

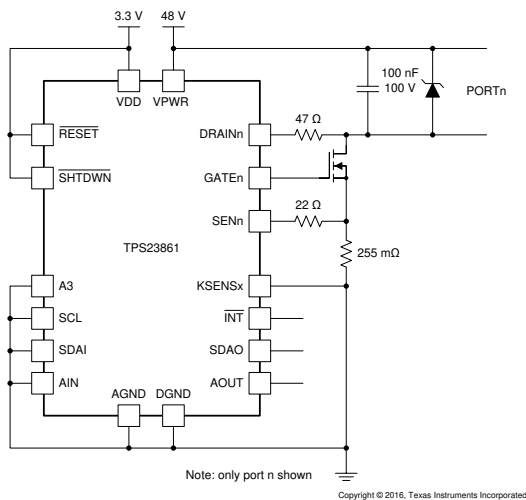
TPS23861 IEEE 802.3at 四端口以太网供电 PSE 控制器

1 特性

- IEEE 802.3at 四端口 PSE 控制器
 - 自动检测，分级
 - 自动打开和断开
 - 高效 255mΩ 感测电阻器
- 引脚排列可实现双层 PCB
- 开尔文电流检测
- 4 点检测
- 自动模式 — 出厂时
 - 无需外部端接设置
 - 无需初始 I²C 通信
- 半自动模式 — 通过 I²C 命令设置
 - 连续识别和分级
 - 符合 IEEE 400ms T_{PON} 规范
 - 快速端口关断输入
 - 与系统参考代码 <http://www.ti.com/product/TPS23861/toolssoftware> 结合使用时，运行效果最佳
- 可选的 I²C 控制和监控
- 温度范围为 -40°C 至 125°C
- TSSOP 28 封装 9.8mm x 6.6mm

2 应用

- 以太网交换机和路由器
- 监控 NVR 和 DVR
- 住宅网关
- PoE 直通系统
- 无线回程



简化版原理图

3 说明

TPS23861 是一款易于使用、灵活且符合 IEEE802.3at 标准的 PSE 解决方案。出厂时，它会自动管理四个 802.3at 端口，而无需任何外部控制。

TPS23861 会自动检测具备有效特征的供电设备 (PD)，根据分级确定电源要求，并施加电源。针对类型 2 PD 支持两事件分级。TPS23861 支持直流断开，外部 FET 架构允许设计人员平衡尺寸、效率和解决方案成本要求。

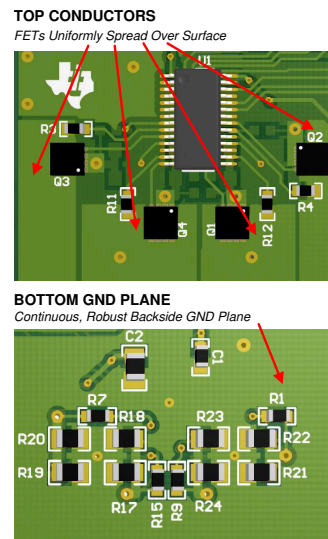
独特的引脚排列可以通过逻辑分组以及 I²C 和电源引脚的上下差异实现 2 层 PCB 设计。这可提供出色的热性能、开尔文精度及低构建成本。

除了自动运行外，TPS23861 还通过 I²C 控制支持半自动模式，从而实现精密监控和智能电源管理。无论是半自动模式还是自动模式，都能确保符合 400ms T_{PON} 规格。

器件信息(1)

器件型号	封装	封装尺寸
TPS23861	TSSOP (28)	9.80mm x 6.60mm

- (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	6.5 寄存器映射 - I²C-可寻址	43
2 应用	1	7 应用和实施	84
3 说明	1	7.1 PoE 简介.....	84
4 引脚配置和功能	3	7.2 应用信息.....	84
5 规格	5	7.3 典型应用.....	86
5.1 绝对最大额定值.....	5	7.4 系统示例.....	92
5.2 ESD 等级.....	5	7.5 电源相关建议.....	95
5.3 建议运行条件.....	5	7.6 布局.....	96
5.4 热性能信息.....	6	8 器件和文档支持	98
5.5 电气特性.....	6	8.1 文档支持.....	98
5.6 时序要求.....	10	8.2 接收文档更新通知.....	98
5.7 开关特性.....	11	8.3 支持资源.....	98
5.8 典型特性.....	15	8.4 商标.....	98
6 详细说明	19	8.5 静电放电警告.....	98
6.1 概述.....	19	8.6 术语表.....	98
6.2 功能方框图.....	23	9 Revision History	98
6.3 特性说明.....	23	10 机械、封装和可订购信息	98
6.4 器件功能模式.....	38		

4 引脚配置和功能

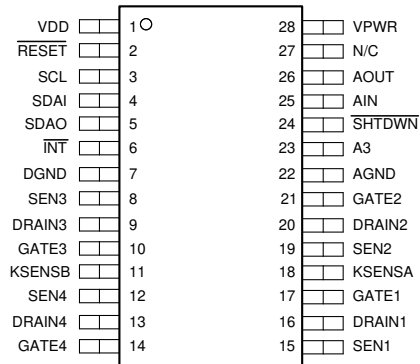


图 4-1. PW 封装 28 引脚 TSSOP (顶视图)

表 4-1. 引脚功能

引脚		I/O	说明
名称	编号		
A3	23	I	I ² C A3 地址线。内部上拉至 VDD。
AGND	22	P	模拟地。
AIN	25	I	I ² C 地址编程输入线路；该引脚在内部上拉至 VDD。
AOUT	26	O	I ² C 地址编程线；此输出为漏极开路。
DGND	7	P	数字地。
DRAIN3	9	I	端口 1-4 输出电压监测器；通过 47 Ω 电阻器连接至输出端口。
DRAIN4	13	I	
DRAIN1	16	I	
DRAIN2	20	I	
GATE3	10	O	端口 1-4 栅极驱动输出。
GATE4	14	O	
GATE1	17	O	
GATE2	21	O	
INT	6	O	中断；当中断寄存器中的某一位被置位时，该引脚置为低电平。该引脚在 I ² C 事务之间更新。此输出为漏极开路。
KSENSA	18	I	SEN1 和 SEN2 的开尔文点连接。
KSENSB	11	I	SEN3 和 SEN4 的开尔文点连接。
N/C	27	x	用于实现调节电压间距合规性。让该引脚保持开路。
RESET	2	I	复位；置为低电平时，器件复位。此引脚在内部上拉至 VDD。
SCL	3	I	I ² C 总线的串行时钟输入。
SDAI	4	I	I ² C 总线的串行数据输入。此引脚可连接到非隔离式系统或具有双向 I ² C 隔离器的系统的 SDAO。
SDAO	5	O	I ² C 总线的串行数据输出。此引脚可连接到非隔离式系统或具有双向 I ² C 隔离器的系统的 SDAI。此输出为漏极开路。
SEN3	8	I	端口 1-4 电流检测输入；通过 22 Ω 电阻器连接至电流检测电阻器。
SEN4	12	I	
SEN1	15	I	
SEN2	19	I	
SHTDWN	24	I	低优先级端口关闭。
VDD	1	P	数字 3.3V 电源。使用 0.1 μF 电容器将 VDD 旁路至 DGND。

表 4-1. 引脚功能 (续)

引脚		I/O	说明
名称	编号		
VPWR	28	P	模拟 48V 电源。使用 0.1 μ F 电容器将 VPWR 旁路至 AGND。

5 规格

5.1 绝对最大额定值

在自然通风条件下的工作温度范围内，且电压以连接在一起的 DGND 和 AGND 为基准（除非另有说明）⁽¹⁾

		最小值	最大值	单位
输入电压	VPWR	-0.3	70	V
输入电压	VDD	-0.3	4	V
电压	AGND	-0.3	0.3	V
电压	SDAI、SDAO ⁽³⁾ 、SCL、AIN、AOUT、SHTDWN、RESET、INT、A3 ⁽³⁾	-0.3	4	V
输出电压	GATE1-4 ⁽²⁾⁽⁴⁾	-0.3	13	V
输入电压	SEN1-4 ⁽⁶⁾ 、KSENSA、KSENSB	-0.3	3	V
电压	DRAIN1-4 ⁽³⁾⁽⁵⁾	-0.3	70	V
电压	N/C 引脚	0	70	V
灌电流	INT、SDAO		20	mA
从距离外壳 1.6mm (1/16 英寸) 处并且测量时间超过 10 秒的焊接温度			260	°C
存储温度范围，T _{stg}		-65	150	°C

- (1) 超出绝对最大额定值运行可能会对器件造成永久损坏。绝对最大额定值并不表示器件在这些条件下或在建议运行条件以外的任何其他条件下能够正常运行。如果超出建议运行条件但在绝对最大额定值范围内使用，器件可能不会完全正常运行，这可能影响器件的可靠性、功能和性能并缩短器件寿命。
- (2) 并不意味着施加电压 - 这些引脚是内部驱动的引脚。
- (3) 不要直接施加外部电压源。
- (4) 如果漏极和栅极之间短路，GATE 引脚可能会在内部永久断开，以防止级联损坏。其他三个端口将继续运行。
- (5) 允许高达 80V 的短瞬变 (μ s 范围)。
- (6) SEN1-4 将承受 15V 瞬态电压，以避免在 MOSFET 发生短路故障时发生传播故障。

5.2 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 ⁽¹⁾	±2000	V
	充电器件模型 (CDM)，符合 JEDEC 规范 JESD22-C101 ⁽²⁾	±500	V

- (1) JEDEC 文档 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 时能够在标准 ESD 控制流程下安全生产。

