV _{CL} /R _{SNS} W)	0x0000 (0W)	0x0FFF (192.45xV _{CL} /R _{SNS} W)

7.5.2.46 MFR_IIN_OC_WARN_LIMIT (D3h, F8h, 读取/写入字)

MFR_IIN_OC_WARN_LIMIT PMBus 命令设置输入过流警告阈值。如果输入电流上升至高于该寄存器中设置的值，则在相应的寄存器中设置 IIN 过流标志，并且 SMBA 会被置为有效。若要访问 MFR_IIN_OC_WARN_LIMIT 寄存器，请使用 PMBus 读取/写入字协议。对该寄存器的读写应使用表 7-72 中所示的系数。该值在 (5Dh、F8h) 处也有镜像。

表 7-41. MFR_IIN_OC_WARN_LIMIT 寄存器说明

位	名称	说明	最小值	最大值	默认值
15:0	MFR_IIN_OC_WARN_LIMIT	输入过流警告阈值	0x0000h (0A)	0x0FFFh (1.08xV _{CL} /R _{SNS} A)	0x0FFFh (1.08xV _{CL} /R _{SNS} A)

7.5.2.47 MFR_PIN_OP_WARN_LIMIT (D4h, 读取/写入字)

MFR_PIN_OP_WARN_LIMIT PMBus 命令设置输入过功率警告阈值。如果输入功率升至高于该寄存器中设置的值，则会在相应的寄存器中设置引脚过功率标志，并且 SMBA 将置为有效。要访问 MFR_PIN_OP_WARN_LIMIT 寄存器，请使用 PMBus 读取/写入字协议。对该寄存器的读写应使用表 7-72 中所示的系数。

表 7-42. PIN_OP_WARN_LIMIT 寄存器说明

位	名称	说明	最小值	最大值	默认值
15:0	PIN_OP_WARN_LIMIT	输入过电警告阈值	0x0000h (0W)	0x0FFFh (96.23xV _{CL} /R _{SNS} W)	0x0FFFh (96.23xV _{CL} /R _{SNS} W)

7.5.2.48 CLEAR_PIN_PEAK (D6h, 发送字节)

CLEAR_PIN_PEAK 命令清除 READ_PIN_PEAK (A3h) 寄存器。此命令使用 PMBus 发送字节协议。

7.5.2.49 GATE_MASK (D7h, 读取/写入字节)

GATE_MASK 寄存器允许通过硬件设置，阻止故障条件触发 MOSFET 关断。当该位为高电平时，相应的故障无法控制 MOSFET 栅极。所有状态寄存器仍处于更新状态 (STATUS、DIAGNOSTIC) 和 SMBA 仍置为有效。通过 PMBus 读取/写入字节协议访问该寄存器。

小心

如果抑制 MOSFET 开关关闭以响应过流或断路器故障情况，则可能会导致 MOSFET 损坏。使用此功能时必须小心谨慎并受到监督。

表 7-43. GATE_MASK 寄存器说明

位	说明	默认值
7	SCP 故障	0
6	FET_FAIL	1

表 7-43. GATE_MASK 寄存器说明 (续)

位	说明	默认值
5	VIN UV FAULT	0
4	VIN OV 故障	0
3	IIN/PFET 故障	0
2	过热故障	0
1	看门狗故障	1
0	断路器故障	0

IIN/PFET 故障是指输入电流故障和 MOSFET 功率耗散故障。无输入电源故障检测，仅进行输入电源警告检测。

7.5.2.50 ALERT_MASK (D8h, 读取/写入字)

ALERT_MASK 命令用于在发生特定故障或警告时屏蔽 $\overline{\text{SMBA}}$ 。每个位对应于 16 种不同的模拟和数字故障或警告中的一种，这些故障或警告通常会导致 $\overline{\text{SMBA}}$ 置为有效。当相应位为高电平时，该情况不会导致 $\overline{\text{SMBA}}$ 置为有效。如果发生这种情况，捕获该条件的寄存器仍会更新 (STATUS 寄存器、DIAGNOSTIC_WORD)、外部 MOSFET 栅极控制仍有效 (VIN_OV_FAULT、VIN_UV_FAULT、IIN/PFET_FAULT、CB_FAULT、SCP_FAULT、OT_FAULT)。可通过 PMBus 读取/写入字协议访问该寄存器。

表 7-44. ALERT_MASK 寄存器说明

位	说明	默认值
15	VOOUT 欠压警告	1
14	IIN 限制警告	1
13	VIN 欠压警告	1
12	VIN 过压警告	1
11	电源正常	1
10	过热警告	1
9	看门狗故障	0
8	过功率限值警告	1
7	SCP 故障	0
6	FET_FAIL 故障	0
5	VIN 欠压故障	1
4	VIN 过压故障	0
3	IIN/PFET 故障	0
2	过热故障	0
1	CML 故障 (通信故障)	0
0	断路器故障	0

7.5.2.51 READ_VAUX_AVG (D9h, 读取字)

READ_VAUX_AVG 命令会报告 12 位 ADC 测得的平均辅助电压。如果数据未就绪，则返回值为之前的平均数据。但是，如果没有之前的平均数据，则会返回默认值 (0000h)。平均计数可以通过 SAMPLES_FOR_AVG 寄存器进行编程。通过将 PK_MIN_AVG 寄存器中的位[6] 设置为高电平，可以将 READ_VAUX_AVG 寄存器的内容复位为零 (0x0000h)。该数据通过 PMBus 读取字协议进行读取。该寄存器应使用表 7-72 中所示的系数。

表 7-45. READ_VAUX 寄存器说明

位	名称	说明	最小值	最大值
15:0	READ_VAUX_AVG	自复位或者上次清除以来连接在 VAUX 引脚上的平均辅助电压源的测量值	0x0000 (0V)	0x0FFF (2.97V)

7.5.2.52 BLOCK_READ (DAh , 块读取)

BLOCK_READ 命令将 DIAGNOSTIC_WORD 与输入和输出遥测信息 (IIN、VOUT、VIN、PIN) 以及 TEMPERATURE 连在一起, 以在单个 SMBus 事务中捕获 LM5066Hx 的所有运行信息。该块长度为 12 字节, 遥测信息的发送方式与发出单独的 READ_XXX 命令时相同 (如 表 7-46 所示)。只要 SMBus 接口空闲, 块读取寄存器的内容就会每个时钟周期更新一次。BLOCK_READ 还指定 VIN、VOUT、IIN 和 PIN 测量值均为时间对齐的。如果使用单独的命令, 由于通信协议需要延迟, 各个样本可能无法进行时间对齐。

块读取命令通过 PMBus 块读取协议读取。

表 7-46. BLOCK_READ 寄存器格式

寄存器	尺寸	默认值
DIAGNOSTIC_WORD	1 个字	0880h
READ_IIN	1 个字	0000h
READ_VOUT	1 个字	0000h
READ_VIN	1 个字	0000h
READ_PIN	1 个字	0000h
READ_TEMPERATURE_1	1 个字	0000h

7.5.2.53 SAMPLES_FOR_AVG (DBh, 读取/写入字节)

SAMPLES_FOR_AVG 命令为制造商特定命令，用于设置计算 IIN、VIN、VOUT 和 PIN 及温度平均值时使用的样本数量。AVGN 半字节的十进制数值对应 2 的幂次方采样点数（例如，AVGN = 12 对应计算平均值时使用 N = 4096 个样本）。LM5066Hx 支持的样本数量为 1、2、4、8、16、32、64、128、256、512、1024、2048 和 4096。SAMPLES_FOR_AVG 所设置的样本数量同时适用于 IIN、VIN、VOUT 和 PIN 的平均值计算。LM5066Hx 采用简单平均法，通过以下方式实现：累加连续结果至设定数量后，除以样本数完成计算。取平均值的计算顺序如下：

$$Y = (X_{(N)} + X_{(N-1)} + \dots + X_{(0)}) / N \quad (5)$$

当平均值计算达到序列末尾时（例如已完成 4096 个样本的平均），将开启一个全新序列，需要采集相同数量的样本（此示例中为 4096）后方可生成新平均值。

表 7-47. SAMPLES_FOR_AVG 寄存器说明

AVGN (b)	$N = 2^{AVGN}$	均值计算/寄存器更新周期 (ms)
0000b	1	0.02
0001b	2	0.04
0010b	4	0.08
0011b	8	0.16
0100b	16	0.32
0101b	32	0.64
0110b	64	1.28
0111b	128	2.56
1000b	256	5.12
1001b	512	10.24
1010b	1024	20.48
1011b	2048	40.96
1100b	4096	81.92

请注意，在当前的均值计算间隔完成之前，SAMPLES_FOR_AVG 寄存器的变化不会反映在平均遥测测量值中。AVGN 的默认设置为 1000b 或 08h。

SAMPLES_FOR_AVG 寄存器可通过 PMBus 读取/写入字节协议进行访问。

表 7-48. SAMPLES_FOR_AVG 寄存器

值	含义	默认值
00h 至 0Ch	要取平均值的样本数的指数 (AVGN)	08h

7.5.2.54 READ_VIN_AVG (DCh, 读取字)

READ_VIN_AVG 命令会报告 12 位 ADC 测得的输入平均电压。如果数据未就绪，则返回值为之前的平均数据。但是，如果没有之前的平均数据，则会返回默认值 (0000h)。平均计数可以通过 SAMPLES_FOR_AVG 寄存器进行编程。通过将 PK_MIN_AVG 寄存器中的位[6] 设置为高电平，可以将 READ_VIN_AVG 寄存器的内容复位为零 (0x0000h)。该数据通过 PMBus 读取字协议进行读取。该寄存器应使用 表 7-72 中所示的系数。

表 7-49. READ_VIN_AVG 寄存器说明

位	名称	说明	最小值	最大值
15:0	READ_VIN_AVG	自复位或上次清除以来平均输入电压的测量值	0x0000 (0V)	0x0FFF (89.1V)

7.5.2.55 READ_VOUT_AVG (DDh, 读取字)

READ_VOUT_AVG 命令会报告 12 位 ADC 测得的电流检测平均电压。当平均数据未就绪时，返回值为默认值 (0000h) 或上一次的数据。平均计数可以通过 SAMPLES_FOR_AVG 寄存器进行编程。通过将 PK_MIN_AVG 寄存器中的位[6] 设置为高电平，可以将 READ_VOUT_AVG 寄存器的内容复位为零 (0x0000h)。该数据通过 PMBus 读取字协议进行读取。该寄存器应使用 表 7-72 中所示的系数。

表 7-50. READ_VOUT_AVG 寄存器说明

位	名称	说明	最小值	最大值
15:0	READ_VOUT_AVG	自复位或上次清除以来平均输出电压的测量值	0x0000 (0V)	0x0FFF (89.1V)

7.5.2.56 READ_IIN_AVG (DEh, 读取字)

READ_IIN_AVG 命令会报告 12 位 ADC 测得的电流检测平均电压。当平均数据未就绪时，返回值为默认值 (0000h) 或上一次的数据。平均计数可以通过 SAMPLES_FOR_AVG 寄存器进行编程。通过将 PK_MIN_AVG 寄存器中的位[6] 设置为高电平，可以将 READ_IIN_AVG 寄存器的内容复位为零 (0x0000h)。该数据通过 PMBus 读取字协议进行读取。该寄存器应使用 表 7-72 中所示的系数。

表 7-51. READ_IIN_AVG 寄存器说明

位	名称	说明	ADC_CONFIG_2 [6] = 0		ADC_CONFIG_2 [6] = 1	
			最小值	最大值	最小值	最大值
15:0	READ_IIN_AVG	自复位或上次清除以来平均输入电流的测量值	0x0000 (0A)	0x0FFF (1.08xV _{CL} /R _{SNS} A)	0x0000 (0A)	0x0FFF (2.16xV _{CL} /R _{SNS} A)

7.5.2.57 READ_PIN_AVG (DFh, 读取字)

READ_AVG_PIN 命令会报告 12 位 ADC 测量值的 VIN x IIN 乘积。当平均数据未就绪时，返回值为默认值 (0000h) 或上一次的数据。平均计数可以通过 SAMPLES_FOR_AVG 寄存器进行编程。通过将 PK_MIN_AVG 寄存器中的位[6] 设置为高电平，可以将 READ_PIN_AVG 寄存器的内容复位为零 (0x0000h)。该数据通过 PMBus 读取字协议进行读取。该寄存器应使用 表 7-72 中所示的系数。

表 7-52. READ_PIN_AVG 寄存器说明

位	名称	说明	ADC_CONFIG_2 [6] = 0		ADC_CONFIG_2 [6] = 1	
			最小值	最大值	最小值	最大值
15:0	READ_PIN_AVG	自复位或上次清除以来平均输入电源的测量值	0x0000 (0W)	0x0FFF (96.23xV _{CL} /R _{SNS} W)	0x0000 (0W)	0x0FFF (192.45xV _{CL} /R _{SNS} W)

7.5.2.58 CLEAR_BB_RAM (E0h, 发送字节)

CLEAR_BB_RAM 命令是一条特定于制造商的命令，用于清除黑盒 RAM 并将其内容恢复为默认值。这是使用 PMBus 发送字节协议实现的，不包括数据字节。此命令为只写命令。

7.5.2.59 READ_DIAGNOSTIC_WORD (E1h, 读取字)

READ_DIAGNOSTIC_WORD PMBus 命令报告单次读取操作中的所有 LM5066Hx 故障和警告。对 $\overline{\text{SMBA}}$ 信号置位的标准响应是向各种状态寄存器发出多个读取请求，可以用向 DIAGNOSTIC_WORD 寄存器读取单个字来替换。READ_DIAGNOSTIC_WORD 命令应使用 PMBus 读取字协议读取。READ_DIAGNOSTIC_WORD 也会在 BLOCK_READ、BLACK_BOX_READ 和 AVG_BLOCK_READ 操作中返回。请注意，如果 UVLO 被拉低以关断 FET，则诊断字将返回 08E0h。

表 7-53. DIAGNOSTIC_WORD 寄存器说明

位	说明	默认值
15	VOUT_UNDERVOLTAGE_WARN	0
14	IIN_OP_WARN	0
13	VIN_UNDERVOLTAGE_WARN	0
12	VIN_OVERVOLTAGE_WARN	0
11	电源正常	1
10	OVER_TEMPERATURE_WARN	0
9	TIMER_LATCHED_OFF	0
8	FET_FAIL	0
7	CONFIG_PRESET	1
6	DEVICE_OFF	0

表 7-53. DIAGNOSTIC_WORD 寄存器说明 (续)

位	说明	默认值
5	VIN_UNDERVOLTAGE_FAULT	0
4	VIN_OVERVOLTAGE_FAULT	0
3	IIN_OC/PFET_OP_FAULT	0
2	OVER_TEMPERATURE_FAULT	0
1	CML_FAULT	0
0	CIRCUIT_BREAKER_FAULT	0

7.5.2.60 AVG_BLOCK_READ (E2h, 块读取)

AVG_BLOCK_READ 命令将 DIAGNOSTIC_WORD 与输入和输出平均遥测信息 (IIN、VOUT、VIN 和 PIN) 和温度连接在一起, 以在单个 PMBus 事务中捕获器件的所有运行信息。该块长度为 12 字节, 遥测信息的发送方式与发出单独的 READ_XXX_AVG 命令的发送方式相同 (如表 7-54 所示)。AVG_BLOCK_READ 还指定, VIN、VOUT、IIN 和 TEMP 的测量值均需保持时间对齐, 若使用独立的 PMBus 命令分别读取, 这些测量值则可能无法保持同步。要从 AVG_BLOCK_READ 命令读取数据, 请使用 SMBus 块读取协议。

表 7-54. AVG_BLOCK_READ 寄存器格式

寄存器	尺寸	默认值
DIAGNOSTIC_WO RD	1 个字	0880h
READ_IIN_AVG	1 个字	0000h
READ_VOUT_AVG	1 个字	0000h
READ_VIN_AVG	1 个字	0000h
READ_PIN_AVG	1 个字	0000h
READ_TEMP_AVG	1 个字	0000h