5.3 建议运行条件

在自然通风条件下的工作温度内，且电压以 DGND 为基准（除非另有说明）

		最小值	标称值	最大值	单位
V _{VDD}		3.0	3.3	3.6	V
V _{VPWR}		44	48	57	V
	DRAIN1-4 上的电压摆率			1	V/ μ s
T _J	工作结温	-40		125	°C
T _A	自然通风条件下的工作温度	-40		85	°C

5.4 热性能信息

热指标 ⁽¹⁾		TPS23861	单位
		PW (TSSOP)	
		28 引脚	
$R_{\theta JA}$	结至环境热阻	70.9	°C/W
$R_{\theta JC(top)}$	结至外壳 (顶部) 热阻	16.2	°C/W
$R_{\theta JB}$	结至电路板热阻	28.2	°C/W
ψ_{JT}	结至顶部特征参数	0.6	°C/W
ψ_{JB}	结至电路板特征参数	27.8	°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。

5.5 电气特性

$-40 \leq T_J \leq +125^\circ\text{C}$ 、 $V_{DD} = 3.3\text{V}$ 、 $V_{VPWR} = 48\text{V}$ 、 $V_{DGND} = V_{AGND}$ 、 $DGND$ 、 $KSENSA$ 和 $KSENSB$ 连接至 $AGND$, 且所有输出均卸载, $PoEPn = 0$, 正电流流入引脚, $R_S = 0.255\Omega$, 至 $KSENSA$ (SEN1 或 SEN2) 或至 $KSENSB$ (SEN3 或 SEN4), $R_{SENS} = 22\Omega$, $R_{DRAIN} = 47\Omega$, 典型值为 25°C 。所有电压均以 $AGND$ 为基准, 工作寄存器加载默认值 (除非另有说明)

参数	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
输入电源 VPWR					
I_{VPWR}	VPWR 电流消耗	$V_{VPWR} = 57\text{V}$	3.5	7	mA
V_{UVLOPW_F}	VPWR UVLO 下降阈值	内部振荡器停止运行	14.5	17.5	V
V_{PUV_F}	VPWR 欠压下降阈值	用于端口置为无效的 V_{PUV}	25	26.5	V
V_{UVLOPW_R}	VPWR UVLO 上升阈值		15.5	18.5	V
输入电源 VDD					
I_{VDD}	VDD 电流消耗		5	6	mA
V_{UVDD_F}	VDD UVLO 下降阈值	允许端口关闭	2	2.2	V
V_{UVDD_R}	VDD UVLO 上升阈值		2.4	2.6	V
V_{UVDD_HYS}	迟滞 VDD UVLO ⁽¹⁾		0.4		V
检测					
I_{DET}	检测电流	第一个检测点, $V_{VPWR} - V_{DRAINn} = 0\text{V}$	145	160	190
		第 2 个检测点, $V_{VPWR} - V_{DRAINn} = 0\text{V}$	235	270	300
		高电流检测点, $V_{VPWR} - V_{DRAINn} = 0\text{V}$	490	540	585
ΔI_{DET}	第 2 次 - 第 1 次检测电流	在 $V_{VPWR} - V_{DRAINn} = 0\text{V}$ 时	98	110	118
V_{detect}	开路检测电压	$V_{VPWR} - V_{DRAINn}$	17.5	19	22
R_{REJ_LOW}	拒绝电阻低范围		0.85	15	k Ω
R_{REJ_HI}	拒绝电阻高范围		33	50	k Ω
R_{ACCEPT}	接受电阻范围		19	25	k Ω
R_{SHORT}	短接端口阈值			350	Ω
R_{OPEN}	开放端口阈值		55		k Ω
分级					
V_{CLASS}	分级电压	$V_{VPWR} - V_{DRAINn}$, $V_{SENn} \geq 0\text{mV}$, $I_{port} \geq 180\mu\text{A}$,	15.5	18.5	20.5
I_{CLASS_Lim}	分级电流限制	$V_{VPWR} - V_{DRAINn} = 0\text{V}$	70	90	mA

5.5 电气特性 (续)

$-40 \leq T_J \leq +125^\circ\text{C}$ 、 $V_{DD} = 3.3\text{V}$ 、 $V_{PWR} = 48\text{V}$ 、 $V_{DGND} = V_{AGND}$ 、 $DGND$ 、 $KSENSE$ 和 $KSENSB$ 连接至 $AGND$ ，且所有输出均卸载， $PoEPn = 0$ ，正电流流入引脚， $R_S = 0.255\Omega$ ，至 $KSENSE$ ($SEN1$ 或 $SEN2$) 或至 $KSENSB$ ($SEN3$ 或 $SEN4$)， $R_{SENS} = 22\Omega$ ， $R_{DRAIN} = 47\Omega$ ，典型值为 25°C 。所有电压均以 $AGND$ 为基准，工作寄存器加载默认值 (除非另有说明)

参数	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
I_{CLASS_TH} 分级阈值电流	0-1 级	5		8	mA
	1-2 级	13		16	mA
	2-3 级	21		25	mA
	3-4 级	31		35	mA
	4 级过流	45		51	mA
V_{MARK} 标记电压	$4\text{mA} \geq I_{port} \geq 180\mu\text{A}$ ， $V_{PWR} - V_{DRAINn}$	7		10	V
I_{MARK_Lim} 标记灌电流限制	$V_{PWR} - V_{DRAINn} = 0\text{V}$	10	70	90	mA
GATE					
V_{GOH} 栅极驱动电压	V_{GATEn} ， $I_{GATE} = -1\mu\text{A}$	10		12.5	V
I_{GO-} 上电复位、检测到关断或端口关断命令时的栅极灌电流	$V_{GATEn} = 5\text{V}$	80	100		mA
$I_{GO\ short-}$ 端口短路时的栅极灌电流	$V_{GATEn} = 5\text{V}$ ， $V_{SENn} \geq V_{SHORT}$ (如果是 $2x$ 模式，则为 $V_{SHORT2X}$)	80	100	150	mA
I_{GO+} 栅极拉电流	$V_{GATEn} = 0\text{V}$ ， $I_{GATE} = 0$	39	50	63	μA
	$I_{GATE} = 1$	18	25	34	μA
DRAIN INPUT					
V_{PGT} 电源正常阈值	在 V_{DRAINn} 测得	1.0	2.13	3	V
V_{SHT} 短接 FET 阈值	在 V_{DRAINn} 测得	4	6	8	V
R_{DRAIN} 从 $DRAINn$ 到 $VPWR$ 的电阻	除检测期间或端口导通时的任何运行模式，包括器件复位状态	80	100	190	$k\Omega$
I_{DRAIN} $DRAINn$ 引脚偏置电流	$V_{DRAINn} = 48\text{V}$ ，端口关断 (未检测到)			1	μA
	$V_{PWR} - V_{DRAINn} = 30\text{V}$ ，端口开启		75	100	μA
A/D 转换器					
T_{CONV} 转换时间，A/D #1 至 4	所有范围，每个端口电流	0.65	0.8	1	ms
$A_{DCBW}^{(1)}$ ADC 积分带宽 (-3dB) ⁽¹⁾			320		Hz
T_{INT_CUR} 积分 (平均) 时间，电流	每个端口，端口开启电流	80	100	125	ms
T_{INT_DET} 积分 (平均) 时间，检测 ⁽¹⁾	MAINS 位 = 0			20	ms
受电端口电压转换比例因子和精度	在 $V_{PWR} - V_{DRAINn} = 57\text{V}$ 时， 0°C 至 125°C	15175	15565	15955	计数
	在 $V_{PWR} - V_{DRAINn} = 44\text{V}$ 时， 0°C 至 125°C	11713	12015	12316	计数
	在 $V_{PWR} - V_{DRAINn} = 57\text{V}$ 时， -40°C 至 125°C	15020	15565	16110	计数
	在 $V_{PWR} - V_{DRAINn} = 44\text{V}$ 时， -40°C 至 125°C	11594	12015	12436	计数
受电端口电流转换比例因子和精度	在端口电流 = 770mA 时	12300	12616	12932	计数
	在端口电流 = 7.5mA 时	90	123	156	计数
输入电压转换比例因子和精度	在 $V_{PWR} = 57\text{V}$ 时	15175	15565	15955	计数
	在 $V_{PWR} = 44\text{V}$ 时	11713	12015	12316	计数
V_{OS} 受电端口电压转换偏移	在 $V_{PWR} - V_{DRAINn} = 0.3\text{V}$ 时	0		600	mV

5.5 电气特性 (续)

$-40 \leq T_J \leq +125^\circ\text{C}$ 、 $V_{DD} = 3.3\text{V}$ 、 $V_{PWR} = 48\text{V}$ 、 $V_{DGND} = V_{AGND}$ 、 $DGND$ 、 $KSENSE$ 和 $KSENSB$ 连接至 $AGND$ ，且所有输出均卸载， $PoEPn = 0$ ，正电流流入引脚， $R_S = 0.255\ \Omega$ ，至 $KSENSE$ ($SEN1$ 或 $SEN2$) 或至 $KSENSB$ ($SEN3$ 或 $SEN4$)， $R_{SENS} = 22\ \Omega$ ， $R_{DRAIN} = 47\ \Omega$ ，典型值为 25°C 。所有电压均以 $AGND$ 为基准，工作寄存器加载默认值 (除非另有说明)

参数	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
δ_V/V_{PORT} 电压读数精度	44V 至 57V， -40°C 至 125°C	-3.5%		3.5%	
	44V 至 57V， 0°C 至 125°C	-2.5%		2.5%	
δ_I/I_{port} 电流读数精度	在 50mA 至 770mA 时	-2.5%		2.5%	
端口电流检测					
V_{CUT} I_{CUT} 限制	$V_{DRAINn} = 0\text{V}$ ， I_{CUT} 端口 n[2:0] = 000，默认值	90.60	95.37	100.14	mV
	$V_{DRAINn} = 0\text{V}$ ， I_{CUT} 端口 n[2:0] = 001	26.65	28.05	29.45	mV
	$V_{DRAINn} = 0\text{V}$ ， I_{CUT} 端口 n[2:0] = 010	49.42	52.02	54.62	mV
	$V_{DRAINn} = 0\text{V}$ ， I_{CUT} 端口 n[2:0] = 110	156.27	164.5	172.72	mV
	$V_{DRAINn} = 0\text{V}$ ， I_{CUT} 端口 n[2:0] = 111	222.87	234.6	246.33	mV
$\delta_{I_{CUT}}/I_{CUT}$ I_{CUT} 容差		-5%		5%	
V_{INRUSH} I_{Inrush} 限制	在端口开启时， $V_{PWR} - V_{DRAINn} = 1\text{V}$	10	23	31	mV
	$V_{PWR} - V_{DRAINn} = 10\text{V}$	20	33	46	mV
	$V_{PWR} - V_{DRAINn} = 30\text{V}$	102		114.7	mV
	$V_{PWR} - V_{DRAINn} = 55\text{V}$	102		114.7	mV
V_{LIM} $PoEPn = 0$ 时的 I_{LIM} 限制	$V_{DRAINn} = 1\text{V}$	102		114.7	mV
	$V_{DRAINn} = 13\text{V}$	102		114.7	mV
	$V_{DRAINn} = 30\text{V}$	15	23	31	mV
	$V_{DRAINn} = 48\text{V}$	15	23	31	mV
V_{LIM2X} $PoEPn = 1$ 时的 I_{LIM} 限制	$V_{DRAINn} = 1\text{V}$	260	270.3	285	mV
	$V_{DRAINn} = 10\text{V}$	127	140	153	mV
	$V_{DRAINn} = 30\text{V}$	15	23	31	mV
	$V_{DRAINn} = 48\text{V}$	15	23	31	mV
V_{SHORT} $PoEPn = 0$ 时的 I_{SHORT} 阈值	施加脉冲 $2\ \mu\text{s}$ 后 $GATE$ 小于 1V 的阈值	140		183	mV
$V_{SHORT2X}$ $PoEPn = 1$ 时的 I_{SHORT} 阈值		357		408	mV
I_{BIAS} 检测引脚偏置电流	端口导通或在分级期间	-2.25		0	μA
$V_{I(min)}$ 断开阈值	$DCTHn = 00$ ，默认值	1.275		2.55	mV
	$DCTHn = 01$	2.55		5.1	mV
	$DCTHn = 10$	5.1		10.2	mV
	$DCTHn = 11$	8.5		17	mV
$V_{DD} = 3.3\text{V}$ 时的数字接口					
V_{IH} 数字输入高电平		2.1			V
V_{IL} 数字输入低电平				0.9	V
V_{IT_HYS} 输入电压迟滞 (SCL 、 $SDAI$ 、 AIN 、 $A3$ 、 $RESET$ 、 $SHTDWN$)		0.17			V
V_{OL} 数字输出低电平， $SDAO$	$I_{OL} = 9\text{mA}$			0.4	V

5.5 电气特性 (续)

$-40 \leq T_J \leq +125^\circ\text{C}$ 、 $V_{DD} = 3.3\text{V}$ 、 $V_{PWR} = 48\text{V}$ 、 $V_{DGND} = V_{AGND}$ 、 $DGND$ 、 $KSENSA$ 和 $KSENSB$ 连接至 $AGND$ ，且所有输出均卸载， $PoEPn = 0$ ，正电流流入引脚， $R_S = 0.255\ \Omega$ ，至 $KSENSA$ ($SEN1$ 或 $SEN2$) 或至 $KSENSB$ ($SEN3$ 或 $SEN4$)， $R_{SENS} = 22\ \Omega$ ， $R_{DRAIN} = 47\ \Omega$ ，典型值为 25°C 。所有电压均以 $AGND$ 为基准，工作寄存器加载默认值 (除非另有说明)

参数	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
数字输出低电平， $\overline{INT}$	$I_{OL} = 3\text{mA}$			0.4	V
R_{pullup} 连接至 V_{DD} 的上拉电阻器	$RESET$ ， AIN ， $A3$ ， $SHTDWN$	30	50	80	$k\Omega$
AOUT 输出					
V_{OL_AOUT} AOUT 输出低电压	在从器件地址编程期间， $I_{AOUT} = 1\text{mA}$			0.7	V
EEPROM (I^2C 从器件地址)					
η_{EE_cyc} EEPROM 耐久性	$40\text{V} < V_{PWR} < 57\text{V}$	25			周期
t_{WC} 写入周期时间 (字节或页)	$40\text{V} < V_{PWR} < 57\text{V}$		10	100	ms
热关断					
T_{SD} 热关断温度	温度上升	143	154	161	$^\circ\text{C}$
迟滞 ⁽¹⁾			8		$^\circ\text{C}$

(1) 提供的这些参数仅供参考，不构成 TI 已发布的规格的一部分用于 TI 产品保修。

5.6 时序要求

- $40 \leq T_J \leq +125^\circ\text{C}$ 、 $V_{DD} = 3.3\text{V}$ 、 $V_{VPPWR} = 48\text{V}$ 、 $V_{DGND} = V_{AGND}$ 、DGND、KSENSA 和 KSENSB 连接至 AGND，且所有输出均卸载， $PoEPn = 0$ ，正电流流入引脚， $R_S = 0.255\ \Omega$ ，至 KSENSA (SEN1 或 SEN2) 或至 KSENSB (SEN3 或 SEN4)， $R_{SENS} = 22\ \Omega$ ， $R_{DRAIN} = 47\ \Omega$ ，典型值为 25°C 。所有电压均以 AGND 为基准，工作寄存器加载默认值（除非另有说明）

		最小值	典型值	最大值	单位
f_{SCL}	SCL 时钟频率	10		400	kHz
t_{LOW}	SCL 时钟的低电平周期	1.3			μs
t_{HIGH}	SCL 时钟的高电平周期	0.6			μs
t_{fo}	SDAO 输出下降时间，SDAO，2.3→0.8V， $C_b = 10\text{pF}$ ，10k Ω 上拉至 3.3V	21		250	ns
	SDAO 输出下降时间，SDAO，2.3→0.8V， $C_b = 400\text{pF}$ ，1.3k Ω 上拉至 3.3V	60		250	ns
C_{I2C}	SCL 电容			10	pF
C_{I2C_SDA}	SDAI、SDAO 电容			6	pF
$t_{SU,DATW}$	数据设置时间（写入操作）	100			ns
$t_{SU,DATR}$	数据建立时间（读取操作），SDAO，2.3↔0.8V， $C_b = 400\text{pF}$ ，1.3k Ω 上拉至 3.3V	600			ns
$t_{HD,DATW}$	数据保持时间（写入操作）	0			ns
$t_{HD,DATR}$	数据保持时间（读取操作）	150		600	ns
t_{rSDA}	SDAI 的输入下降时间，2.3 → 0.8V	20		250	ns
t_{fSDA}	SDAI 的输入上升时间，0.8 → 2.3V	20		300	ns
t_r	SCL 的输入上升时间，0.8 → 2.3V	20		300	ns
t_f	SCL 的输入下降时间，2.3 → 0.8V	20		200	ns
t_{BUF}	停止条件和启动条件之间的总线空闲时间	1.3			μs
t_{HD_STA}	（重复启动）条件后的保持时间	0.6			μs
t_{SU_STA}	重复开始条件建立时间	0.6			μs
t_{SU_STO}	停止条件建立时间	0.6			μs
$t_{FLT_INT}^{(1)}$	INT 置为有效的故障，在内部寄存中断以响应故障的时间		150		μs
t_{ARA_INT}	ARA 至 INT 否定			500	ns
t_{DG}	抑制尖峰脉冲宽度、SDAI 和 SCL	50			ns
t_{RDG}	RESET 输入最小脉冲宽度（抗尖峰脉冲时间）			5	μs
t_{WDT_I2C}	I ² C 看门狗跳闸延迟	1.1	2.2	3.3	s
t_{STP_AOUT}	在 I ² C 地址编程期间将 STOP 位延迟至 A _{OUT} 高电平			1.25	μs

(1) 提供的这些参数仅供参考，不构成 TI 已发布的规格的一部分用于 TI 产品保修。

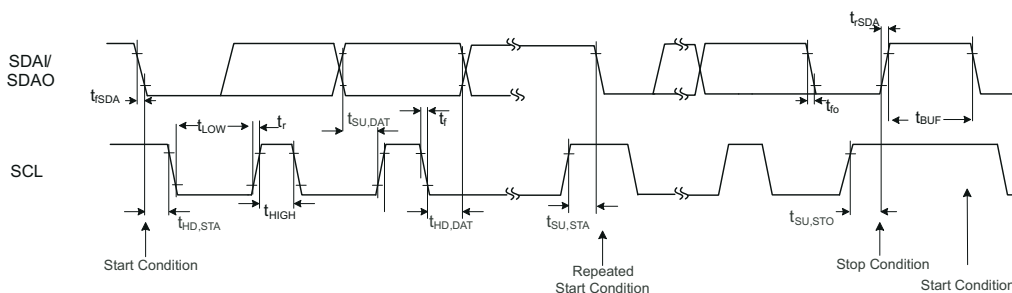


图 5-1. I²C 时序

5.7 开关特性

- $40 \leq T_J \leq +125^\circ\text{C}$ 、 $V_{DD} = 3.3\text{V}$ 、 $V_{VPWR} = 48\text{V}$ 、 $V_{DGND} = V_{AGND}$ 、 $DGND$ 、 $KSENSA$ 和 $KSENSB$ 连接至 $AGND$ ，且所有输出均卸载， $PoEPn = 0$ ，正电流流入引脚， $R_S = 0.255\ \Omega$ ，至 $KSENSA$ ($SEN1$ 或 $SEN2$) 或至 $KSENSB$ ($SEN3$ 或 $SEN4$)， $R_{SENS} = 22\ \Omega$ ， $R_{DRAIN} = 47\ \Omega$ ，典型值为 25°C 。所有电压均以 $AGND$ 为基准，工作寄存器加载默认值（除非另有说明）