7.5.2.61 BB_ERASE (E3h , 发送字节)

BB_ERASE 是一条特定于制造商的命令，用于填充 EEPROM (存储黑盒信息) 并填充全零 (0)。

此命令使用 PMBus® 发送字节协议。没有此命令的数据字节。此命令为只写命令。

7.5.2.62 BB_CONFIG (E4h , 读取/写入字节)

BB_CONFIG 是一条制造商特定命令，用于配置或读取黑盒功能的行为，如黑盒故障记录部分中所述。

此命令使用 PMBus 读取或写入字节协议。

表 7-55. BB_CONFIG 寄存器说明

位	名称	值	说明	默认值
7	FET_OFF_WR	1	BB EEPROM 写入触发器 GATE1 关闭会触发对 BB EEPROM 的写入	0
		0	GATE1 关闭不会触发对 BB EEPROM 的写入	
6	FLT_WR	1	BB EEPROM 写入触发器 PGD 低电平会触发对 BB EEPROM 的写入	0
		0	PGD 低电平不会触发对 BB EEPROM 的写入	
5	ALERT_WR	1	BB EEPROM 写入触发器 $\overline{\text{SMBA}}$ 置为有效会触发对 BB EEPROM 的写入	0
		0	$\overline{\text{SMBA}}$ 置为有效不会触发 对 BB EEPROM 的写入	
4:2	保留	000	保留	000
1:0	BB_TICK	11	黑盒时间戳计时间隔 3200μs	00
		10	800μs	
		01	200μs	
		00	10μs	

BB_CONFIG[5] 需要与 ALERT_MASK 寄存器配合使用，以确定哪些事件会触发黑盒写入外部 EEPROM。

7.5.2.63 OC_BLANKING_TIMERS (E5h , 读取/写入字节)

OC_BLANKING_TIMERS 寄存器是特定于制造商的命令，用于配置或读取 LM5066Hx 器件中过流消隐计时器的设置信息。

此命令使用 PMBus 读取或写入字节协议。

表 7-56. OC_BLANKING_TIMERS 寄存器说明

位	名称	值	过流消隐计时器持续时间 (ms)	默认值
7:4	过流 Blanking2 计时器	0xFh	95	0x7h
		0xEh	9.5	
		0xDh	4.75	
		0Ch	3.8	
		0Bh	2.85	
		0Ah	1.9	
		0x9h	0.95	
		0x8h	0.76	
		0x7h	0.57	
		0x6h	0.38	
		0x5h	0.285	
		0x4h	0.19	
		0x3h	0.095	
		0x2h	0.057	
		0x1h	0.038	
		0x0h	0	
3:0	过流 Blanking1 计时器	0xFh	95	0x5h
		0xEh	76	
		0xDh	57	
		0Ch	38	
		0Bh	19	
		0Ah	14.25	
		0x9h	9.5	
		0x8h	7.6	
		0x7h	3.8	
		0x6h	1.9	
		0x5h	0.95	
		0x4h	0.7125	
		0x3h	0.475	
		0x2h	0.095	
		0x1h	0.019	
		0x0h	0	

7.5.2.64 DELAY_CONFIG (E7h , 读取/写入字节)

DELAY_CONFIG 寄存器是特定于制造商的命令，用于配置 LM5066Hx 器件中数字插入和数字重试配置的延迟时间。此命令使用 PMBus 读取或写入字节协议。

表 7-57. DELAY_CONFIG 寄存器说明

位	名称	值	延迟时间持续时间	默认值
7:4	重试延迟时间	0xFh	95s	0x8h
		0xEh	47.5s	
		0xDh	19s	
		0Ch	9.5s	
		0Bh	4.75s	
		0Ah	2.85s	
		09h	1.9s	
		08h	0.95s	
		07h	712.5ms	
		06h	475ms	
		05h	285ms	
		04h	190ms	
		03h	95ms	
		02h	47.5ms	
		01h	19ms	
		00h	9.5ms	
3:0	插入延迟时间	0xFh	0.95s	0x4h
		0xEh	665ms	
		0Dh	475ms	
		0Ch	285ms	
		0Bh	95ms	
		0Ah	85.5ms	
		09h	66.5ms	
		08h	47.5ms	
		07h	38ms	
		06h	28.5ms	
		05h	19ms	
		04h	9.5ms	
		03h	6.65ms	
		02h	4.75ms	
		01h	1.9ms	
		00h	0.95ms	

7.5.2.65 WD_PLB_TIMER (E8h , 读取/写入字节)

WD_PLB_TIMER 寄存器是一个特定于制造商的命令，用于在 LM5066Hx 器件中配置看门狗计时器和最大功率限制消隐计时器阈值。此命令使用 PMBus 读取或写入字节协议。

表 7-58. WD_PLB_TIMER 寄存器说明

位	名称	值	计时器持续时间 (ms)	出厂默认设置	EEPROM 默认值
7:4	看门狗计时器	0xFh	9500	0x6Fh	0xBFh
		0xEh	4750		
		0xDh	2850		
		0xCh	1900		
		0xBh	950		
		0xAh	712.5		
		0x9h	475		
		0x8h	237.5		
		0x7h	190		
		0x6h	142.5		
		0x5h	95		
		0x4h	47.5		
		0x3h	38		
		0x2h	28.5		
		0x1h	19		
		0x0h	9.5		
3:0	最大功率限制消隐计时器	0xFh	95	0xFh	0xFh
		0xEh	47.5		
		0xDh	19		
		0xCh	9.5		
		0xBh	4.75		
		0xAh	1.9		
		0x9h	0.95		
		0x8h	0.7125		
		0x7h	0.475		
		0x6h	0.38		
		0x5h	0.285		
		0x4h	0.19		
		0x3h	0.095		
		0x2h	0.057		
		0x1h	0.038		
		0x0h	0		

7.5.2.66 PK_MIN_AVG (E9h , 读取/写入字节)

PK_MIN_AVG 是一条制造商特定命令，它重置所有最大值、最小值和平均值遥测寄存器，如 READ_VIN_PEAK、READ_IIN_PEAK、READ_TEMP_PEAK、READ_PIN_PEAK、READ_VIN_MIN、READ_VOUT_MIN、READ_VIN_AVG、READ_VOUT_AVG、READ_IIN_AVG、READ_TEMP_AVG 和 READ_PIN_AVG。此命令使用 PMBus 读取或写入字节协议。

一旦执行 PK_MIN_AVG 命令以清除峰值、最小值和平均值寄存器，RESET_PEAK、READ_MIN 和 READ_AVG 位将自动清零 (0)。

表 7-59. PK_MIN_AVG 寄存器说明

位	名称	值	说明	默认值
7	RESET_PEAK	1	将所有峰值寄存器复位为 0	0
		0	无操作	
6	RESET_AVG	1	将所有平均值寄存器复位为 0	0
		0	无操作	
5	RESET_MIN	1	将所有最小寄存器复位为 0	0
		0	无操作	
4:0	保留	0000	保留	0000

7.5.2.67 P²t 计时器 (EAh, 读取/写入字节)

P²t TIMER 寄存器是用于在 LM5066Hx 器件中配置 P²t 调节计时器模式和最长计时器持续时间的命令。此命令使用 PMBus 读取或写入字节协议。

表 7-60. P²t 计时器寄存器说明

位	名称	值	说明	默认值
7:5	保留	000	保留	000
4	P ² t 计时器模式	1	绝对结温, $T_{J,ABS} = T_C + \Delta T_J$	0
		0	结温更改, ΔT_J 计时器	
3:0	P ² t 计时器最大持续时间	0xFh	95ms	0xCh
		0xEh	47.5ms	
		0xDh	19ms	
		0xCh	9.5ms	
		0xBh	6.65ms	
		0xAh	4.75ms	
		0x9h	1.9ms	
		0x8h	0.95ms	
		0x7h	855 μ s	
		0x6h	760 μ s	
		0x5h	665 μ s	
		0x4h	475 μ s	
		0x3h	380 μ s	
		0x2h	285 μ s	
		0x1h	190 μ s	
		0x0h	95 μ s	

7.5.2.68 FETCH_BB_EEPROM (EBh, 发送字节)

FETCH_BB_EEPROM 是一条特定于制造商的命令, 用于将内部 EEPROM 中的黑盒内容加载到器件内部的黑盒影子寄存器中。然后, 可以使用 READ_BB_EEPROM 命令通过 PMBus 回读这些值。

此命令使用 PMBus 发送字节协议。此命令只能写入, 没有数据字节。

7.5.2.69 READ_BB_RAM (ECh, 块读取)

READ_BB_RAM 是一条制造商特定命令，用于读取黑盒缓冲器 RAM 的内容，黑盒缓冲器 RAM 的深度为七 (7) 字节，如黑盒故障记录中所述。

此命令使用 PMBus 块读取协议，块大小为七 (7)。

表 7-61 提供了黑盒 RAM 寄存器的详细信息。有七 (7) 个黑盒 RAM 寄存器，从 BB_RAM_0 到 BB_RAM_6 开始。所有七 (7) 个寄存器 (BB_RAM_0 到 BB_RAM_6) 的说明都相同。

表 7-61. BB_RAM 寄存器说明

位	名称	值	说明	默认值
7:5	EVENT_ID	111	事件标识符 VIN_UV_WARN	000
		110	VIN_OV_WARN	
		101	OC_WARN	
		100	OT_WARN	
		011	OC_DET	
		010	VIN_TRAN	
		001	IN_OP_WARN	
		000	无	
4	BB_TMR_EXP	1	黑盒计时器到期 黑盒计时器自上次事件以来至少溢出一次	0
		0	黑盒计时器未溢出	
3:0	BB_TICK	0000	黑盒嘀嗒计时器	0000

黑盒 RAM 内容会在发生以下事件时复位：

- VIN 或 VDD 引脚上的输入下电上电
- CLEAR_FAULTS 命令
- OPERATION OFF 命令后跟 OPERATION ON 命令
- BB_CLEAR 命令

7.5.2.70 ADC_CONFIG_1 (EDh, 读取/写入字节)

ADC_CONFIG_1 是一条制造商特定命令，用于配置或读取用于 ADC 采样的通道选择和模式。此命令使用 PMBus 读取或写入字节协议。

此子命令的详细信息如表 7-62 中所示。

表 7-62. ADC_CONFIG_1 寄存器说明

位	名称	值	说明	默认值	访问
7	EOC	1	转换结束指示 (低电平有效) ADC 处于繁忙状态 (转换正在进行中)	0	读取
		0	转换完成		

表 7-62. ADC_CONFIG_1 寄存器说明 (续)

位	名称	值	说明	默认值	访问
6	CONVST	1	软件转换启动控制 (在 <i>MODE</i> = 01 时使用) 开始转换	0	读取/写入
		0	不开始转换		
5:4	模式	11	<i>ADC</i> 采样模式	00	
		10	连续转换 — 单通道		
		01	单通道单次转换 — 软件控制		
		00	连续转换 — 自动定序		
3:0	CONV_CH_SEL	1010-1111	用于采样的参数 <i>ADC</i> 通道选择 (<i>MODE</i> = 01、10 或 11) 保留	0000	
		1001	ADDR2 (仅在 <i>MODE</i> = 01 时适用)		
		1000	GND (仅在 <i>MODE</i> = 01 时适用)		
		0111	VREF		
		0110	ADDR1 (仅在 <i>MODE</i> = 01 时适用)		
		0101	ADDR0 (仅在 <i>MODE</i> = 01 时适用)		
		0100	VAUX		
		0011	VTEMP		
		0010	IIN		
		0001	VOUT		
		0000	VIN		

备注

MODE = 10 或 01 是仅调试模式，不建议在正常运行期间使用，因为它们会阻止 ADC 对遥测和保护功能所需的所有必要信号进行采样。

7.5.2.71 ADC_CONFIG_2 (EEh, 读取/写入字节)

ADC_CONFIG_2 是一条制造商特定命令，用于配置或读取用于高速 ADC 采样缓冲的参数选择和抽取率（样片跳过计数），如 [READ_SAMPLE_BUF \(C9h, 块读取\)](#) 中所述。

此命令使用 PMBus 读取或写入字节协议。

此子命令的详细信息如 [ADC_CONFIG_2 寄存器说明](#) 中所示。

表 7-63. ADC_CONFIG_2 寄存器说明

位	名称	值	说明	默认值
7	保留	0	保留	0
6	ADC 满量程	1	ADC 满量程为 $2 \times V_{CL}$	0
		0	ADC 满量程为 $1 \times V_{CL}$	
5:3	BUF_CH_SEL	111	用于缓冲的参数选择	000
		110	保留 (将默认为 IIN)	
		101		
		100	VAUX	
		011	VTEMP	
		010	IIN	
		001	VOUT	
		000	VIN	
2:0	DEC_RATE	111	用于 ADC 采样缓冲的抽取率 (样片跳过计数) 抽取率 (样片跳过计数) = 7	0000
		110	抽取率 (样片跳过计数) = 6	
		101	抽取率 (样片跳过计数) = 5	
		100	抽取率 (样片跳过计数) = 4	
		011	抽取率 (样片跳过计数) = 3	
		010	抽取率 (样片跳过计数) = 2	
		001	抽取率 (样片跳过计数) = 1	
		000	抽取率 (样片跳过计数) = 0	

7.5.2.72 DEVICE_SETUP1 (CCh , 读取/写入字节)

DEVICE_SETUP1 命令可用于覆盖引脚设置，以定义 LM5066Hx 在主机控制下的运行。可通过 PMBus 读取/写入字节协议访问此命令。

表 7-64. DEVICE_SETUP1 寄存器说明

位	名称	值	说明	默认值
7:5	重试设置	111	无限次重试	000
		110	重试 16 次	
		101	重试 8 次	
		100	重试 4 次	
		011	重试 2 次	
		010	重试 1 次	
		001	无重试	
		000	配置引脚的重试	
4	电流限制设置	1	低电平设置 (25mV)	0
		0	高电平设置 (50mV)	
3	CB/CL 比率	1	高电平设置 (4x)	0
		0	低电平设置 (2x)	
2	电流限制配置	1	使用 SMBus 设置	0
		0	使用引脚设置	
1	保留	0	保留	0
0	永久写入禁用	1	永久写入禁用开启：向 WRITE_PROTECT (10h) 寄存器写入 02h 会永久地禁用对器件的写入	0
		0	永久写入禁用关闭：无论写入 WRITE_PROTECT (10h) 寄存器的值如何，都不会实现永久写入禁用功能	

要使用寄存器设置配置电流限制设置，需要将电流限制配置位 (2) 设置为 1，以使寄存器能够控制电流限制功能，并使得 DEVICE_SETUP1 位 (4) 和 DEVICE_SETUP2 位 (3:5) 能够选择所需的设置。若未设置电流限制配置位，则使用引脚设置。断路器与电流限值的比值由 DEVICE_SETUP1 位 (3) 和 DEVICE_SETUP2 位 (6:7) 设置。请注意，如果电流限制配置发生更改，遥测均值计算功能的样本不会复位。德州仪器 (TI) 建议在配置新的电流限制参数后，需等待完整的平均更新周期结束后再处理平均数据。

请注意，电流限值配置会影响用于电流和功率测量以及警告寄存器的系数。

7.5.2.73 DEVICE_SETUP2 (EFh, 读取/写入字节)

DEVICE_SETUP2 命令可用于覆盖引脚设置，以定义 LM5066Hx 在主机控制下的运行。可通过 PMBus 读取/写入字节协议访问此命令。

表 7-65. DEVICE_SETUP2 寄存器说明

位	名称	值	说明	默认值
7:6	CB/CL Ratio2	11	3x	00
		10	1.5x	
		01	1.2x	
		00	根据 DEVICE_SETUP1 寄存器中的位 (3) 进行设置	

表 7-65. DEVICE_SETUP2 寄存器说明 (续)

位	名称	值	说明	默认值
5:3	电流限制 Setting2	111	22.5mV	000
		110		
		101	20mV	
		100	17.5mV	
		011	15mV	
		010	12.5mV	
		001	10mV	
		000	根据 DEVICE_SETUP1 寄存器中的位 (4) 进行设置	
2	保留			
1	CB 故障后快速恢复	1	启用	0
		0	禁用	
0	VIN_TRAN_Enable	1	输入瞬态消隐控制启用	0
		0	输入瞬态消隐控制禁用	