参数	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
δ_{Ifault}	发生电流故障时的 I_{PORT} 占空比	5.5%		6.7%	
$t_{OVL D}$	I_{CUT} 时间限制	TICUT = 00，默认为提供		50	70
		TICUT = 01		25	35
		TICUT = 10		100	140
		TICUT = 11		200	280
t_{LIM}	ILIM 时间限制	POEPn = 0，默认为提供		50	70
		POEPn = 1，TLIM = 00		50	70
		POEPn = 1，TLIM = 01		28.4	30
		POEPn = 1，TLIM = 10		14.7	15.5
		POEPn = 1，TLIM = 11		9.025	11.5
t_{START}	端口启动时的最大电流限制持续时间	TSTART = 00，默认为提供		50	70
		TSTART = 01		25	35
		TSTART = 10		100	140
t_{DET}	四点检测持续时间	完成检测的时间		275	500
t_{DET_BOFF}	在检测尝试之间暂停	$V_{VPWR} - V_{DRAINn} > 2.5\text{V}$		300	400
		$V_{VPWR} - V_{DRAINn} < 2.5\text{V}$		0	150
t_{CLE}	持续时间	1 级及 2 级事件、自动模式、半自动模式、检测完成		6.5	13
t_{pdc}	持续时间	1 事件物理层分级时序，自动模式和半自动模式，从检测完成算起		6.5	13
		手动模式，从分级开始算起		6.5	14
t_{ME}	标记持续时间	第 1 和第 2 个标记事件完成，从分级 4 完成算起		6	12
$t_{p(on)}$	端口上电延迟	手动模式，从端口开启命令到端口开启完成			4
t_{ed}	故障延迟时间。由于故障情况导致在断电后下一次尝试为端口供电之前的延迟	ICUT，ILIM 或启动故障，自动模式，半自动模式，CLDN = 0X，默认为提供		0.8	1
		ICUT，ILIM 或启动故障，自动模式，半自动模式，CLDN = 10		1.6	2
		ICUT，ILIM 或启动故障，自动模式，半自动模式，CLDN = 11		3.2	4
t_{MPDO}	PD 维持功率特征压降时间限制	TDIS = 00，默认为提供		300	400
		TDIS = 01		75	100
		TDIS = 10		150	200
		TDIS = 11		600	800
$t_{D_off_SHDWN}$	SHTDWN 输入的栅极关断时间	从 SHTDWN 到 $V_{GATEn} < 1\text{V}$ ， $V_{SENn} = 0\text{V}$		1	5
$t_{P_off_CMD}$	从端口关断命令开始的栅极关闭时间	从端口关断命令到 $V_{GATEn} < 1\text{V}$ ， $V_{SENn} = 0\text{V}$			900

5.7 开关特性 (续)

- 40 ≤ T_J ≤ +125°C、V_{VDD} = 3.3V、V_{VPWR} = 48V、V_{DGND} = V_{AGND}、DGND、KSENSA 和 KSENSB 连接至 AGND，且所有输出均卸载，PoEPn = 0，正电流流入引脚，R_S = 0.255 Ω，至 KSENSA (SEN1 或 SEN2) 或至 KSENSB (SEN3 或 SEN4)，R_{SENS} = 22 Ω，R_{DRAIN} = 47 Ω，典型值为 25°C。所有电压均以 AGND 为基准，工作寄存器加载默认值 (除非另有说明)

参数	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
t _{P_off_RST}	使用 RESET 引脚时的栅极关断时间	从 RESET 低电平到 V _{GATEn} < 1V，V _{SENn} = 0V			μs
t _{D_off_SEN}	SENn 输入的栅极关断时间	POEPn = 0， V _{DRAINn} = 1V，从 V _{SENn} 脉冲至 0.425V			μs
		POEPn = 1， V _{DRAINn} = 1V，从 V _{SENn} 脉冲至 0.62V			μs
t _{POR}	器件上电复位延迟				ms
t _{RESET}	从 RESET 引脚开始的复位持续时间				μs

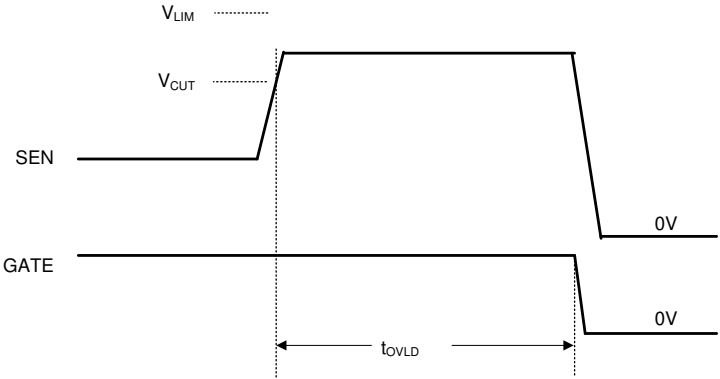


图 5-2. 过流故障时序

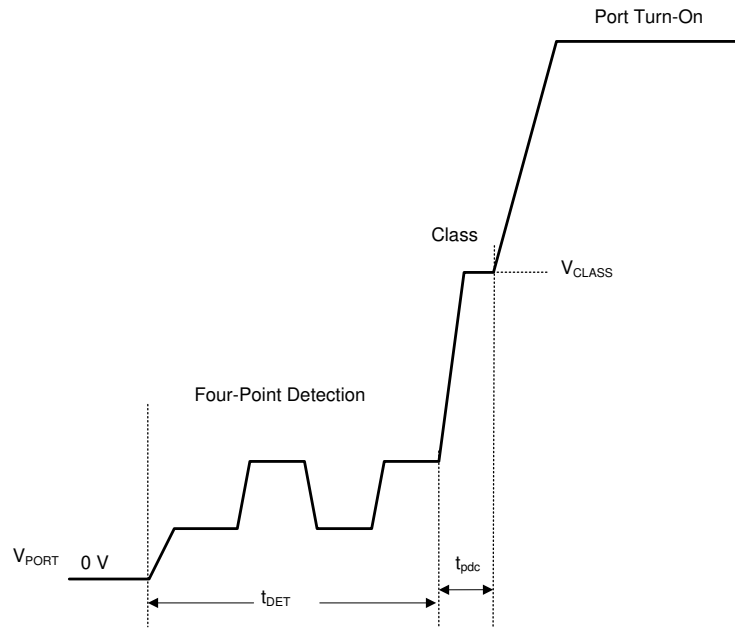


图 5-3. 检测，1 事件分级和开启

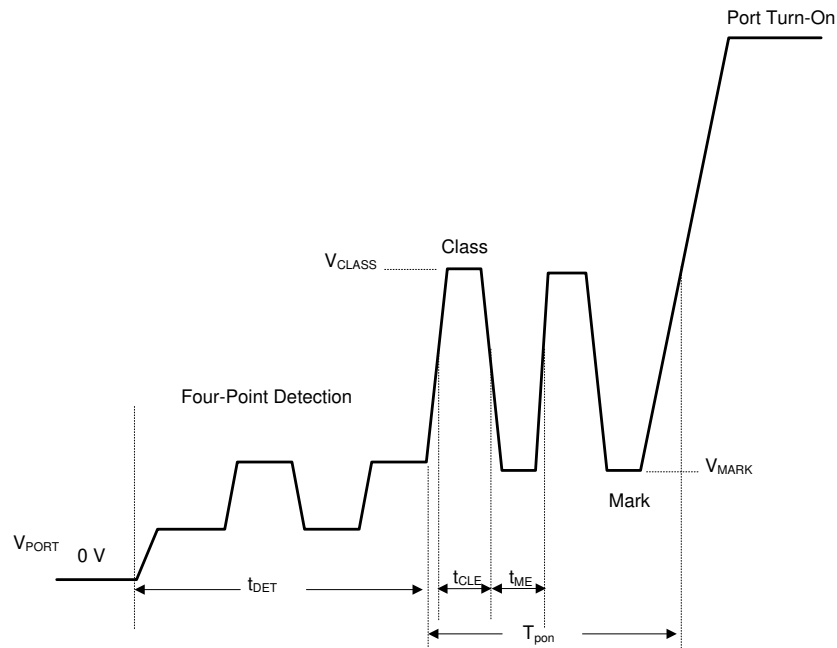
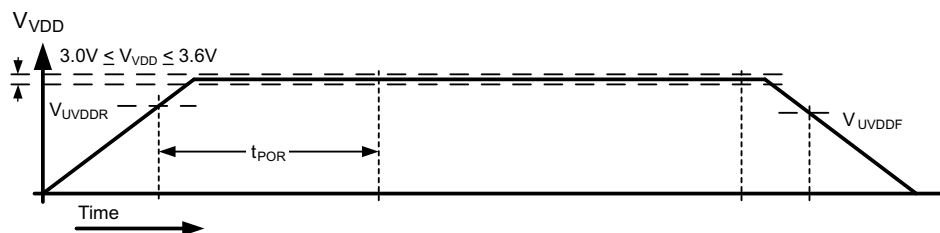
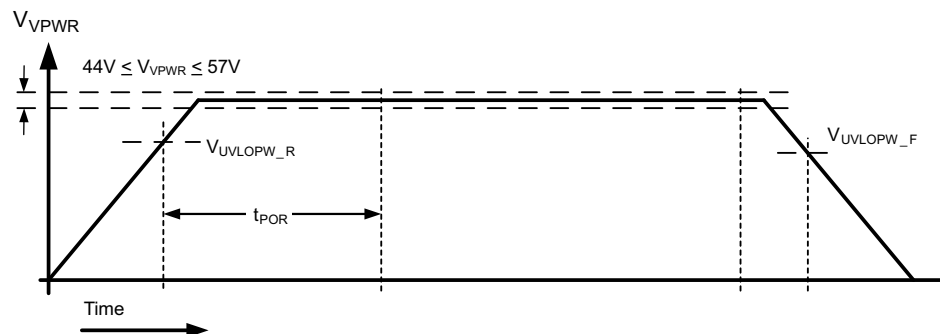