7.5.2.74 DEVICE_SETUP3 (F0h, 读取/写入字节)

DEVICE_SETUP3 命令可用于配置 LM5066Hx 在主机控制下的运行。可通过 PMBus 读取/写入字节协议访问此命令。

表 7-66. DEVICE_SETUP3 寄存器说明

位	名称	值	说明	默认值
7	限流模式禁用	1	启动后禁用电流限制	0
		0	在所有条件下启用电流限制	
6	功率限制曲线	1	功率限制消隐	0
		0	恒定功率限制曲线	
5:4	折返电流限制	11	0.1x V _{CL}	00
		10		
		01	0.05x V _{CL}	
		00	启动期间无折返	
3:2	过流 Blanking2 阈值	11	2.25x V _{CL}	00
		10	2x V _{CL}	
		01	1.75x V _{CL}	
		00	1.5x V _{CL}	
1:0	过流 Blanking1 阈值	11	2x V _{CL}	00
		10	1.75x V _{CL}	
		01	1.5x V _{CL}	
		00	1.25x V _{CL}	

7.5.2.75 DEVICE_SETUP4 (CDh, 读取/写入字节)

DEVICE_SETUP4 命令可用于配置 LM5066Hx 在主机控制下的运行。可通过 PMBus 读取/写入字节协议访问此命令。

表 7-67. DEVICE_SETUP4 寄存器说明

位	名称	值	说明		工厂默认值	EEPROM 默认值
7	断路器事件后立即重试	1	30 μs 后不会立即重试		0	1
		0	30 μs 后立即重试			
6	CCT 模式下的调节计时器放电电流	1	75 μA		0	0
		0	2.5 μA			
5	SYNC 引脚功能	1	启用		0	0
		0	禁用			
4	SFT_STRT 引脚功能 (LM5066H2)	1	启用		1	1
		0	禁用			
3:2	调节计时器及插入、重试延迟设置		调节计时器设置	插入及重试延迟设置	00	00
		11	P ² t 计时器	数字插入及数字重试计时器		
		10				
		01	恒定电流计时器	数字插入及数字重试计时器		
		00	恒定电流计时器	模拟恒流计时器		
1:0	功率限制消隐 V _{DS} 阈值	11	20V		01	01
		10	15V			
		01	10V			
		00	5V			

7.5.2.76 DEVICE_SETUP5 (CEh , 读取/写入字节)

DEVICE_SETUP5 命令可用于配置 LM5066Hx 在主机控制下的运行。可通过 PMBus 读取/写入字节协议访问此命令。

表 7-68. DEVICE_SETUP5 寄存器说明

位	名称	值	说明	默认值
7:5	保留	000	保留	000
4	在调节计时器到期后，用于过流故障的 GATE1 下拉	1	1.5A	0
		0	10mA	
3	用于过流消隐的 GATE2 下拉电阻 - 在调节计时器到期或者 V _{DS} > 2V 后	1	1.5A	0
		0	10mA	
2	针对过热、FET_FAIL、运行关闭、下电上电、看门狗到期的 GATE1 及 GATE2 下拉	1	1.5A	0
		0	10mA	
1	针对 OVLO 故障的 GATE1 和 GATE2 下拉	1	1.5A	0
		0	10mA	
0	针对 UVLO 故障的 GATE1 和 GATE2 下拉	1	1.5A	0
		0	10mA	

7.5.2.77 IIN 偏移校准 (F2h, 读取/写入字节)

IMON OFFSET CALIBRATION 是一个制造商特定寄存器, 允许用户存储用于校准 ADC 采集的 IIN 读数的偏移因子。这些校准因数用于计算通过 PMBus 报告的 IIN、PIN 和 EIN 参数。读取该寄存器时应使用表 7-72 中所示的系数。访问此命令应使用 PMBus 读取或写入字节协议。

表 7-69. IMON 偏移校准寄存器说明

位	名称	值	说明	默认值	访问
7	SIGN	1	IIN 偏移校正因数符号 负偏移因子	0	R/W
		0	正偏移因子		
6:0	OFFSET_FACTOR	0 至 127	为校正偏移误差, 从 IIN ADC 读数中添加或减去偏移因子。	000	R/W

7.5.2.78 STATUS_MFR_SPECIFIC_2 (F3h, 读取字)

STATUS_MFR_SPECIFIC_2 命令含有特定于制造商的状态信息。访问此命令应使用 PMBus 读取字节协议。若要清除该寄存器中的位, 应消除底层故障并发出 CLEAR_FAULTS 命令。STATUS_MFR_SPECIFIC_2 命令应使用 PMBus 读取字节协议读取。

位	名称	值	说明	默认值
15:13	保留	000	保留	000
12	看门狗故障	1	发生看门狗故障	0
		0	未发生看门狗故障	
11	SC_FLT	1	超过短路故障阈值	0
		0	未超过短路故障阈值	
10	RESERVED	0	RESERVED	0
9	EIN_OF_WARN	1	EIN 寄存器已溢出	0
		0	EIN 寄存器未溢出	
8	VIN_TRAN	1	检测到 VIN 瞬态	0
		0	未检测到 VIN 瞬态	
7	保留	0	保留	0
6	EE_PROG	1	已编程内部 EEPROM	0
		0	内部 EEPROM 未编程	
5	AVG_DONE	1	平均值计算已完成	0
		0	平均计算正在进行中	
4	保留	0	保留	0
3	RETRY_REC	1	器件已在自动重试后从故障中恢复	0
		0	正常上电或器件未在自动重试后从故障中恢复	
2	POWER_CYCLE_REC (来自模拟至数字)	1	下电上电命令后器件成功启动	0
		0	上电或下电上电命令后正常启动或启动失败	
1	INIT_DONE	1	寄存器初始化完成, 所有默认配置值加载到操作存储器中	0
		0	寄存器初始化未完成	

位	名称	值	说明	默认值
0	保留	0	保留	0

EE_PROG 位将通过 OPERATION OFF/ON、CLEAR_FAULTS 命令清除。

7.5.2.79 READ_BB_EEPROM (F4h , 块读取)

READ_BB_EEPROM 是特定于制造商的命令，用于读取器件内部黑盒影子寄存器中存储的内容。发出该命令之前，需要发送 FETCH_BB_EEPROM 命令，以便将黑盒内容从内部 EEPROM 加载到黑盒影子寄存器。READ_BB_EEPROM 会检索 EEPROM 中存储的二十二 (22) 字节黑盒信息，如下所示。

- BB_RAM_0 至 BB_RAM_6 [七 (7) 个字节]
- BB_TIMER [一 (1) 个字节]
- STATUS_WORD [两 (2) 个字节]
- STATUS_MFR_SPECIFIC [一 (1) 个字节]
- STATUS_MFR_SPECIFIC_2 [两 (2) 个字节]
- STATUS_INPUT [一 (1) 个字节]
- VIN_PEAK [两 (2) 个字节]
- IIN_PEAK [两 (2) 个字节]
- PIN_PEAK [两 (2) 个字节]
- TEMPERATURE_PEAK [两 (2) 个字节]

此命令使用 PMBus® 块读取协议，块大小为二十二 (22)

7.5.2.80 BB_TIMER (F6h , 读取字节)

BB_TIMER 是一条制造商特定命令，用于读取以下内容：

- 黑盒 RAM 地址指针，指示迄今为止已填充哪些黑盒 RAM。填充全部七 (7) 个黑盒 RAM 位置后，它会复位为零。
- 黑盒计时器到期位，显示自上次事件以来，黑盒嘀嗒计时器是否至少溢出一次。该位指示黑盒 RAM 事件条目是相对较新还是较旧。当定时器溢出时，该位被门锁，并在下一个事件发生时，与自由运行的定时器一起复位为零。
- 黑盒嘀嗒计时器是一种自由运行的计时器，每次发生事件后都会复位为零。通过 BB_CONFIG 寄存器可以配置计时器更新速率。这允许用户可以根据调试需求在高精度和更长时间跨度之间进行权衡。

要访问 BB_TIMER register 寄存器，请使用 PMBus 读取字节协议。在发出 CLEAR_FAULTS 命令瞬间，该寄存器的整个内容复位为零 (0)。BB_TIMER 寄存器的详细信息如 [BB_TIMER 寄存器说明](#) 中所示。

表 7-70. BB_TIMER 寄存器说明

位	名称	值	说明	默认值	带电/锁存
7:5	BB_PTR	000	BB RAM 地址指针 全部七 (7) 个黑盒 RAM 寄存器为空或全 部填充, 直到最新为 止	000	实时
		001	BB_RAM_0 填充到最 新		
		010	BB_RAM_0 和 BB_RAM_1 填充到最 新		
		011	BB_RAM_0、 BB_RAM_1 和 BB_RAM_2 填充到最 新		
		100	BB_RAM_0、 BB_RAM_1、 BB_RAM_2 和 BB_RAM_3 填充到最 新		
		101	BB_RAM_0、 BB_RAM_1、 BB_RAM_2、 BB_RAM_3 和 BB_RAM_4 填充到最 新		
		110	BB_RAM_0、 BB_RAM_1、 BB_RAM_2、 BB_RAM_3、 BB_RAM_4 和 BB_RAM_5 填充到最 新		
		111	保留		
4	BB_TMR_EXP	1	黑盒计时器到期 黑盒计时器自上次事 件以来至少溢出一次	0	锁存
		0	黑盒计时器未溢出		
3:0	BB_TICK	黑盒计时器		0000	实时

7.5.2.81 PMBUS_ADDR (F7h , 读取/写入字节)

PMBUS_ADDR 是一条制造商特定命令, 用于读取和配置除节 7.5.6 中提到的地址之外的用户特定器件地址。当 ADDR0、ADDR1 和 ADDR2 引脚为漏极开路时, 器件使用该地址进行 I2C 通信, 而不是默认值 (0x40)。此更新后的器件地址可存储在内部 EEPROM 中, 器件会在下次加电时响应这个修改后的地址。

此命令使用 PMBus 读取或写入字节协议。

7.5.3 读取和写入遥测数据和警告阈值

所有测得的遥测数据和用户编程警告阈值，均以 12 位二进制补码形式进行传输，读写操作以 2 字节为增量，并符合 *PMBus 电源系统管理协议规范 1.1* (第 II 部分) 第 8.3.3 节所述的直接格式。遥测或警告字中位的组织方式如表 7-71 所示，其中 Bit_11 是最高有效位 (MSB)，Bit_0 是最低有效位 (LSB)。所有警告和遥测字的十进制等效值限制在 0 到 4095 范围内，温度除外。温度字的十进制等效值范围为 0 至 65535。

表 7-71. 遥测和警告字格式

字节	B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	B0
1	Bit_7	Bit_6	Bit_5	Bit_4	Bit_3	Bit_2	Bit_1	Bit_0
2	0	0	0	0	Bit_11	Bit_10	Bit_9	Bit_8

如 *PMBus 电源系统管理协议规范 1.1* (第 II 部分) 的第 7.2.1 节所述，通过确定适当的系数，从直接格式转换到电流、电压、功率和温度的实际维度。根据该规范，主机系统根据以下关系将接收到的值转换为伏特、安培、瓦特或其他单位的读数：

$$x = \frac{1}{m} (Y \times 10^{-R} - b) \quad (6)$$

其中

- **X** = 计算出的实际值 (伏特、安培、瓦特等)
- **m** = 斜率系数
- **Y** = 从器件接收的两字节二进制补码整数
- **b** = 偏移量，是两字节二进制补码整数
- **R** = 指数，是单字节二进制补码整数

仅在要求 **m** 为整数的系统中才需要 **R** (例如，**m** 可以存储在集成电路的寄存器中)。在这些情况下，**R** 仅需要足够大才能产生所需的精度。

表 7-72. 电压、电流和功率遥测和警告转换系数 (R_{SNS} ，单位为 $m\Omega$)

类别	寄存器名称	ADC 满量程范围	电流限制电压 (mV)	m	b	R
VAUX	READ_VAUX (D0h) READ_VAUX_AVG (D9h)	不适用	不适用	13788	23	-1
VIN	READ_VIN (88h) READ_VIN_MIN (A0h) READ_VIN_PEAK (A1h) VIN_UV_WARN_LIMIT (58h) VIN_OV_WARN_LIMIT (57h)			4596	255	-2
	READ_VIN_AVG (DCh)			4596	233	-2
VOUT	READ_VOUT (8Bh) READ_VOUT_MIN (A4h) VOUT_UV_WARN_LIMIT (43h)			4596	455	-2
	READ_VOUT_AVG (DDh)			4596	417	-2
TEMP	READ_TEMPERATURE_1 (8Dh) READ_TEMP_PEAK (C8h) OT_FAULT_LIMIT (4Fh) OT_WARN_LIMIT (51h)			100	26437	-2
	READ_TEMP_AVG (C7h)			100	26437	-2

表 7-72. 电压、电流和功率遥测和警告转换系数 (R_{SNS} , 单位为 $m\Omega$) (续)

类别	寄存器名称	ADC 满量程范围	电流限制电压 (mV)	m	b	R
IIN	READ_IIN (89h) MFR_READ_IIN (D1h) READ_IIN_PEAK (A2h) IIN_OC_WARN_LIMIT (5Dh) OC_WARN_LIMIT (F8h) MFR_IIN_OC_WARN_LIMIT (D3h)	1xV _{CL}	10	$3791.7 \times R_{SNS}$	10.25	-1
			12.5	$30333.3 \times R_{SNS}$	395.57	-2
			15	$25277.8 \times R_{SNS}$	-209	-2
			17.5	$21666.8 \times R_{SNS}$	4.23	-2
			20	$18958.3 \times R_{SNS}$	-246.36	-2
			22.5	$16851.9 \times R_{SNS}$	-54.93	-2
			25	$15166.7 \times R_{SNS}$	63.89	-2
			50	$7583.3 \times R_{SNS}$	237.03	-2
		2xV _{CL}	10	$18958.3 \times R_{SNS}$	461.02	-2
			12.5	$15166.7 \times R_{SNS}$	621.66	-2
			15	$12638.9 \times R_{SNS}$	121.11	-2
			17.5	$10833.3 \times R_{SNS}$	250.83	-2
			20	$9479.2 \times R_{SNS}$	58.24	-2
			22.5	$8425.9 \times R_{SNS}$	193.76	-2
			25	$7583.3 \times R_{SNS}$	281.86	-2
			50	$3791.7 \times R_{SNS}$	414.51	-2
	READ_IIN_AVG (DEh)	1xV _{CL}	10	$3791.7 \times R_{SNS}$	18.78	-1
			12.5	$30333.3 \times R_{SNS}$	441.95	-2
			15	$25277.8 \times R_{SNS}$	-150.06	-2
			17.5	$21666.7 \times R_{SNS}$	27.64	-2
			20	$18958.3 \times R_{SNS}$	-240.23	-2
			22.5	$16851.9 \times R_{SNS}$	-51.31	-2
			25	$15166.7 \times R_{SNS}$	58.36	-2
			50	$7583.3 \times R_{SNS}$	220.65	-2
		2xV _{CL}	10	$18958.3 \times R_{SNS}$	457.6	-2
			12.5	$15166.7 \times R_{SNS}$	614.42	-2
			15	$12638.9 \times R_{SNS}$	103.87	-2
			17.5	$10833.3 \times R_{SNS}$	259.76	-2
			20	$9479.2 \times R_{SNS}$	53.34	-2
			22.5	$8425.9 \times R_{SNS}$	178.01	-2
			25	$7583.3 \times R_{SNS}$	333.99	-2
			50	$3791.7 \times R_{SNS}$	401.74	-2

表 7-72. 电压、电流和功率遥测和警告转换系数 (R_{SNS} , 单位为 $m\Omega$) (续)

类别	寄存器名称	ADC 满量程范围	电流限制电压 (mV)	m	b	R
IOUT	READ_IOUT (8Ch)	1xV _{CL}	10	$3791.7 \times R_{SNS}$	18.78	-1
			12.5	$30333.3 \times R_{SNS}$	441.95	-2
			15	$25277.8 \times R_{SNS}$	-150.06	-2
			17.5	$21666.7 \times R_{SNS}$	27.64	-2
			20	$18958.3 \times R_{SNS}$	-240.23	-2
			22.5	$16851.9 \times R_{SNS}$	-51.31	-2
			25	$15166.7 \times R_{SNS}$	58.36	-2
			50	$7583.3 \times R_{SNS}$	220.65	-2
		2xV _{CL}	10	$18958.3 \times R_{SNS}$	457.6	-2
			12.5	$15166.7 \times R_{SNS}$	614.42	-2
			15	$12638.9 \times R_{SNS}$	103.87	-2
			17.5	$10833.3 \times R_{SNS}$	259.76	-2
			20	$9479.2 \times R_{SNS}$	53.34	-2
			22.5	$8425.9 \times R_{SNS}$	178.01	-2
			25	$7583.3 \times R_{SNS}$	333.99	-2
			50	$3791.7 \times R_{SNS}$	401.74	-2
POUT	READ_POUT (96h)	1xV _{CL}	10	$4255.5 \times R_{SNS}$	6690	-3
			12.5	$3404.4 \times R_{SNS}$	8003	-3
			15	$28370.1 \times R_{SNS}$	4699	-4
			17.5	$24317.2 \times R_{SNS}$	5764	-4
			20	$21277.6 \times R_{SNS}$	4422	-4
			22.5	$18913.4 \times R_{SNS}$	5378	-4
			25	$17022.1 \times R_{SNS}$	6005	-4
			50	$8511.0 \times R_{SNS}$	6868	-4
		2xV _{CL}	10	$22979.8 \times R_{SNS}$	6692	-4
			12.5	$18383.8 \times R_{SNS}$	7998	-4
			15	$15319.9 \times R_{SNS}$	4711	-4
			17.5	$13131.3 \times R_{SNS}$	5779	-4
			20	$11489.9 \times R_{SNS}$	4418	-4
			22.5	$10213.2 \times R_{SNS}$	5387	-4
			25	$9191.9 \times R_{SNS}$	6026	-4
			50	$4596 \times R_{SNS}$	6871	-4

表 7-72. 电压、电流和功率遥测和警告转换系数 (R_{SNS} , 单位为 $m\Omega$) (续)

类别	寄存器名称	ADC 满量程范围	电流限制电压 (mV)	m	b	R
引脚	READ_PIN (97h) MFR_READ_PIN (D2h) READ_PIN_PEAK (A3h) MFR_PIN_OP_WARN_LIMIT (D4h)	1xV _{CL}	10	$4255.5 \times R_{SNS}$	6690	-3
			12.5	$3404.4 \times R_{SNS}$	8003	-3
			15	$28370.1 \times R_{SNS}$	4699	-4
			17.5	$24317.2 \times R_{SNS}$	5764	-4
			20	$21277.6 \times R_{SNS}$	4422	-4
			22.5	$18913.4 \times R_{SNS}$	5378	-4
			25	$17022.1 \times R_{SNS}$	6005	-4
		2xV _{CL}	50	$8511 \times R_{SNS}$	6868	-4
			10	$22979.8 \times R_{SNS}$	6692	-4
			12.5	$18383.8 \times R_{SNS}$	7998	-4
			15	$15319.8 \times R_{SNS}$	4711	-4
			17.5	$13131.3 \times R_{SNS}$	5779	-4
			20	$11489.9 \times R_{SNS}$	4418	-4
			22.5	$10213.2 \times R_{SNS}$	5387	-4
			25	$9191.9 \times R_{SNS}$	6026	-4
			50	$4596 \times R_{SNS}$	6871	-4
	READ_PIN_AVG (DFh)	1xV _{CL}	10	$4255.5 \times R_{SNS}$	6829	-3
			12.5	$3404.4 \times R_{SNS}$	8133	-3
			15	$28370.1 \times R_{SNS}$	4788	-4
			17.5	$24317.2 \times R_{SNS}$	5791	-4
			20	$21277.6 \times R_{SNS}$	4418	-4
			22.5	$18913.4 \times R_{SNS}$	5363	-4
			25	$17022.1 \times R_{SNS}$	5942	-4
		2xV _{CL}	50	$8511.0 \times R_{SNS}$	6672	-4
			10	$22979.8 \times R_{SNS}$	6834	-4
			12.5	$18383.8 \times R_{SNS}$	8124	-4
			15	$15319.8 \times R_{SNS}$	4799	-4
			17.5	$13131.3 \times R_{SNS}$	5796	-4
			20	$11489.9 \times R_{SNS}$	4410	-4
			22.5	$10213.2 \times R_{SNS}$	5367	-4
			25	$9191.9 \times R_{SNS}$	5934	-4
			50	$4596 \times R_{SNS}$	6685	-4

表 7-72. 电压、电流和功率遥测和警告转换系数 (R_{SNS} , 单位为 $m\Omega$) (续)

类别	寄存器名称	ADC 满量程范围	电流限制电压 (mV)	m	b	R
EIN	READ_EIN (86h)	1xV _{CL}	10	$16623.1 \times R_{SNS}$	6675	-6
			12.5	$13298.5 \times R_{SNS}$	8032	-6
			15	$11082.1 \times R_{SNS}$	4669	-6
			17.5	$9498.9 \times R_{SNS}$	5784	-6
			20	$8311.6 \times R_{SNS}$	4458	-6
			22.5	$7388.1 \times R_{SNS}$	5356	-6
			25	$6649.2 \times R_{SNS}$	6023	-6
			50	$3324.6 \times R_{SNS}$	6898	-6
		2xV _{CL}	10	$8976.5 \times R_{SNS}$	6634	-6
			12.5	$7181.2 \times R_{SNS}$	7945	-6
			15	$5984.3 \times R_{SNS}$	4756	-6
			17.5	$5129.4 \times R_{SNS}$	5767	-6
			20	$5129.4 \times R_{SNS}$	4487	-6
			22.5	$3989.5 \times R_{SNS}$	5361	-6
			25	$3590.6 \times R_{SNS}$	6058	-6
			50	$17953 \times R_{SNS}$	6843	-7

7.5.4 通过线性拟合的经验确定遥测系数

表 7-72 中所示的遥测测量和警告阈值系数足以满足大多数应用的需求。电流和功率系数取决于 R_{SNS} ，必须根据应用进行计算。这些是通过在整个温度范围内表征多个器件而获得的，并且被认为是最优的。电流和功率测量的小信号性质使其比其他遥测通道更容易受到 PCB 寄生效应的影响。此外， R_{SNS} 和 LM5066Hx 本身也存在一些差异。这可能会导致从数字值转换为实际值（例如，安培和瓦特）的最优系数（m、b 和 R）略有变化。为了最大限度地提高遥测精度，可以使用经验方法针对给定的电路板校准系数。这将确定最佳系数来抵消 PCB 寄生效应、 R_{SNS} 变化以及 LM5066Hx 变化导致的误差。在一个电路板上进行测量并对所有生产中的器件使用计算出的系数并不是良好的做法，因为给定电路板上的 R_{SNS} 和 LM5066Hx 是随机选择的，并不代表统计均值。建议对每块电路板单独进行校准，或直接采用表 7-72 中提供的推荐系数。

可以使用以下方法确定特定电路板的理想电流系数：

- 当 LM5066Hx 处于正常运行状态时，需控制负载电流，同时使用开尔文测试点和高精度 DVM 测量检测电阻两端的电压。记录 READ_AVG_IIN 命令返回的整数值（需将 SAMPLES_FOR_AVG 设置为大于 0 的值），且需在采样电阻两端施加至少两种不同电压的情况下进行记录。为了获得更好的结果，各个 READ_AVG_IIN 测量值应跨越几乎满量程的电流范围（例如， R_{SNS} 两端的电压为 5mV 和 20mV）。
- 通过将测量的电压除以 R_{SNS} 的值，将其转换为电流。为获得最佳精度，应测量 R_{SNS} 的值。表 7-73 假设检测电阻值为 5m Ω 。

表 7-73. 用于电流系数线性拟合确定的测量方法

R_{SNS} 两端的 测量电压 (V)	测量电流 (A)	READ_AVG_IIN (整数值)
0.005	1	568
0.01	2	1108
0.02	4	2185

- 使用电子表格（或数学程序）来确定 READ_AVG_IIN 命令返回的数据相对于测量电流的斜率和 Y 轴截距。对于表 7-72 中显示的数据：
 - READ_AVG_IN 值 = 斜率 $\times$ (测量电流) + (Y 轴截距)
 - 斜率 = 538.9

- Y 轴截距 = 29.5
- 4. 要确定 **m** 系数，只需移动计算斜率的小数点，即可得出具有适当有效位数（通常为 4）的整数，同时保持在 - 32768 至 32767 的范围内。小数点的这种移位对应着 **R** 系数。对于上一步中显示的斜率值，小数点将向右移动一次，因此 **R** = - 1。
- 5. 确定 **R** 系数后，将 Y 轴截距乘以 10^{-R} 得出 **b** 系数。在这种情况下，**b** 的值为 295。
 - 计算得出的电流系数：
 - **m** = 5389
 - **b** = 295
 - **R** = - 1

$$x = \frac{1}{m} (Y \times 10^{-R} - b) \quad (7)$$

其中

- **X** = 计算出的实际值（伏特、安培、瓦特、温度）
- **m** = 斜率系数，是两字节二进制补码整数
- **Y** = 从器件接收的两字节二进制补码整数
- **b** = 偏移量，是两字节二进制补码整数
- **R** = 指数，是单字节二进制补码整数

只需将测得的电流改为其他一些参数（例如功率或电压），即可重复此流程来确定任何遥测通道的系数。

7.5.5 写入遥测数据

若需使用其可选功能，需向多个地址写入数据。使用之前为您的应用计算出的相同系数，并使用 **PMBus** 修订版第 7.2.2 节发送值中规定的方法应用这些系数

$$Y = (mX + b) \times 10^R \quad (8)$$

其中

- **X** = 计算出的实际值（伏特、安培、瓦特、温度）
- **m** = 斜率系数，是两字节二进制补码整数
- **Y** = 从器件接收的两字节二进制补码整数
- **b** = 偏移量，是两字节二进制补码整数
- **R** = 指数，是单字节二进制补码整数

7.5.6 PMBus 地址线 (ADR0、ADR1、ADR2)

三条地址线应设置为高电平（连接至 VDD）、低电平（连接至 GND）或开路，以便从 27 个地址中选择一个与 LM5066Hx 通信。表 7-74 显示了 7 位地址（第八位为读取/写入位）。

表 7-74. 器件寻址

ADR2	ADR1	ADR0	解码的地址
Z	Z	Z	40h（默认值） 可以使用编程到 PMBUS_ADDR 寄存器的 用户定义地址进行覆盖
Z	Z	0	41h
Z	Z	1	42h
Z	0	Z	43h
Z	0	0	44h
Z	0	1	45h

表 7-74. 器件寻址 (续)

ADR2	ADR1	ADR0	解码的地址
Z	1	Z	46h
Z	1	0	47h
Z	1	1	10h
0	Z	Z	11h
0	Z	0	12h
0	Z	1	13h
0	0	Z	14h
0	0	0	15h
0	0	1	16h
0	1	Z	17h
0	1	0	50h
0	1	1	51h
1	Z	Z	52h
1	Z	0	53h
1	Z	1	54h
1	0	Z	55h
1	0	0	56h
1	0	1	57h
1	1	Z	58h
1	1	0	59h
1	1	1	5Ah

7.5.7 $\overline{\text{SMBA}}$ 响应

$\overline{\text{SMBA}}$ 实际上有两个掩码：

- D8h 处的警报屏蔽寄存器
- ARA 自动掩码。

ARA 自动掩码是为响应 ARA 成功读取而设置的掩码。ARA 读取操作会返回总线上 $\overline{\text{SMBA}}$ 置为有效的最低寻址目标器件的 PMBus 地址。ARA 读取成功意味着该器件是返回其地址的器件。当器件响应 ARA 读取时，它会释放 $\overline{\text{SMBA}}$ 信号。当总线上设置了 $\overline{\text{SMBA}}$ 的最后一个器件成功报告其地址时， $\overline{\text{SMBA}}$ 信号将失效。

LM5066Hx 释放 $\overline{\text{SMBA}}$ 信号的方式是针对 ARA 读取时存在的所有故障情况设置 ARA 自动掩码位。所有状态寄存器仍将显示故障情况，但不会再次针对该故障生成 $\overline{\text{SMBA}}$ 警报，直到主机向该部件发出 CLEAR_FAULTS 命令以清除 ARA 自动掩码。这必须作为维护器件上 $\overline{\text{SMBA}}$ 条件的常规部分来完成，即使未完成 ARA 读取也是如此。图 7-9 展示了此流程的原理图版本。

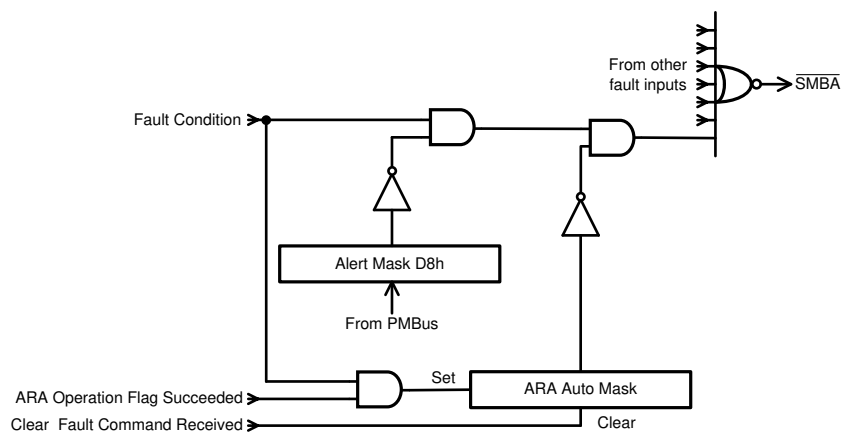


图 7-9. $\overline{\text{SMBA}}$ 故障的典型流程原理图

8 应用和实施

备注

以下应用部分中的信息不属于 TI 器件规格的范围，TI 不担保其准确性和完整性。TI 的客户应负责确定器件是否适用于其应用。客户应验证并测试其设计，以确保系统功能。

8.1 应用信息

LM5066Hx 是一个具备 PMBus 接口的热插拔器件，可为主机提供电流、电压、电源和状态信息。作为热插拔控制器，它用于管理浪涌电流并在发生故障时提供保护。

在设计热插拔时，应考虑三个关键场景：

- 启动
- 当热插拔控制器开启时，其输出端对地短路。这通常称为“输出热短路”。
- 当输出端对地短路时为电路板上电。这通常称为“启动至短路”。

所有这些情况都给热插拔 MOSFET 带来了很大的应力，在设计热插拔回路时要特别小心，以使 MOSFET 保持在其 SOA 范围内。以下部分将提供详细的设计示例。手动求解所有公式很麻烦，可能会导致误差。相反，德州仪器 (TI) 建议使用 LM5066Hx 设计计算器。

8.2 典型应用

8.2.1 54V、100A PMBus 热插拔设计

本节介绍了使用 LM5066H1 控制器的 54V、100A PMBUS 热插拔设计的设计过程。

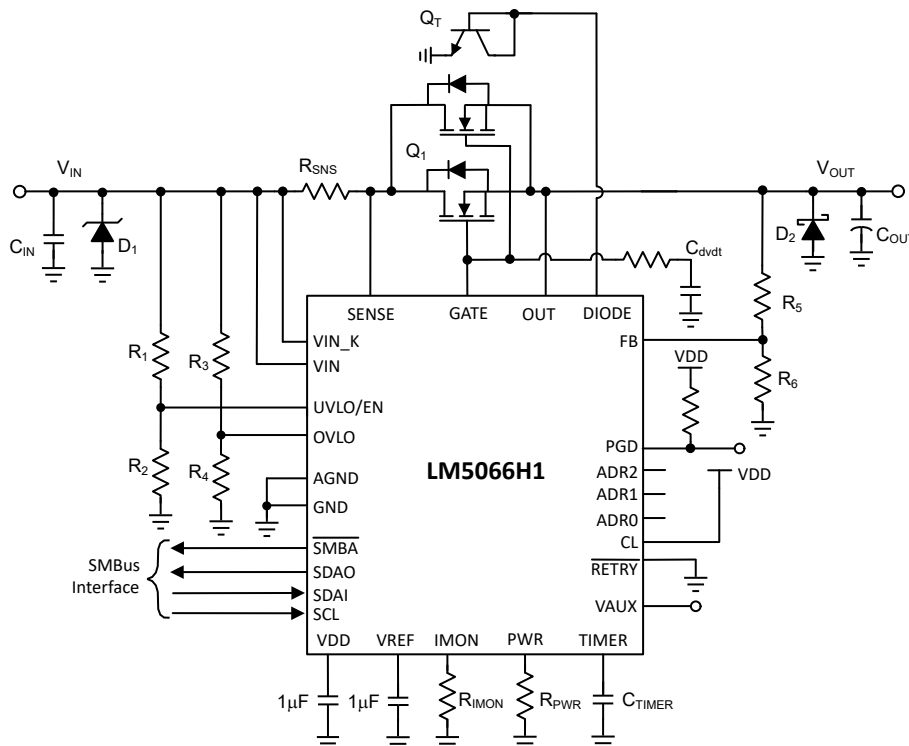


图 8-1. 典型应用电路

8.2.1.1 设计要求

表 8-1 总结了在设计热插拔电路之前，必须了解的设计参数。通过热插拔 MOSFET 为输出电容器充电时，FET 的总能量耗散等于输出电容器中存储的总能量 ($1/2 CV^2$)。因此，输入电压和输出电容决定了 MOSFET 在启动期间承受的应力。最大负载电流决定了电流限值和检测电阻选型。此外，PCB 的最大负载电流、最高环境温度和热属性 ($R_{\theta CA}$) 会影响 MOSFET 的选择，包括 $R_{DS(on)}$ 和使用的 MOSFET 数量。 $R_{\theta CA}$ 与布局以及连接至 MOSFET 漏极的覆铜量之间存在密切关系。请注意，漏极未以电气方式连接至接地平面；因此，无法使用接地平面来帮助散热。本设计示例使用 $R_{\theta CA} = 25^\circ\text{C/W}$ ，与 LM5066H1 和 LM5066H2 评估模块类似。良好的做法是在物理 PCB 可用后，测量给定设计的 $R_{\theta CA}$ 。