图 5-4. 检测，2 事件分级和开启



有关更多信息，请参阅应用手册，[TPS23861 加电注意事项](#)，[SLVA723](#)。

图 5-5. VDD 上电复位



有关更多信息，请参阅应用手册，[TPS23861 加电注意事项](#)，[SLVA723](#)。

图 5-6. VPWR 上电复位

5.8 典型特性

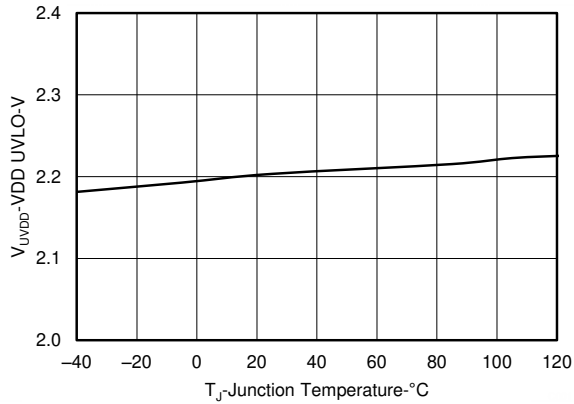


图 5-7. VDD UVLO 与结温间的关系

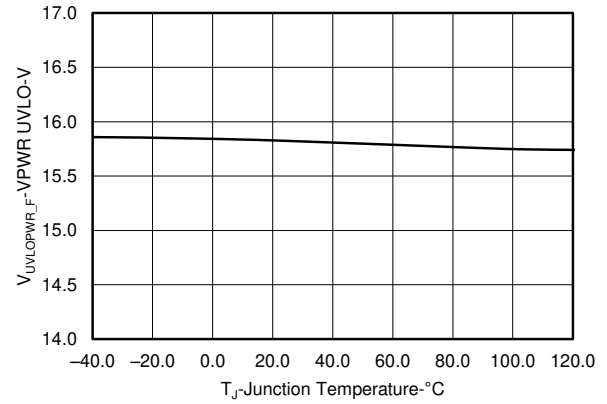


图 5-8. VPWR UVLO 与结温间的关系

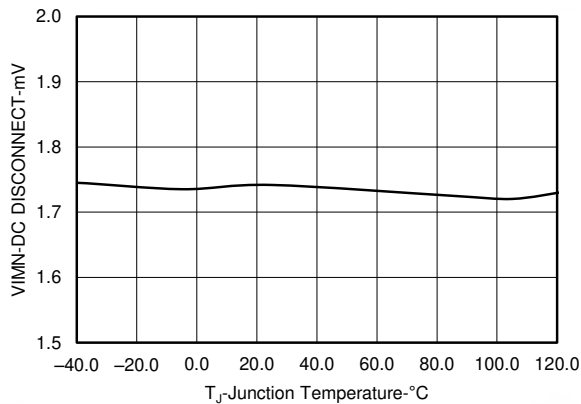


图 5-9. 直流断开与结温间的关系

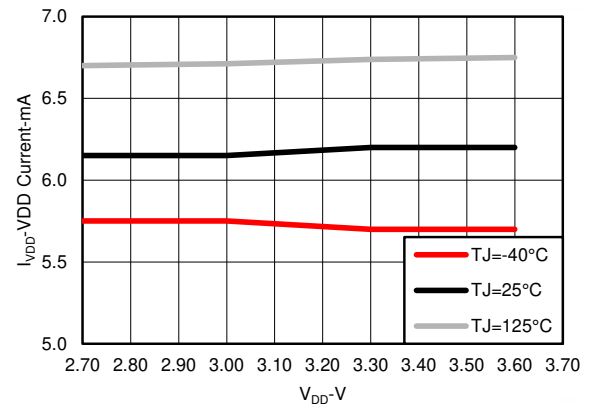


图 5-10. VDD 电流与 VDD 间的关系

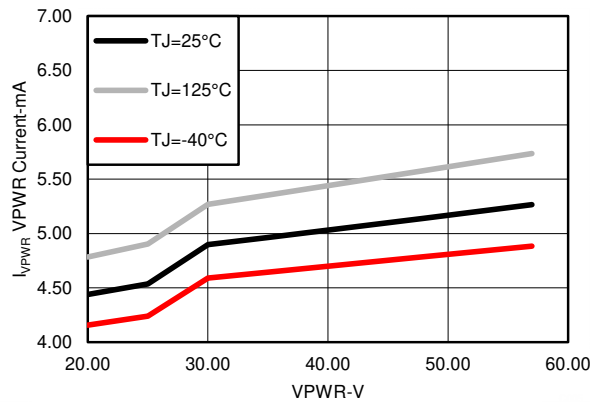


图 5-11. VPWR 电流与 VPWR 间的关系

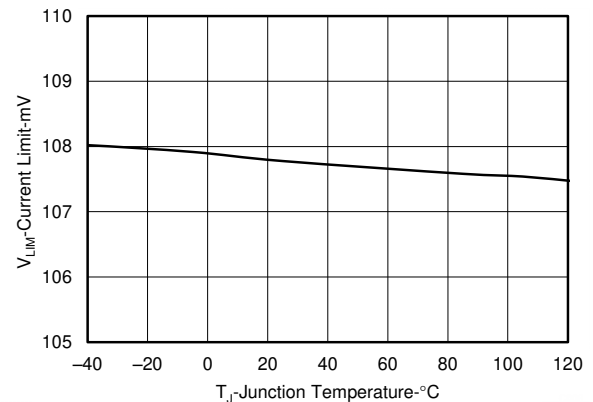


图 5-12. 电流限制 (1x 阈值) 与结温间的关系

5.8 典型特性 (续)

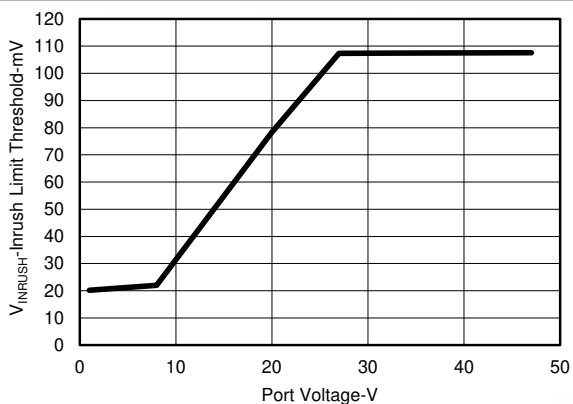


图 5-13. 浪涌电流限制阈值与端口电压间的关系

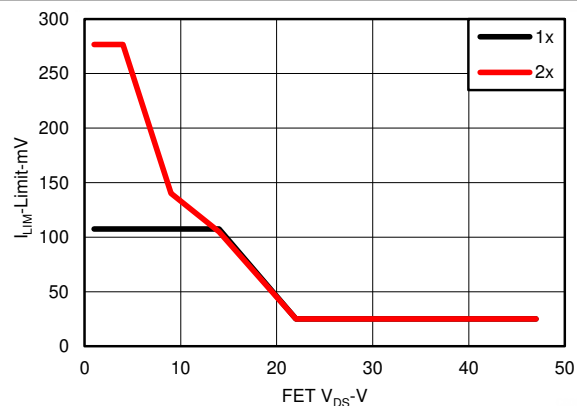


图 5-14. 电流限制阈值与 FET 电压间的关系

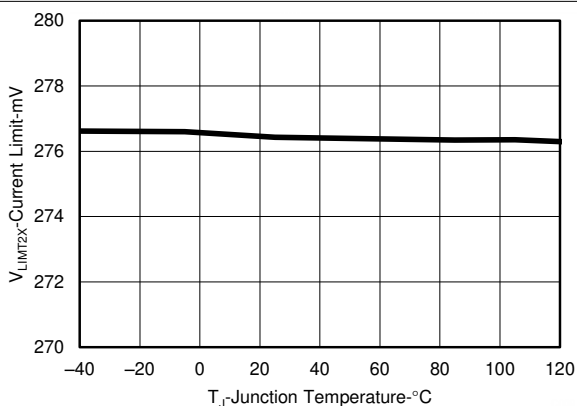


图 5-15. 电流限制 (2x 阈值) 与结温间的关系

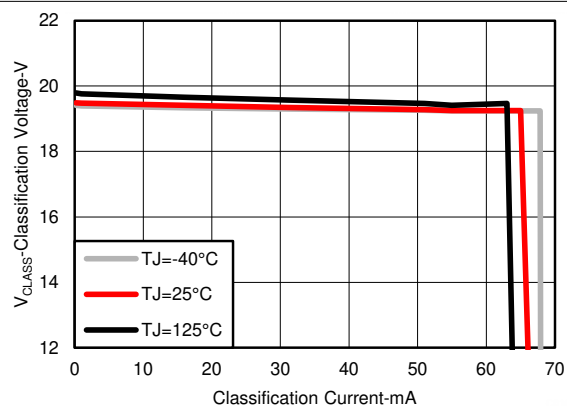


图 5-16. 分压电压与端口分压电流间的关系

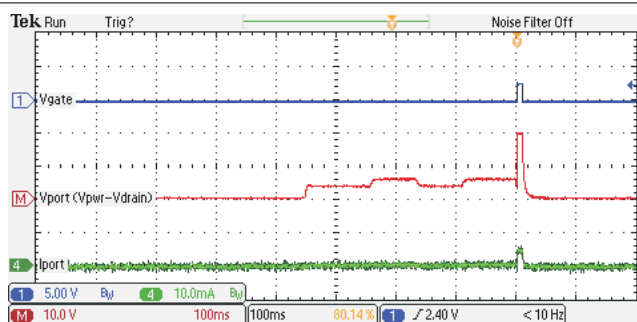


图 5-17. 有效 PD 检测 (25kΩ 和 0.1μF) 和 0 级分压

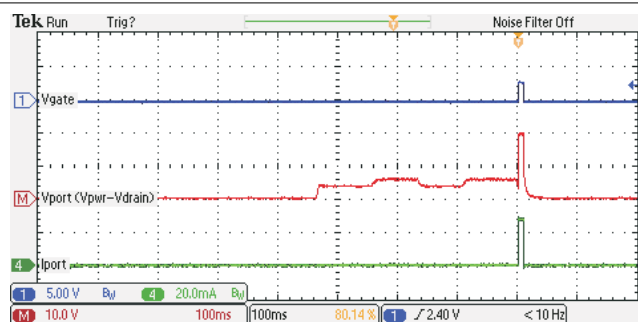


图 5-18. 有效 PD 检测 (25kΩ 和 0.1μF) 和 3 级分压

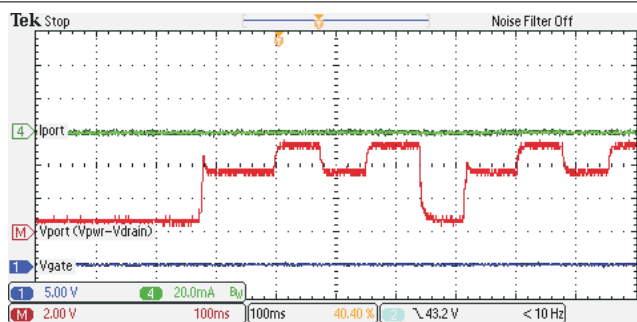


图 5-19. 使用无效 PD 进行检测 (15kΩ 和 0.1μF)

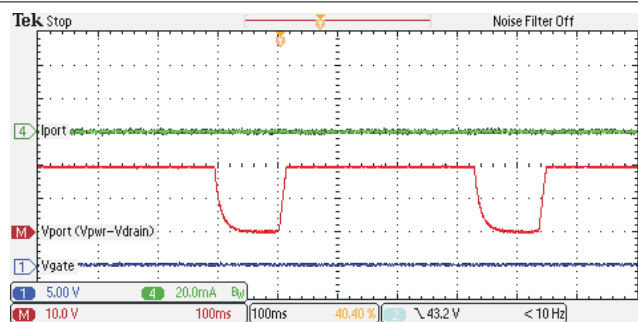


图 5-20. 在 PD 无效的情况下检测 (开路)

5.8 典型特性 (续)

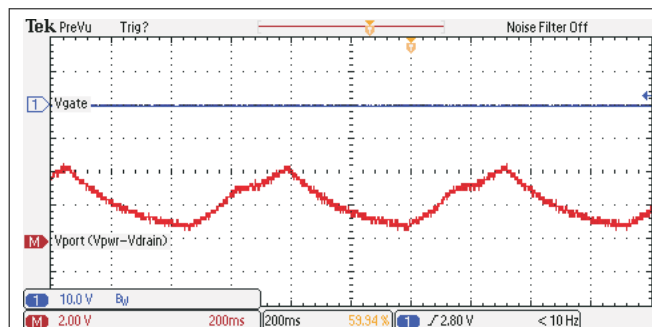


图 5-21. 使用无效 PD 进行检测 (25k Ω 和 10 μ F)

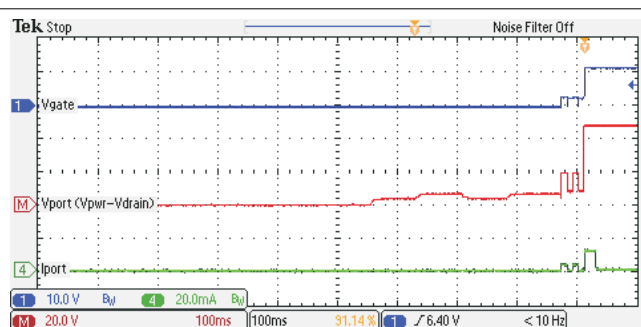


图 5-22. 2 事件级和启动, 具备有效 PD

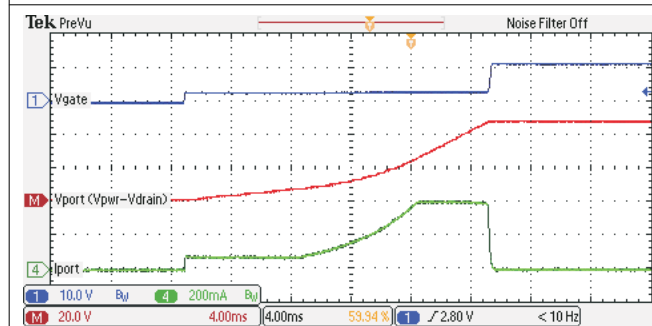


图 5-23. 上电至 100 μ F 负载

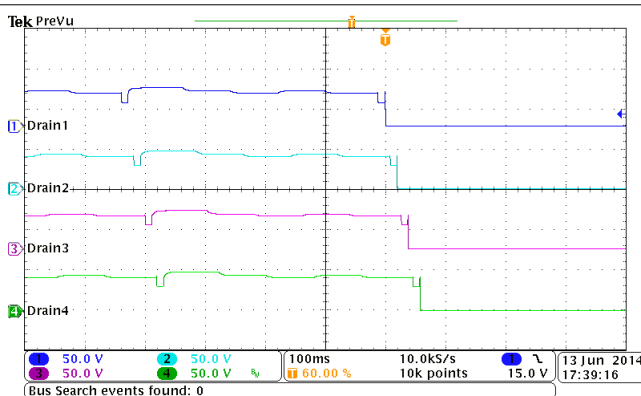


图 5-24. 半自动序列导通

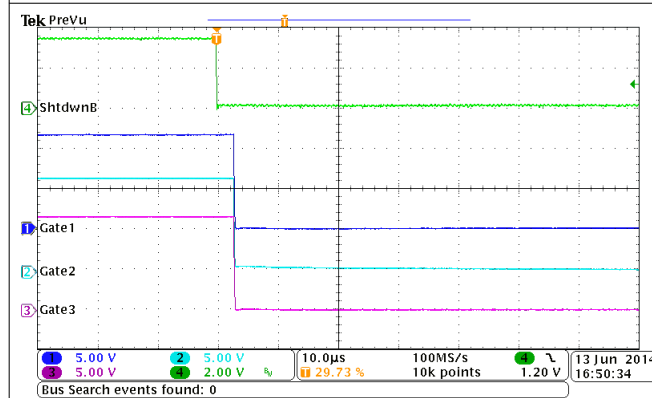


图 5-25. 所有端口快速关断

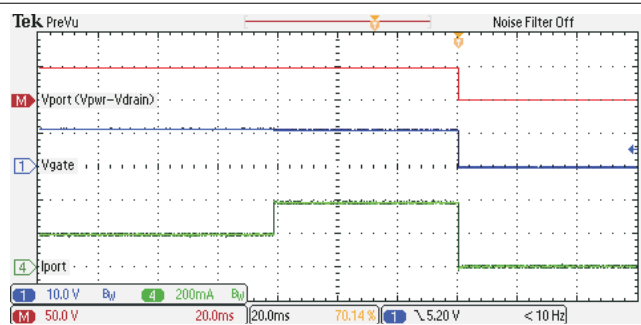


图 5-26. 过电流 (I_{CUT}) 超时

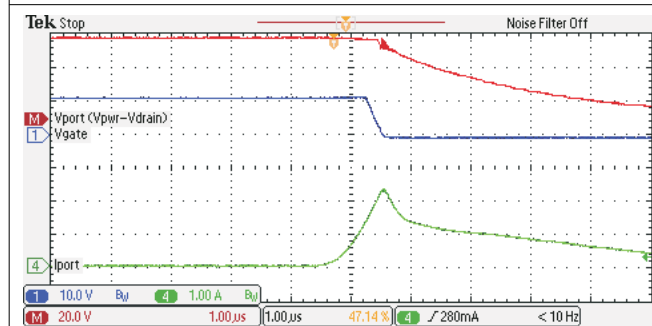


图 5-27. 对 1 Ω 短路的快速响应: 802.3af 模式

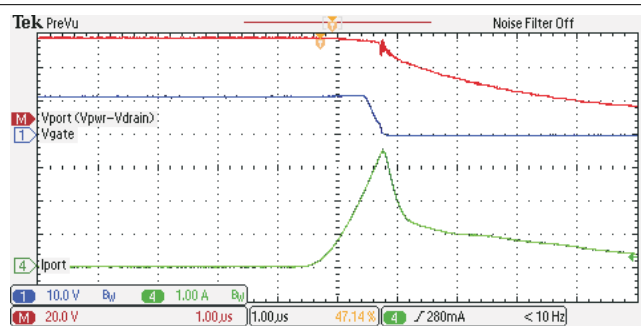


图 5-28. 对 1 Ω 短路的快速响应: PoE+ 模式

5.8 典型特性 (续)