最后，了解热插拔需要通过哪些测试条件非常重要。通常，热插拔电路的设计需同时通过热短路与启动时短路两项测试要求，具体描述参见前一节。此外，德州仪器 (TI) 建议在热插拔完全加电之前保持负载关断状态。尽早启动负载会导致 MOSFET 承受不必要的应力，并可能导致 MOSFET 故障或启动失败。

表 8-1. 设计参数

参数	示例值
输入电压范围	40 至 60V
最大负载电流	100A
热插拔的最大输出电容	5mF
最高环境温度	55°C
MOSFET $R_{\theta CA}$ (取决于布局)	25°C/W
通过“输出热短路”测试？	是
通过“启动至短路”测试？	是
在 PG 置位之前，负载是否关闭？	是
是否可以重新插入热板？	是

8.2.1.2 详细设计导入程序

8.2.1.2.1 选择热插拔 FET

为热插拔设计选择正确的 MOSFET 至关重要。器件必须满足以下要求：

- V_{DS} 额定值应足以处理最大系统电压以及瞬态过程引起的任何振铃电压。对于大多数 54V 系统，100V FET 是不错的选择。
- FET 的 SOA 应足以处理所有用例：启动、热短路和启动至短路。
- $R_{DS(on)}$ 应足够低，以便保持结温和外壳温度低于 FET 的最大额定值。实际上，德州仪器 (TI) 建议将稳态 FET 温度保持在 125°C 以下，以便留出处理瞬态的裕度。
- 最大持续电流额定值应高于最大负载电流，脉冲漏极电流则必须大于断路器的电流阈值。通过前三项要求的大多数 MOSFET 也通过了这两项标准。
- 由于 LM5066Hx 可将栅极电压上拉至相对源极高达 16V，因此要求 V_{GS} 额定值为 $\pm 20V$ 。

在本设计中，选择了 PSMN2R3-100SSE，因为它具有低 $R_{DS(on)}$ 和出色的 SOA。在此设计示例中，并联使用了四 (4) 个 MOSFET。选择 MOSFET 后，可按如下方式计算最大稳态外壳温度：

$$T_{C,MAX} = T_{A,MAX} + R_{\theta CA} \times I_{LOAD,MAX}^2 \times R_{DS(on)}(T_J) \quad (9)$$

请注意， $R_{DS(on)}$ 是结温的强大函数，对于大多数 LFPK88 MOSFET 而言，它非常接近外壳温度。可能需要对前面的公式进行一些迭代，以收敛最终的 $R_{DS(on)}$ 和 $T_{C,MAX}$ 值。根据 PSMN2R3-100SSE 数据表，其 $R_{DS(on)}$ 在 120°C 时为 1.75 倍。**方程式 10** 使用此 $R_{DS(on)}$ 值计算 $T_{C,MAX}$ 。请注意，计算得出的 $T_{C,MAX}$ 接近为 $R_{DS(on)}$ 假设的结温。因此，无需进一步迭代。

$$T_{C,MAX} = 55^\circ\text{C} + 25^\circ\text{C/W} \times \left(\frac{100\text{A}}{4}\right)^2 \times (1.75 \times 2.3\text{m}\Omega) = 118^\circ\text{C} \quad (10)$$

8.2.1.2.2 基于 dv/dt 的启动

对于具有大负载电流和输出电容的设计，使用基于电源限制的启动可能不切实际。从根本上说，增加负载电流会降低检测电阻，从而增加最小功率限值。使用更大的输出电容器会导致更长的启动时间，并且需要更长的计时器。因此，需要更长的计时器和更大的功率限制设置，这会在热短路或启动至短路期间给 MOSFET 带来更大的应力。最终，将没有可满足此类要求的 FET。

为了避免这个问题，可以使用 dv/dt 限制电容器 ($C_{dv/dt}$) 来限制栅极和输出电压的压摆率。浪涌电流可通过降低 V_{OUT} 的压摆率任意设置为较小的值。此外，还设置了功率限制以满足最小功率限制要求，并防止计时器在启动期间运行（使 $P_{LIM} / V_{INMAX} > I_{INR}$ ）。由于计时器在启动期间不运行，因此可将其设置为任意小值，以降低 MOSFET 在启动至短路或热短路期间所承受的应力。

8.2.1.2.2.1 选择 V_{OUT} 压摆率

浪涌电流应保持足够低，以便在启动期间使 MOSFET 保持在其 SOA 范围内。请注意，无论浪涌时间如何，MOSFET 在启动期间的总能量耗散都是恒定的。因此，只要负载在启动过程中关闭，将启动时间延长，始终可以降低 MOSFET 承受的应力。

选择目标压摆率时，应选择一个合理的数字，检查 SOA，并在必要时降低压摆率。以 0.3V/ms 为起点，浪涌电流可按如下方式计算：

$$I_{INR} = C_{OUT} \times \frac{dV_{OUT}}{dt} = 5mF \times \frac{0.3V}{ms} = 1.5A \quad (11)$$

假设最大输入电压为 60V，启动大约需要 200ms。请注意，FET 的功率耗散从 $V_{IN,MAX} \times I_{INR}$ 开始，并随着 MOSFET 的 V_{DS} 降低而降至 0。请注意，SOA 曲线假设在给定时间内具有相同的功率耗散。保守的方法是采用等效功率曲线，其中 $P_{FET} = V_{IN,MAX} \times I_{INR} (t = t_{start-up} / 2)$ 。在本例中，可以通过查看 60V、1.5A、100ms 脉冲来检查 SOA。使用 PSMN2R3-100SSE MOSFET 数据表中的 SOA 图，MOSFET 可以在 25°C 的环境温度下处理 60V、6A 电流并持续 100ms。该值也必须根据温度进行降额计算。对于该计算，假设当插入电路板时 T_C 可以等于 $T_{C,MAX}$ 。这仅在拔出热板，然后在热板冷却之前插回时才会发生。对于许多应用来说这是最坏的情况，可使用 $T_{A,MAX}$ 来实现这种降额计算。

$$I_{SOA}(100ms, T_{C,MAX}) = I_{SOA}(100ms, 25^\circ C) \times \frac{T_{J,ABSMAX} - T_{C,MAX}}{T_{J,ABSMAX} - 25^\circ C} = 6A \times \frac{175^\circ C - 118^\circ C}{175^\circ C - 25^\circ C} = 2.3A \quad (12)$$

该计算表明，如果压摆率为 0.3V/ms，MOSFET 在启动期间完全保持在其 SOA 范围内。请注意，如果负载在启动期间关断，则无论压摆率如何，FET 中耗散的总能量都是恒定的。因此，较低的压摆率始终会对 FET 施加较小的应力。为确保压摆率不超过 0.3V/ms，应按如下方式选择 $C_{dv/dt}$ ：

$$C_{dv/dt} = \frac{I_{GATE,SOURCE}}{0.3V/ms} = \frac{21\mu A}{0.3V/ms} = 70nF \quad (13)$$

选择最接近的值 68nF。接下来，可以计算出典型压摆率为 0.31V/ms，如 [方程式 14](#) 所示，对应的典型启动时间约为 200ms。

$$\frac{\Delta V_{OUT}}{\Delta t} = \frac{I_{GATE,SOURCE}}{C_{dv/dt}} = \frac{21\mu A}{68nF} = 0.31V/ms \quad (14)$$

8.2.1.2.3 选择 R_{SNS} 和 CL 设置

可以使用 CL 引脚配置将 LM5066H1 与 25 或 50mV 的 VCL 搭配使用（将 CL 引脚连接至 GND，以将标称过流阈值设置为 50mV。将 CL 连接至 VDD 会将过流阈值设置为 25mV）。使用 DEVICE_SETUP2 (EFh，读取/写入字) 寄存器，可以将电流限制设置为 10mV、12.5mV、15mV、17.5mV、20mV 和 22.5mV。德州仪器 (TI) 建议将电流限制值设定为至少比最大负载电流高 10%，以应对 LM5066H1 电流限制功能的容差问题。在电流限制目标为 110A 的情况下，可以按如下公式计算检测电阻：

$$R_{SNS,CLC} = \frac{V_{CL}}{I_{LIM}} = \frac{25mV}{110A} = 227\mu\Omega \quad (15)$$

通常，检测电阻仅采用分立式阻值。如果需要精确的电流限制，可以使用检测电阻器和电阻分压器，如图 8-2 所示。

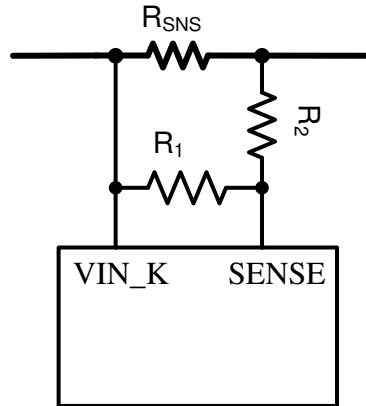


图 8-2. SENSE 电阻分压器

应选择下一个更大的可用检测电阻（本例中为 $250\mu\Omega$ ）。可以使用以下公式计算 R_1 和 R_2 的比值：

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_{SNS,CLC}}{R_{SNS} - R_{SNS,CLC}} = \frac{227}{250 - 227} = 9.9 \quad (16)$$

请注意，SENSE 引脚会拉取 $25\mu A$ 的电流，从而在 R_2 上产生偏移。德州仪器 (TI) 建议将 R_2 保持在 10Ω 以下，以减少这种引入的失调电压。此外，1% 精度的电阻器会增加电流监控误差。最后，如果电阻分压器方法，用户应使用方程式 17 计算有效检测电阻 ($R_{SNS,EFF}$)，并在所有方程中使用该电阻值，而不是原始的 R_{SNS} 。

$$R_{SNS,EFF} = \frac{R_{SNS} \times R_1}{R_1 + R_2} \quad (17)$$

选择 R_1 为 10Ω ，则 R_2 的计算值为 1.01Ω 。 R_2 最接近的选定值为 1Ω 。

请注意，对于许多应用，可能不需要精确的电流限制。在这种情况下，选择下一个较小的可用检测电阻会更简单。

8.2.1.2.4 选择功率限制

通常，最好使用较低的功率限制设置来降低 MOSFET 上的应力。但是，当 LM5066H1 设置为低功率限制时，必须将 FET 电流，及检测电阻两端的电压 (V_{SNS}) 调节至极低的值。 V_{SNS} 可按图 方程式 18 所示方法计算。

$$V_{SNS} = \frac{P_{LIM} \times R_{SNS}}{V_{DS}} \quad (18)$$

为了避免功率限制性能显著下降，TI 不建议 V_{SNS} 小于 $0.5mV$ 。根据此要求，可以按如下方式计算允许的最小功率限值：

$$P_{LIM,MIN} = \frac{V_{SNS,MIN} \times V_{IN,MAX}}{R_{SNS}} = \frac{1mV \times 60V}{0.227m\Omega} = 264W \quad (19)$$

在大多数应用中，可以使用方程式 20，将功率限制设置为 $P_{LIM,MIN}$ 。此处考虑 $270W$ 的功率限制。

$$P_{LIM}(W) = \frac{R_{PWR}(k\Omega) \times 6}{R_{SNS}(m\Omega)} \quad (20)$$

应选择最接近的可用电阻。在本案例中，选择了 10k Ω 电阻。

8.2.1.2.5 设置故障计时器

当热插拔处于功率限制或电流限制状态时，故障计时器会运行。根据 PSMN2R3-100SSE MOSFET SOA 图，考虑了 1ms 的故障计时器持续时间，从而提供了足够的 MOSFET SOA 裕度。 C_{TIMER} 可通过如下公式进行计算：

$$C_{TIMER} = \frac{t_{flt} \times i_{timer}}{V_{timer}} = \frac{1ms \times 75\mu A}{3.9V} = 20nF \quad (21)$$

将故障计时器电容器选择为 20nF。

8.2.1.2.6 检查 MOSFET SOA

选择功率限制和故障计时器后，在所有测试条件下检查 FET 是否保持在其 SOA 范围内至关重要。发生热短路期间，断路器跳闸，LM5066H1 会重启并进入功率限制模式，直至定时器计时结束。在最坏的情况下，MOSFET 的 V_{DS} 等于 $V_{IN, MAX}$ 、 I_{DS} 等于 $P_{LIM} / V_{IN, MAX}$ ，应力事件持续 t_{flt} 。在本设计示例中，MOSFET 需承受 60V 电压、4.5A 电流，持续时间为 1ms。

根据 PSMN2R3-100SSE 的 SOA，它可以在 25°C 环境温度下处理 60V 电压、30A 电流，并持续 1ms。

请注意，MOSFET 的 SOA 是在 25°C 外壳温度下指定的，而热短路期间外壳温度会高得多。SOA 应根据 $T_{C, MAX}$ ，使用以下 [方程式 22](#) 进行降额计算：

$$I_{SOA}(1ms, T_{C, MAX}) = I_{SOA}(1ms, 25^{\circ}C) \times \frac{T_{J, ABSMAX} - T_{C, MAX}}{T_{J, ABSMAX} - 25^{\circ}C} = 30A \times \frac{175^{\circ}C - 118^{\circ}C}{175^{\circ}C - 25^{\circ}C} = 11.4A \quad (22)$$

根据此计算，在 118°C 管壳温度升高的情况下，MOSFET 可以处理 11.4A 电流、60V 电压并持续 1ms，但在热短路期间只需要处理 4.5A 电流。因此，存在充足的裕度，鲁棒性良好。通常，德州仪器 (TI) 建议 MOSFET 的额定承受能力应比热短路期间的实际需求高出 1.3 倍。这提供了裕度来考虑功率限制和故障时间的变化。

8.2.1.2.7 设置 UVLO 和 OVLO 阈值

通过对 UVLO 和 OVLO 阈值进行编程，LM5066Hx 可在输入电源电压 (V_{IN}) 处于期望工作范围内时，启用串联导通器件 (Q_1)。如果 V_{IN} 低于 UVLO 阈值或高于 OVLO 阈值， Q_1 将会关断，从而拒绝为负载供电。为每个阈值提供了迟滞。

8.2.1.2.7.1 选项 A

图 8-3 中显示的配置需要三个电阻器 (R_1 至 R_3) 来设置阈值。

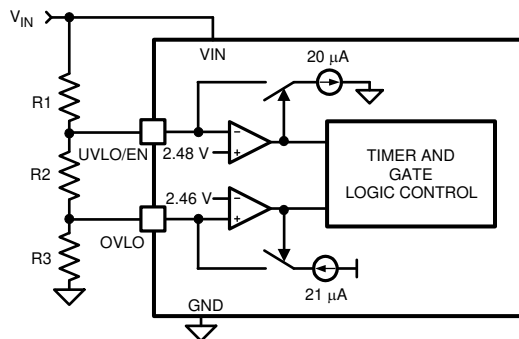


图 8-3. 由 R1-R3 设置的 UVLO 和 OVLO 阈值

电阻值的计算步骤如下：

- 选择上限 UVLO 阈值 (V_{UVH}) 和下限 UVLO 阈值 (V_{UVL})。
- 选择上限 OVLO 阈值 (V_{OVH})。
- 在这种情况下，无法预先选择下限 OVLO 阈值 (V_{OVL})，而是在确定 R1 到 R3 的值后确定。如果除其他三个阈值外还必须精确定义 V_{OVL} ，请参阅选项 B。电阻的计算如下：

$$R1 = \frac{V_{UVH} - V_{UVL}}{20\mu A} = \frac{V_{UV(HYS)}}{20\mu A} \quad (23)$$

$$R3 = \frac{R1 \times V_{UVL} \times 2.46V}{V_{OVH} \times (V_{UVL} - 2.48V)} \quad (24)$$

$$R2 = \frac{2.48V \times R1}{V_{UVL} - 2.48V} - R3 \quad (25)$$

下限 OVLO 阈值根据以下公式计算得出：

$$V_{OVL} = \left[(R1 + R2) \times \left(\left(\frac{2.46V}{R3} \right) - 21\mu A \right) \right] + 2.46V \quad (26)$$