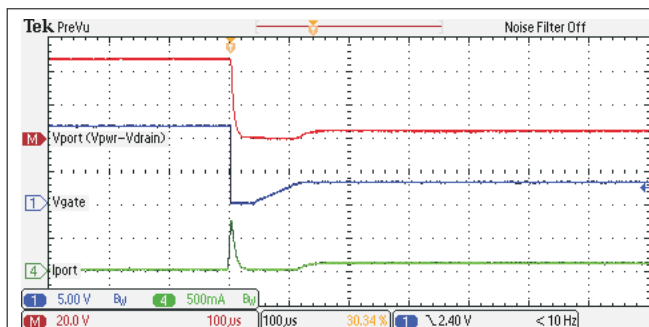
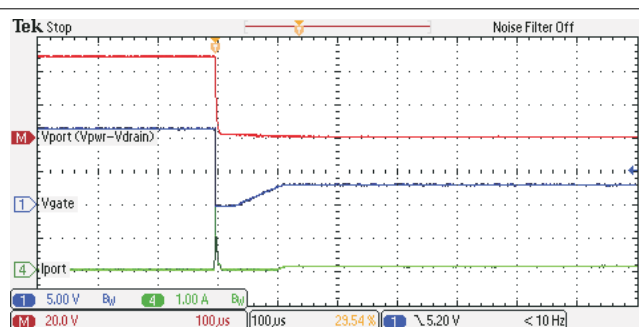
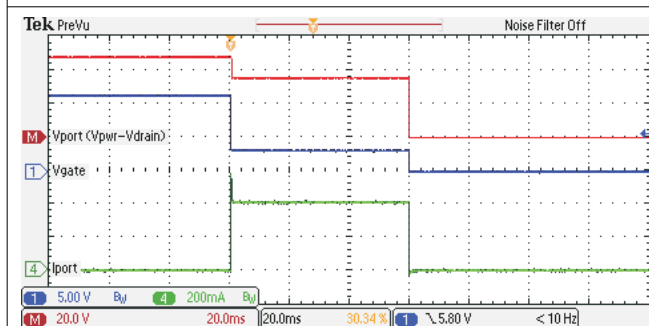
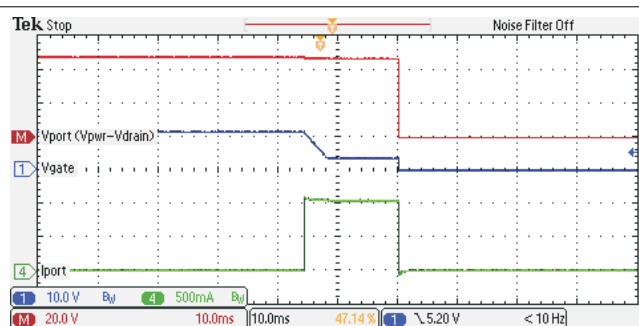
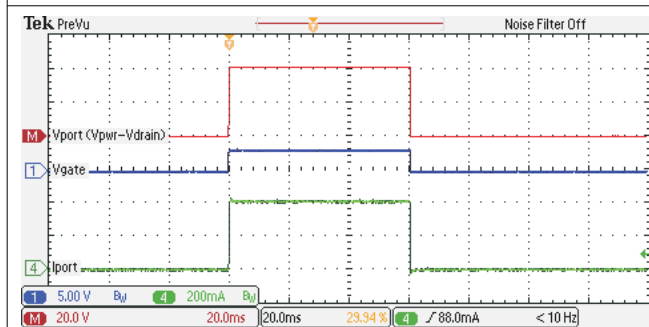
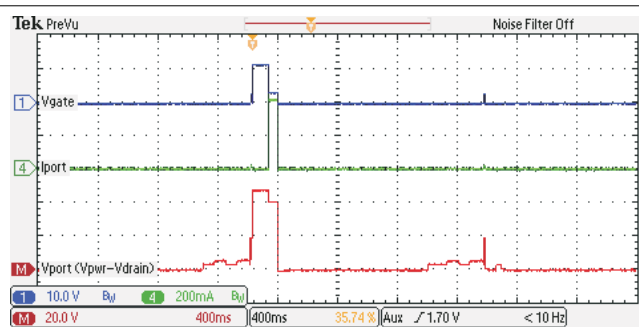
图 5-29. 对 50 Ω 负载的响应：802.3af 模式图 5-30. 对 25 Ω 负载的响应：PoE+ 模式图 5-31. 电流限制超时：802.3af 模式，85 Ω 负载图 5-32. 电流限制 15ms 超时：PoE+ 模式，45 Ω 负载图 5-33. 浪涌故障超时：100 Ω 负载

图 5-34. 电流限制超时重启延迟

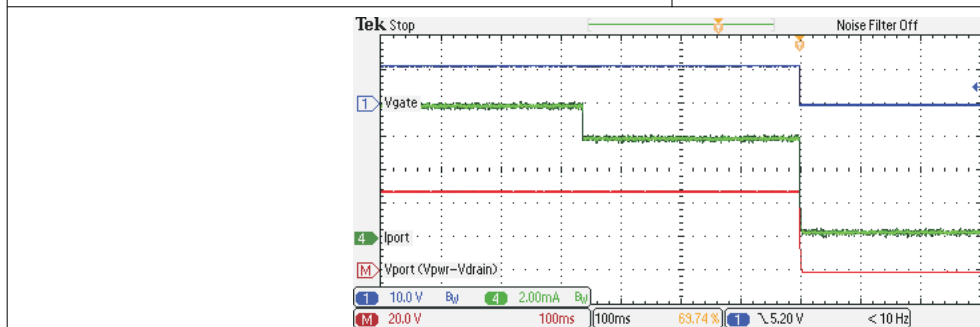


图 5-35. 对 8mA 到 6mA 负载的响应，启用直流断开

6 详细说明

6.1 概述

TPS23861 是一款用于以太网供电应用的四端口 PSE。四个端口中的每一个都提供全自动检测、分级、保护和关闭，符合 IEEE 802.3at 标准。

图 6-1 的原理图描述了 TPS23861 的自动模式操作，提供了准备为 PoE 负载供电的统包功能。无需连接到 I²C 总线或任何类型的主机控制。在图 6-1 中，TPS23861 自动：

1. 执行四点负载检测。
2. 执行分级，包括高达 4 级负载的类型 2 (两指) 。
3. 启用功率，同时具有保护性折返电流限制和基于负载类别的 ICUT 值。
4. 在发生负载故障和短路时关断。
5. 执行 *维持功率特征* 功能，确保在断开负载时断电。
6. 如果 VPWR 低于 V_{PUV_F} (典型值为 26.5V)，则会发生欠压锁定。

在执行断电命令、断开连接或由于启动故障、ICUT 故障或 ILIM 故障而导致关断之后，端口将断电。在由于断电命令或断开连接而关闭端口电源后，TPS23861 将继续自动运行，并从检测周期开始。如果关断是由于启动、ICUT 或 ILIM 故障导致的，TPS23861 将进入冷却期。在冷却期结束后，TPS23861 继续自动运行，从检测周期开始。