当 R1 至 R3 电阻值已知时，阈值电压和迟滞可通过以下公式计算：

$$V_{UVH} = 2.48V + R1 \times \left(\frac{2.48V}{R2 + R3} + 20\mu A \right) \quad (27)$$

$$V_{UVL} = \frac{2.48V \times (R1 + R2 + R3)}{R2 + R3} \quad (28)$$

$$V_{UV(HYS)} = R1 \times 20\mu A \quad (29)$$

$$V_{OVH} = \frac{2.46V \times (R1 + R2 + R3)}{R3} \quad (30)$$

$$V_{OVL} = \left(\frac{2.46V}{R3} - 21\mu A \right) \times (R1 + R2) + 2.46V \quad (31)$$

$$V_{OV(HYS)} = (R1 + R2) \times 21\mu A \quad (32)$$

8.2.1.2.7.2 选项 B

如果必须准确定义所有四个阈值，可使用图 8-4 中的配置。

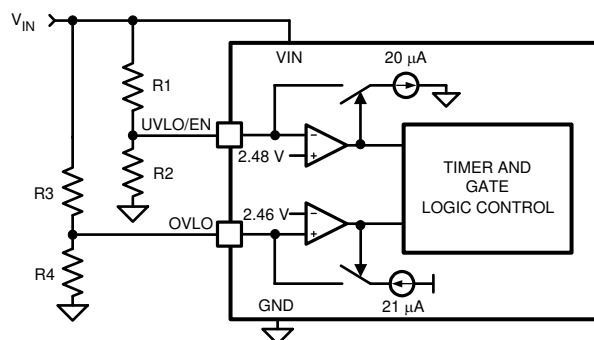


图 8-4. 对四个阈值进行编程

四个电阻器的值计算如下：

- 选择上限和下限 UVLO 阈值 (V_{UVH}) 和 (V_{UVL})。

$$R1 = \frac{V_{UVH} - V_{UVL}}{20 \mu A} = \frac{V_{UV(HYS)}}{20 \mu A} \quad (33)$$

$$R2 = \frac{2.48V \times R1}{V_{UVL} - 2.48V} \quad (34)$$

- 选择上限和下限 OVLO 阈值 (V_{OVH}) 和 (V_{OVL})。

$$R3 = \frac{V_{OVH} - V_{OVL}}{21 \mu A} \quad (35)$$

$$R4 = \frac{2.46V \times R3}{(V_{OVH} - 2.46V)} \quad (36)$$

- 当 R1 至 R4 电阻值已知时，阈值电压和迟滞可通过以下公式计算：

$$V_{UVH} = 2.48V + \left[R1 \times \left(\frac{2.48V}{R2} + 20 \mu A \right) \right] \quad (37)$$

$$V_{UVL} = \frac{2.48V \times (R1 + R2)}{R2} \quad (38)$$

$$V_{UV(HYS)} = R1 \times 20 \mu A \quad (39)$$

$$V_{OVH} = \frac{2.46V \times (R3 + R4)}{R4} \quad (40)$$

$$V_{OVL} = 2.46V + \left[R3 \times \left(\frac{2.46V}{R4} - 21 \mu A \right) \right] \quad (41)$$

8.2.1.2.7.3 选项 C

通过将 UVLO/EN 引脚连接至 VIN，可获得最小 UVLO 电平，如 图 8-5 所示。当 VIN 电压达到 POR_{EN} 阈值 ($\approx 8.6V$) 时，Q1 会导通。OVLO 阈值使用 R3、R4 进行设置。它们的值可通过 选项 B 中的步骤计算得出。

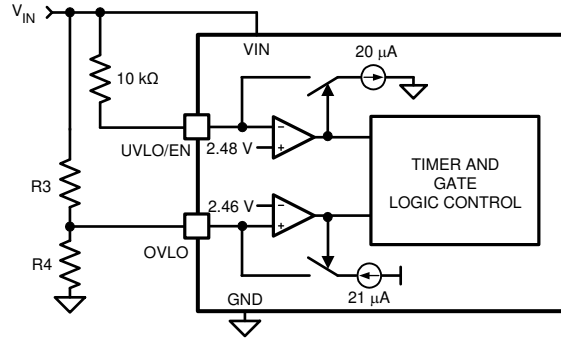


图 8-5. UVLO = POR_{EN}

8.2.1.2.7.4 选项 D

OVLO 功能可通过将 OVLO 引脚接地来禁用。UVLO 阈值按照选项 B 或选项 C 中所述进行设置。

本设计示例采用了选项 B 并以下面的选项为目标： $V_{UVH} = 38V$ 、 $V_{UVL} = 35V$ 、 $V_{OVH} = 65V$ 和 $V_{OVL} = 63V$ 。 V_{UVH} 和 V_{OVL} 选择为比 40V 至 60V 的输入电压范围低 5% 或高 5%，以便给器件的阈值留出一定的容差。使用以下公式计算 R1、R2、R3 和 R4：

$$\begin{aligned} R1 &= \frac{V_{UVH} - V_{UVL}}{20\mu A} = \frac{38V - 35V}{20\mu A} = 150k\Omega \\ R2 &= \frac{2.48V \times R1}{(V_{UVL} - 2.48V)} = \frac{2.48V \times 150k\Omega}{(35V - 2.48V)} = 11.44k\Omega \\ R3 &= \frac{V_{OVH} - V_{OVL}}{21\mu A} = \frac{65V - 63V}{21\mu A} = 95.24k\Omega \\ R4 &= \frac{2.46V \times R3}{(V_{OVH} - 2.46V)} = \frac{2.46V \times 95.24k\Omega}{(65V - 2.46V)} = 3.75k\Omega \end{aligned} \quad (42)$$

应选择最接近的可用 1% 电阻器。设置 $R1 = 150k\Omega$ 、 $R2 = 11.5k\Omega$ 、 $R3 = 95.3k\Omega$ 和 $R4 = 3.74k\Omega$ 。

8.2.1.2.8 电源正常引脚

“电源正常”指示器引脚 (PGD) 连接至内部 N 沟道 MOSFET 的漏极，该 MOSFET 能够在关断状态下耐受 80V 电压和高达 100V 的瞬态电压。PGD 需要一个外部上拉电阻器来提供适当的电压，以便向下游电路指示状态。PGD 引脚上的关断状态电压可以高于或低于 VIN 和 OUT 处的电压。当 FB 引脚上的电压超过 PGD 阈值电压时，PGD 会切换为高电平。通常情况下，输出电压阈值通过从输出到反馈的电阻分压器进行设置，但受监控的电压不需要是输出电压。只要 FB 引脚上的电压不超过其最大额定值，就可以监测任何其他电压。参考功能方框图，当 FB 引脚上的电压低于其阈值时，FB 上的 20-μA 电流源将被禁用。随着输出电压的增加，使 FB 高于其阈值，将启用电流源，从引脚输出电流，升高 FB 的电压以提供阈值迟滞。当 UVLO/EN 引脚低于其阈值或 OVLO 引脚高于其阈值时，PGD 输出被强制为低电平。可以通过 PMBus 接口在 STATUS_WORD (79h) 或 DIAGNOSTIC_WORD (E1h) 寄存器中读取 PGD 引脚的状态。

当 FB 引脚上的电压上升到高于其阈值时，作用在 PGD 引脚上的内部下拉被禁用，允许 PGD 通过上拉电阻 R_{PG} 上升到 V_{PGD} ，如图 8-7 所示。上拉电压 (V_{PGD}) 可高达 80V，并且可以高于或低于 VIN 和 OUT 处的电压。对于 V_{PGD} ，VDD 是一个方便的选择，因为它允许连接至低压逻辑并避免上电期间 PGD 上的毛刺脉冲。如果 PGD 需要延迟，建议的电路如图 8-8 所示。在图 8-8(A) 中，电容器 C_{PG} 会增加上升沿的延迟，但不会增加到下降沿的延迟。在图 8-8(B) 中，上升沿延迟由 $R_{PG1} + R_{PG2}$ 和 C_{PG} 决定，而下降沿延迟由较少的 R_{PG2} 和 C_{PG} 决定。在 R_{PG2} (图 8-8(C)) 上添加一个二极管可在两个边沿实现相等的延迟，或在上升沿实现短延迟和在下降沿实现长延迟。

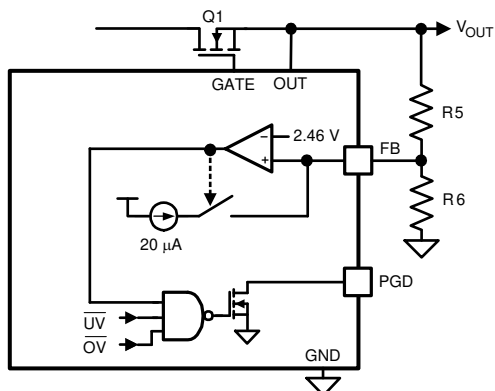


图 8-6. 对 PGD 阈值进行编程

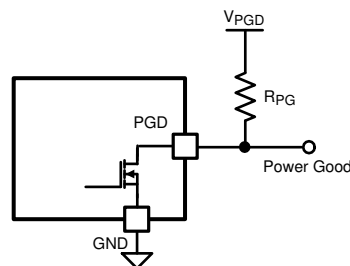


图 8-7. 电源正常输出

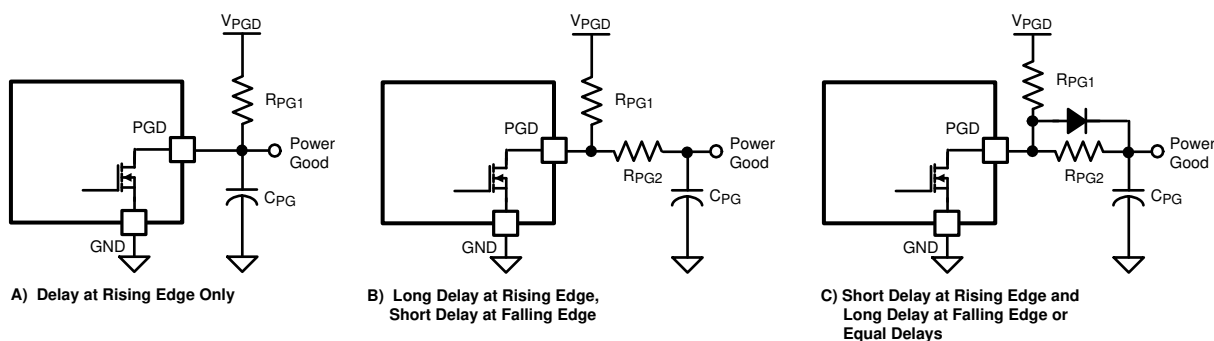


图 8-8. 为电源正常输出引脚添加延迟

德州仪器 (TI) 建议将 PG 阈值设置为低于最小输入电压 5%，以确保在所有输入电压条件下将 PG 置为有效。对于该示例，目标设定的 PGDH 为 38V，PGDL 为 35V。使用以下公式计算 R5 和 R6：

$$R5 = \frac{V_{PGDH} - V_{PGDL}}{20\mu A} = \frac{38V - 35V}{20\mu A} = 150k\Omega \quad (43)$$

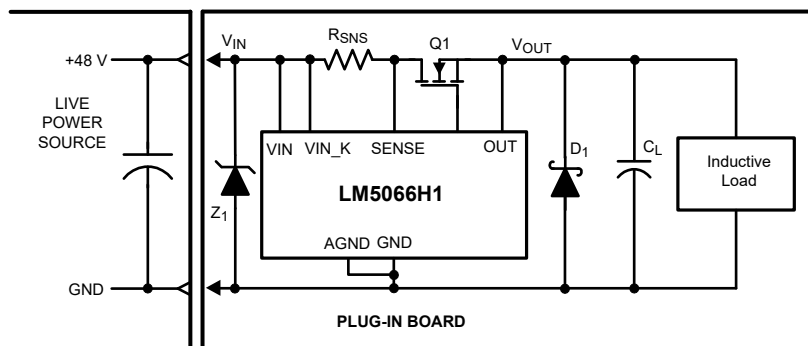
$$R6 = \frac{2.46V \times R5}{(V_{PGDH} - 2.46V)} = \frac{2.46V \times 150k\Omega}{(38V - 2.46V)} = 10.38k\Omega \quad (44)$$

应选择最接近的可用 1% 电阻器。设置 R5 = 150kΩ 和 R6 = 10.5kΩ。

8.2.1.2.9 输入和输出保护

LM5066Hx 热插拔电路正常运行需要在插入热插拔电路的连接器的电源侧安装一个电压钳位元件。TVS 是理想的选择，如图 8-9 所示。需要 TVS 来吸收热插拔电路关闭负载电流时产生的电压瞬态。当 FET 关断时大电流会突然中断，这种影响在热短路期间最为严重。所选 TVS 应在 $V_{IN,MAX}$ 下具有最小漏电流，并在热短路事件期间将电压钳位到 100V 以下。对于许多高功率应用来说，5.0SMDJ60A 是一个不错的选择。

如果由 LM5066Hx 热插拔电路供电的负载具有电感特性，则需要在 LM5066Hx 的输出端使用肖特基二极管以及一些负载电容。当负载电流关断时，需要使用电容和二极管来限制 OUT 引脚上的负偏移。



Copyright © 2025, Texas Instruments Incorporated

图 8-9. 电感负载所需的输出二极管

8.2.1.3 应用曲线

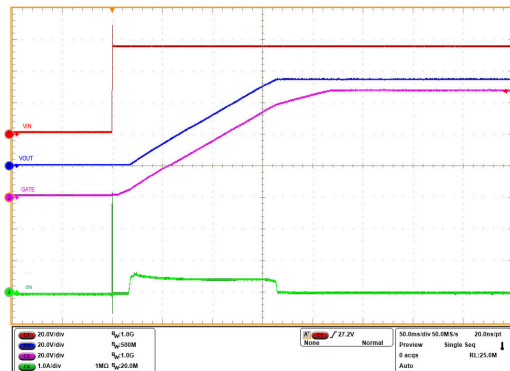


图 8-10. 插入延迟

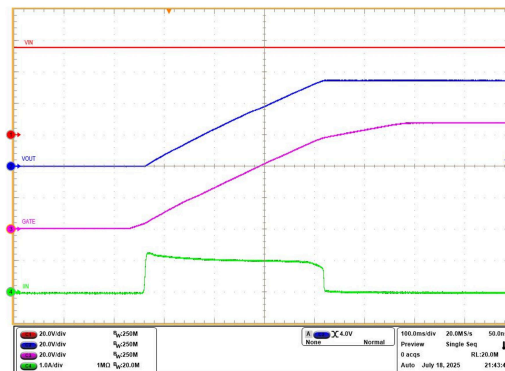
 $V_{IN} = 54V$

图 8-11. 启动

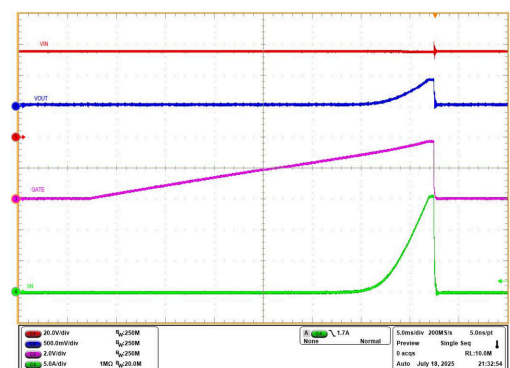


图 8-12. 启动至短路

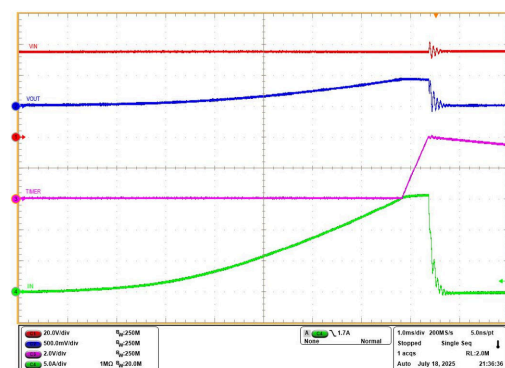


图 8-13. 启动至短路

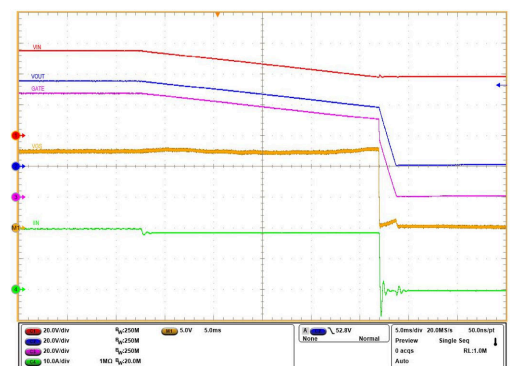


图 8-14. 欠压锁定

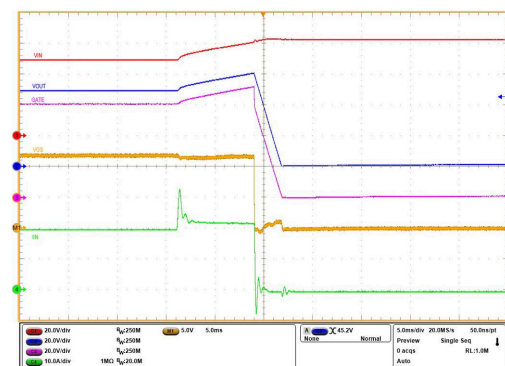


图 8-15. 过压锁定

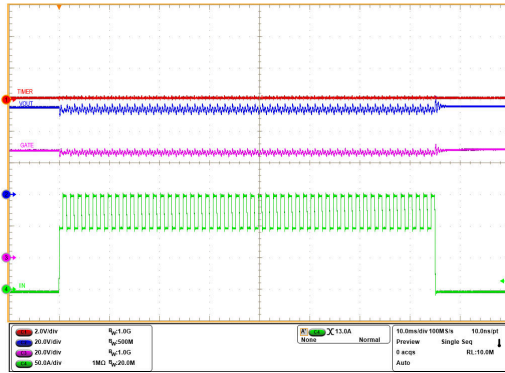


图 8-16. 负载瞬态

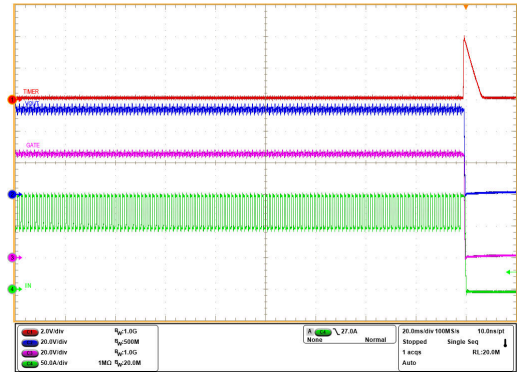


图 8-17. 负载瞬态后发生过流事件

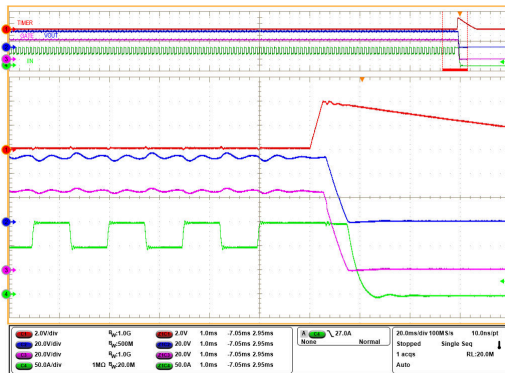


图 8-18. 过流事件 (缩放)

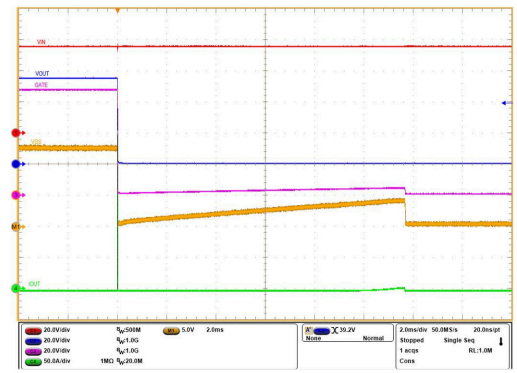


图 8-19. 输出端热短路 (缩小)

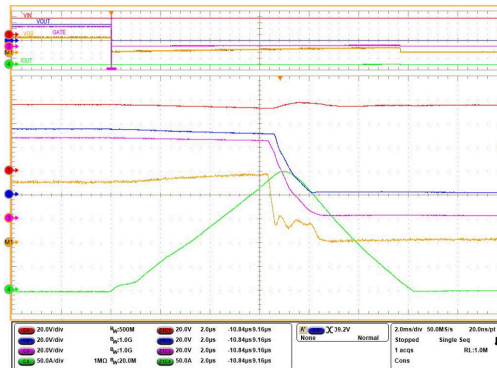


图 8-20. 输出端热短路 (放大)

8.3 电源相关建议

一般而言，如果 LM5066Hx 行为由稳压性能极佳的电源供电，其工作状态会更稳定。然而，由于相邻卡插入或故障，背板上的高频瞬变并不少见。如果在终端系统中预计会出现这种情况，德州仪器 (TI) 建议在热插拔 MOSFET 的源极附近放置一个接地的 1 μ F 陶瓷电容器。这可降低 VIN_K 与 SENSE 所承受的共模电压。可能需要额外的滤波处理，以避免误跳闸。

8.4 布局

8.4.1 布局指南

设计 LM5066Hx 的 PC 板时，应遵循以下指南：

1. 将 LM5066Hx 放置在靠近电路板输入连接器的位置，以尽可能减小从连接器到 MOSFET 的布线电感。

- 将 TVS Z₁ 直接靠近 LM5066Hx 的 VIN 和 GND 引脚放置, 以帮助尽可能地减少输入电源线上可能出现的电压瞬变。选择 TVS 时应确保峰值 V_{IN} 略低于 TVS 反向偏置电压。当负载电流关闭时, 很容易在标称输入电压基础上出现 20V 或更高的瞬变电压。德州仪器 (TI) 建议通过对负载进行限流或短路操作, 并测量输入电压瞬变峰值, 以此测试电路的 VIN 瞬变性能。
- 将 1μF 陶瓷电容器放置在尽可能靠近 VREF 引脚的位置。
- 将 1μF 陶瓷电容器放置在尽可能靠近 VDD 引脚的位置。
- 检测电阻 (R_{SNS}) 应靠近 LM5066Hx 放置。应使用布线将检测电阻的 VIN 焊盘和 Q₁ 焊盘分别连接至 VIN_K 和 SENSE 引脚。使用开尔文技术连接 R_{SNS}, 如 图 8-22 所示。
- 为最大限度减小环路电感, 从板输入到负载的大电流路径 (通过 Q₁) 以及返回路径应相互平行且彼此靠近。
- AGND 和 GND 连接应在该器件的引脚上连接。LM5066Hx 周围各种元件的接地连接应直接相互连接, 并连接至 LM5066Hx 的 GND 和 AGND 引脚连接, 然后在某处连接至系统接地。请勿通过大电流接地线将各种元件接地相互连接。
- 为串联导通器件 (Q₁) 提供足够的散热, 以帮助降低导通和关断期间的应力。
- 电路板的边缘连接器可按如下方式设计: 使 LM5066Hx 能通过 UVLO/EN 引脚检测到电路板已被移除, 并通过在电源电压断开之前关闭负载进行响应。例如, 在 中, 由于使用了较短的边缘连接器引脚, 在从 LM5066Hx 上移除 V_{IN} 之前, UVLO/EN 引脚上的电压会接地。当电路板插入边缘连接器时, 在 UVLO 电压升高之前, 系统电压会施加到 LM5066Hx 的 VIN 引脚上, 从而使 LM5066Hx 能够以受控的方式打开输出。

8.4.2 布局示例

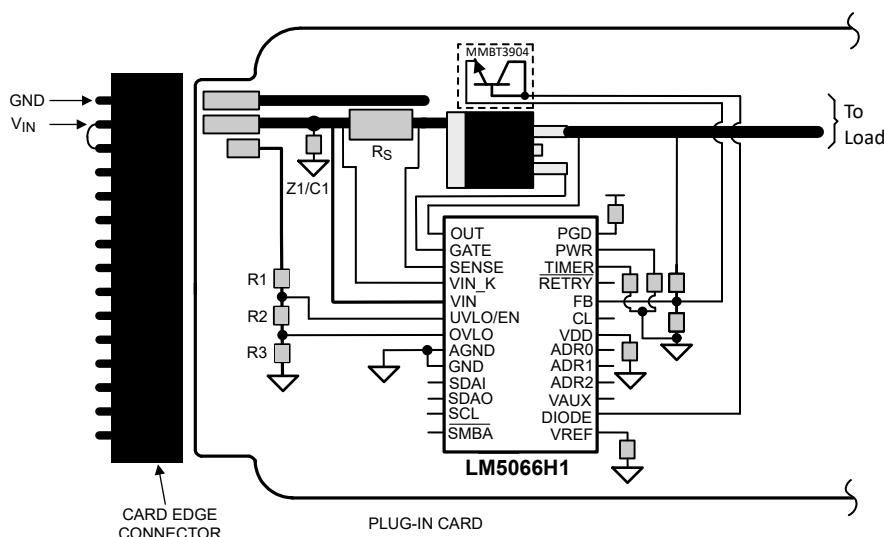


图 8-21. 建议的电路板连接器设计

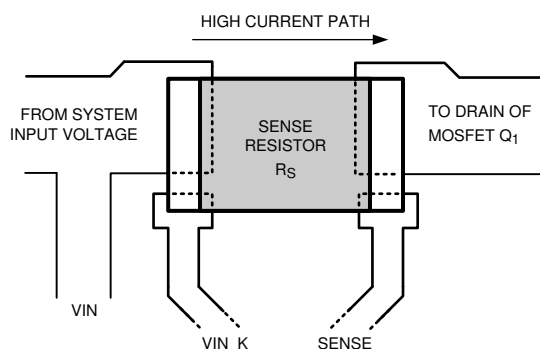


图 8-22. 检测电阻连接

9 器件和文档支持

9.1 第三方产品免责声明

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

9.2 接收文档更新通知

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

9.3 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](#)。

9.4 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。

9.5 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。

9.6 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。

10 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 2025) to Revision A (December 2025)	Page
• 将“预告信息”更改为“量产数据”	1

11 机械、封装和可订购信息

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

PACKAGING INFORMATION

Orderable part number	Status (1)	Material type (2)	Package Pins	Package qty Carrier	RoHS (3)	Lead finish/ Ball material (4)	MSL rating/ Peak reflow (5)	Op temp (°C)	Part marking (6)
LM5066H1PWPR	Active	Production	HTSSOP (PWP) 28	2500 LARGE T&R	Yes	NIPDAU	Level-3-260C-168 HR	-40 to 125	L5066H1

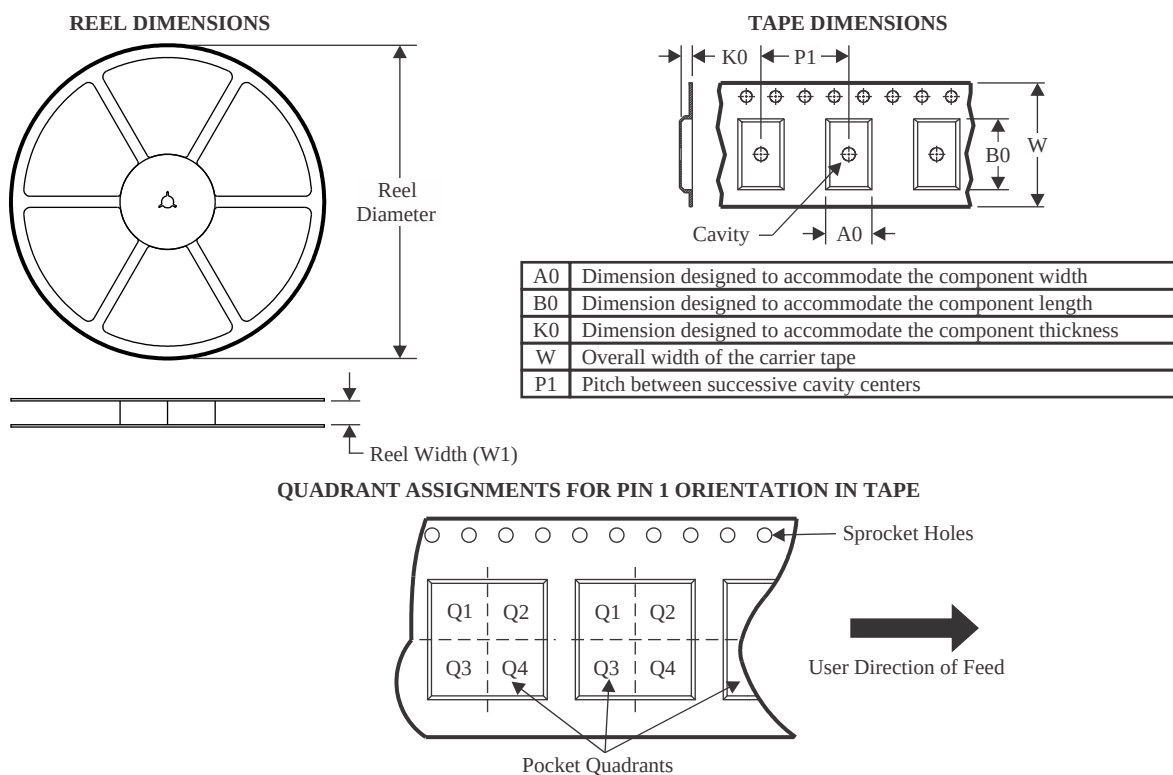
- (1) **Status:** For more details on status, see our [product life cycle](#).
- (2) **Material type:** When designated, preproduction parts are prototypes/experimental devices, and are not yet approved or released for full production. Testing and final process, including without limitation quality assurance, 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.

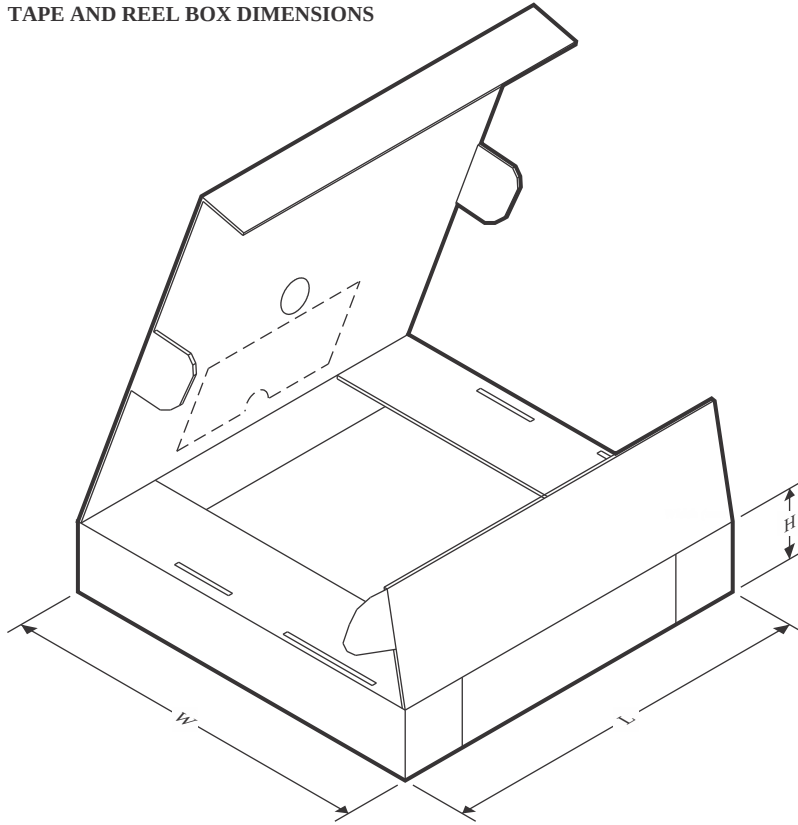
TAPE AND REEL INFORMATION



*All dimensions are nominal

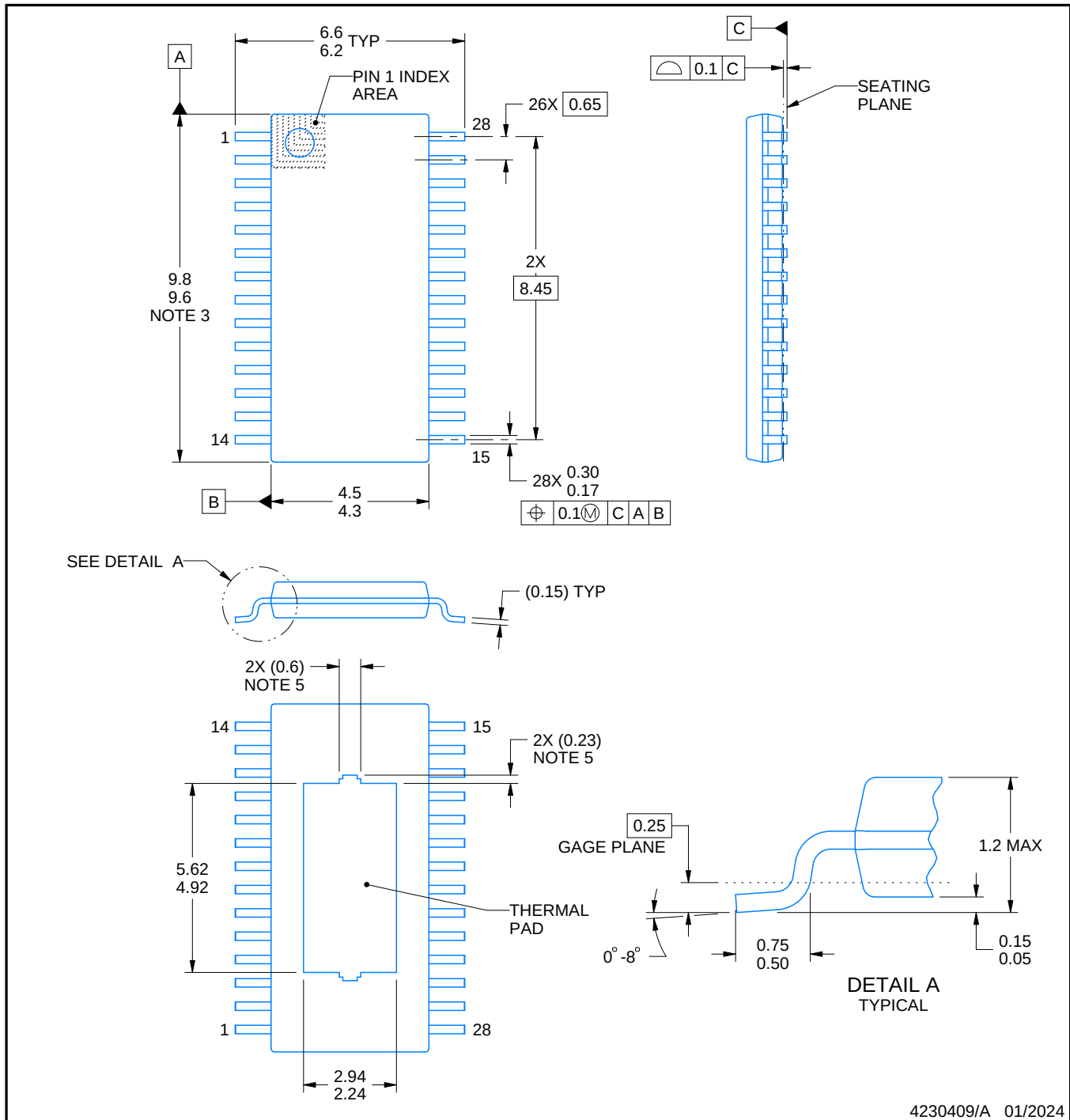
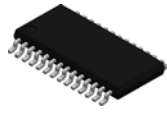
Device	Package Type	Package Drawing	Pins	SPQ	Reel Diameter (mm)	Reel Width W1 (mm)	A0 (mm)	B0 (mm)	K0 (mm)	P1 (mm)	W (mm)	Pin1 Quadrant
LM5066H1PWPR	HTSSOP	PWP	28	2500	330.0	16.4	6.75	10.1	1.8	12.0	16.0	Q1

TAPE AND REEL BOX DIMENSIONS



*All dimensions are nominal

Device	Package Type	Package Drawing	Pins	SPQ	Length (mm)	Width (mm)	Height (mm)
LM5066H1PWPR	HTSSOP	PWP	28	2500	353.0	353.0	32.0



4230409/A 01/2024

NOTES:

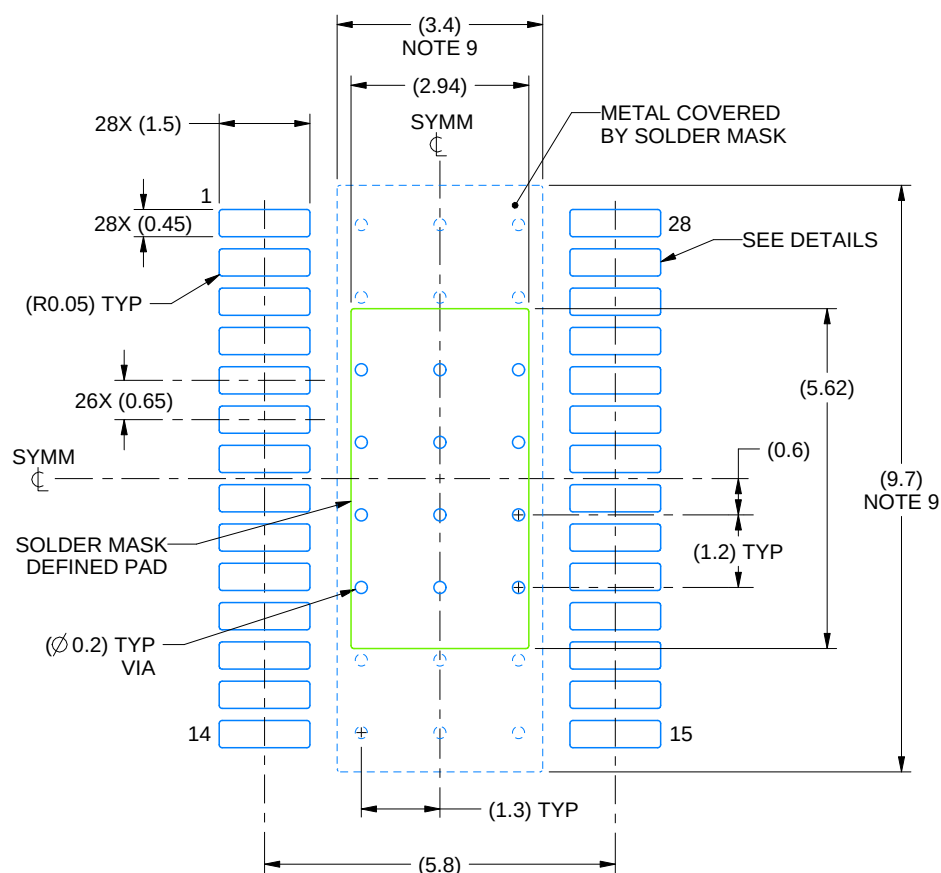
PowerPAD is a trademark of Texas Instruments.

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.

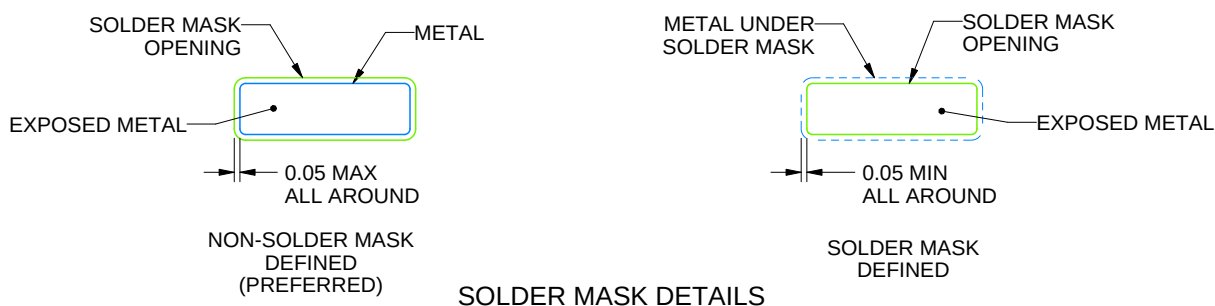
PWP0028V

PowerPAD™ TSSOP - 1.2 mm max height

SMALL OUTLINE PACKAGE



LAND PATTERN EXAMPLE
EXPOSED METAL SHOWN
SCALE: 8X



4230409/A 01/2024

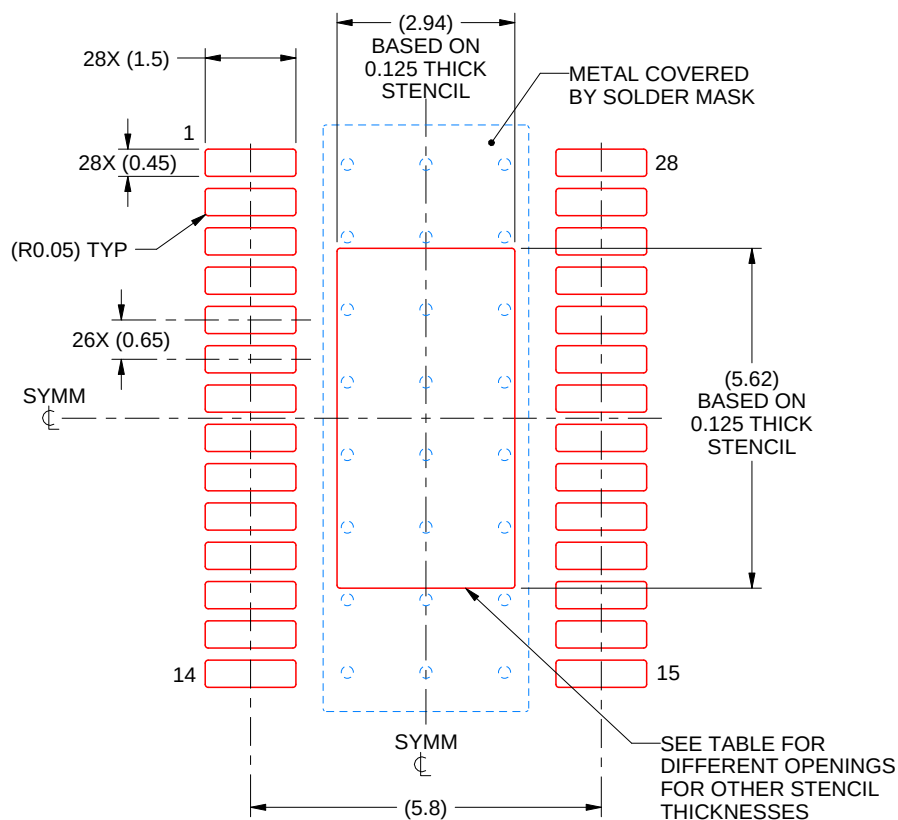
NOTES: (continued)

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.

PWP0028V

PowerPAD™ TSSOP - 1.2 mm max height

SMALL OUTLINE PACKAGE



SOLDER PASTE EXAMPLE
BASED ON 0.125 mm THICK STENCIL
SCALE: 8X

STENCIL THICKNESS	SOLDER STENCIL OPENING
0.1	3.29 X 6.28
0.125	2.94 X 5.62 (SHOWN)
0.15	2.68 X 5.13
0.175	2.48 X 4.75

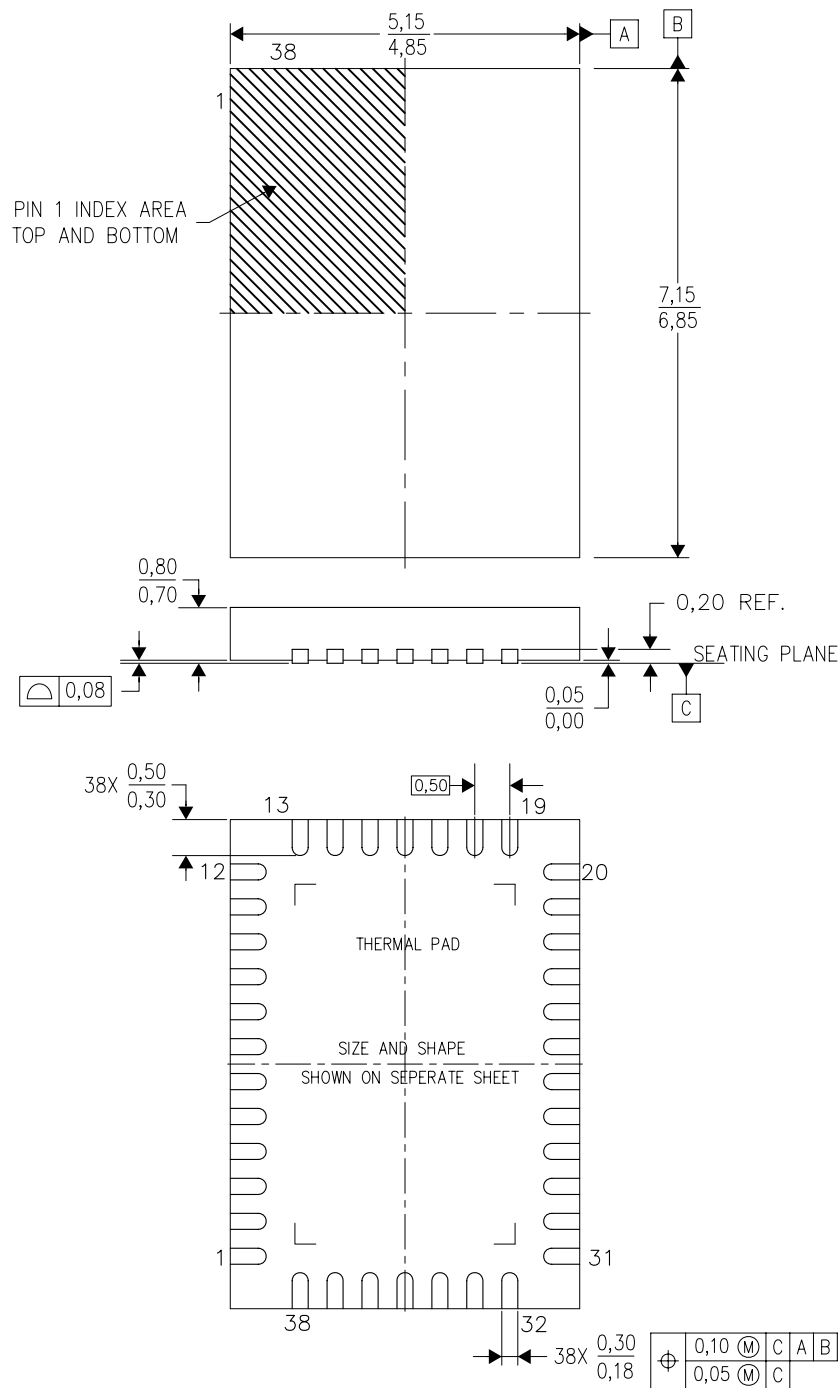
4230409/A 01/2024

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.

RLJ (R-PWQFN-N38)

PLASTIC QUAD FLATPACK NO-LEAD



4212454/A 01/12

- NOTES:
- A. All linear dimensions are in millimeters. Dimensioning and tolerancing per ASME Y14.5-1994.
 - B. This drawing is subject to change without notice.
 - C. Quad Flatpack, No-leads (QFN) package configuration.
 - D. The package thermal pad must be soldered to the board for thermal and mechanical performance.
 - E. See the additional figure in the Product Data Sheet for details regarding the exposed thermal pad features and dimensions.
 - F. Falls within JEDEC MO-220.

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