在以下情况下，TPS23861 不会自动向端口供电：

- 检测状态不是电阻有效。
- 分级状态为过流、分级不匹配或未知。

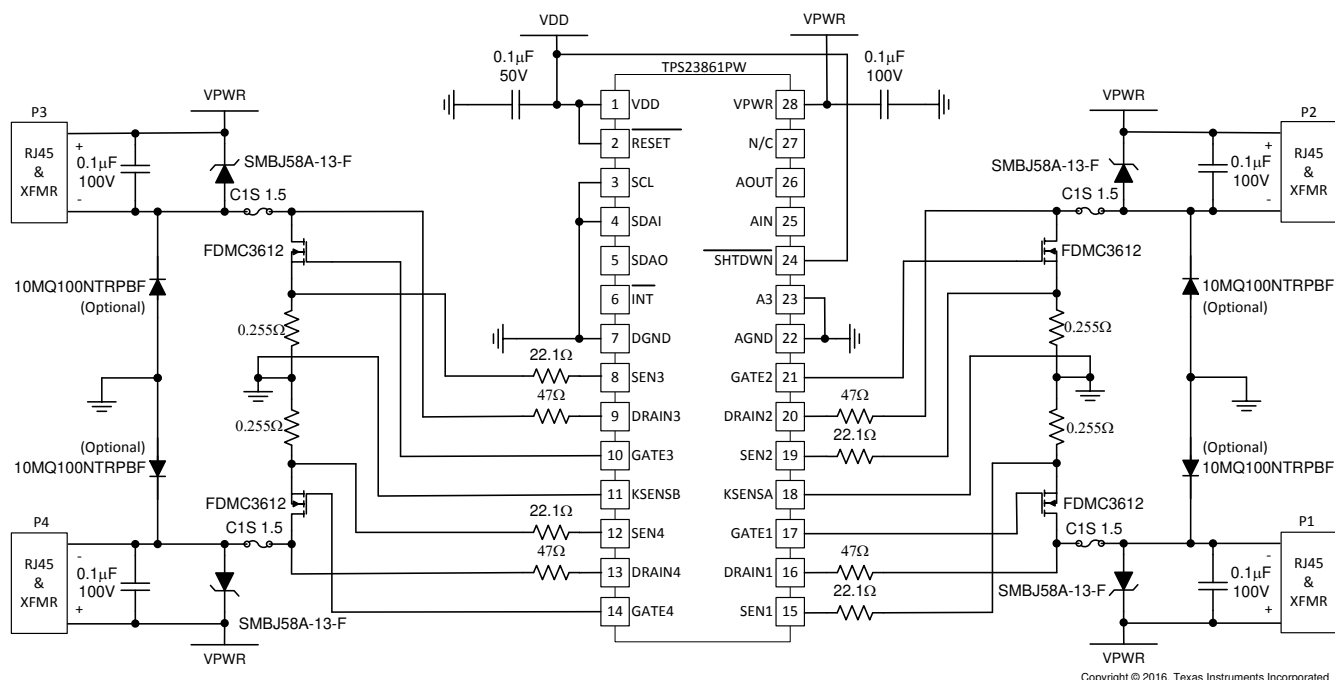


图 6-1. 自动 4 端口运行原理图

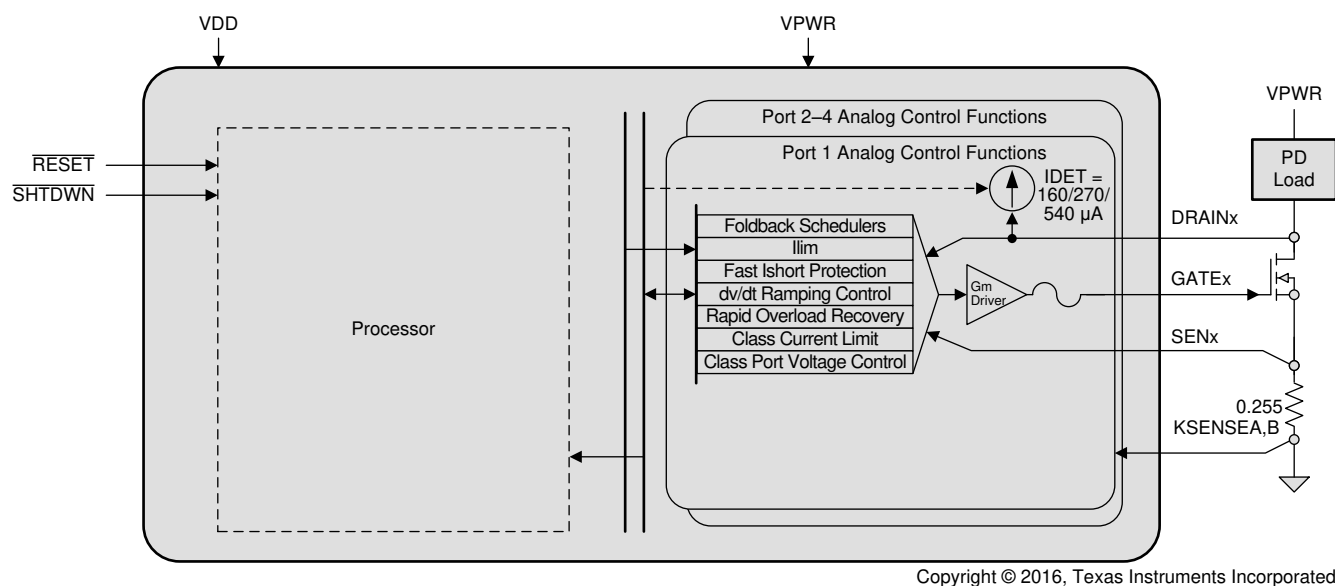


图 6-2. 简化版方框图

6.1.1 详细引脚说明

以下说明涉及引脚布局和功能框图。

DRAIN1-DRAIN4 : 端口 1-4 输出电压监测和检测感应。用于测量端口输出电压, 实现端口电压监测、端口电源正常检测和折返动作。检测探针电流也流入该引脚。TPS23861 使用创新的 4 点技术, 以提供可靠的 PD 检测。此器件通过 DRAINn 引脚灌入两个不同的电流电平来执行检测, 同时测量从 VPWR 到 DRAINn 的 PD 电压。4 点测量提供了区分符合 IEEE 标准的 PD 及容性负载或传统负载的功能。如果未使用端口 n, 则可以将 DRAINn 悬空或连接到 AGND。

GATE1-GATE4 : 端口 1-4 栅极驱动输出用于外部 N 沟道 MOSFET 栅极控制。在端口开启时, 由低电流源驱动为正, 从而开启 MOSFET。只要任何输入电源为低电平或发生过电流超时, GATEn 就会被拉低。如果 GATEn 的端口在快速关断期间关闭, 也会被拉低。如果未使用, 则保持悬空。为了实现稳健的设计, 电流折返功能可在低电阻负载或短路事件期间限制 MOSFET 的功率耗散。折返机制测量 AGND 和 DRAINn 两端的端口电压, 以降低限流阈值、如图 5-14、图 7-12 和图 7-13 所示。快速过载保护适用于直接短路等主要故障。这会在不到一微秒的时间内强制将电流降低至电流限制范围内。当端口开启时超过 ICUT 阈值时, 计时器启动。在此期间, 线性电流限制将确保电流将不超过 ILIM 并执行电流折返动作。当计时器到达其 tOVL (在端口开启的情况下为 tSTART) 限制时, 端口将关闭。当端口电流低于 ICUT 时, 计数器以递增速率的 1/16 速率递减计数, 并且它必须达到计数零才能再次开启端口。

KSENSA、KSENSB : 开尔文点连接用于在相关的电流检测电阻器上执行差分电压测量。KSENSA 由 SEN1 和 SEN2 共用, 而 KSENSA 在 SEN3 和 SEN4 之间共享。为了优化测量精度, 必须仔细进行 PCB 布局 (请参阅图 7-16), 确保尽可能减少 PCB 走线电阻的影响。

SHTDWN : 关断、低电平有效。该引脚在内部通过内部 1 μ s 至 5 μ s 抗尖峰脉冲滤波器上拉至 VDD。端口功率优先级寄存器用于确定为了响应 SHTDWN 引脚的外部置位而关断哪个 (哪些) 端口。关闭程序类似于端口复位或复位命令 (复位寄存器)。

备注

发生 SHTDWN 周期后, I²C 主机应根据所需的用户配置重新初始化 TPS23861 寄存器组。有关使用 SHTDWN 引脚关闭低优先级端口的更多详细信息, 请咨询德州仪器 (TI) 技术代表。

RESET : 复位输入, 低电平有效。该引脚置位后, TPS23861 将复位, 关闭所有端口并强制寄存器进入加电状态。该引脚在内部通过内部 1 μ s 至 5 μ s 抗尖峰脉冲滤波器上拉至 VDD。外部 RC 网络可以用于延迟开启。此外还有一个与 RESET 输入无关的内部上电复位引脚。

备注

RESET 引脚置为无效后, 在 TPS23861 可以处理 I²C 命令之前有大约 20ms 的延迟。有关更多信息, 请参阅应用手册, [TPS23861 加电注意事项](#), SLVA723。

SEN1- SEN4 : 相对于 KSENSA 的端口 1-2 电流检测输入, 相对于 KSENSB 的端口 3-4 电流检测。使用 KSENSA 和 KSENSB 开尔文点连接执行差分测量。它使用连接到 AGND 的 $255\text{m}\Omega$ (两个并联 $510\text{m}\Omega$) 或者 $250\text{m}\Omega$ (四个并联 1Ω) 电流检测电阻来监测外部 MOSFET 电流。由电流折返引擎使用, 也可在分级期间使用。可用于通过 A/D 转换来执行负载电流监测。

备注

使用外部 MOSFET 时会进行分级, 因此可能同时在多个端口上执行分级, 而不会超过 TPS23861 中的功耗。

对于具有折返功能的电流限制, SEN1-4 引脚上有一个内部 $2\mu\text{S}$ 模拟滤波器可以提供干扰滤波功能。对于通过 A/D 转换器进行的测量, SEN1-4 引脚上存在抗混叠滤波器。这包括端口供电的电流监测以及断开连接。如果未使用该端口, 请将 SENn 连接到 AGND。

VDD : 3.3V 逻辑电源输入。

VPWR : 高电压电源选项。标称值为 48V。

6.1.2 I²C 详细引脚说明

AIN : 用于对 I²C 从器件地址进行编程。此引脚在内部上拉至 VDD。有关更多详细信息, 请参阅 [节 6.3.13](#)。

AOUT : 用于对多个器件的 I²C 从器件地址进行编程。有关更多详细信息, 请参阅 [节 6.3.13](#)。AOUT 为漏极开路。

A3 : I²C A3 地址输入, 在正常运行期间和从器件地址编程期间使用。此引脚在内部上拉至 VDD。

INT : 中断输出。当中断寄存器中的某一位被置位时, 该引脚置为低电平。该引脚在 I²C 事务之间更新。此输出为漏极开路。中断功能图如 [图 6-8](#) 所示。

SCL : I²C 总线的串行时钟输入。需要一个连接至 VDD 的外部上拉电阻。

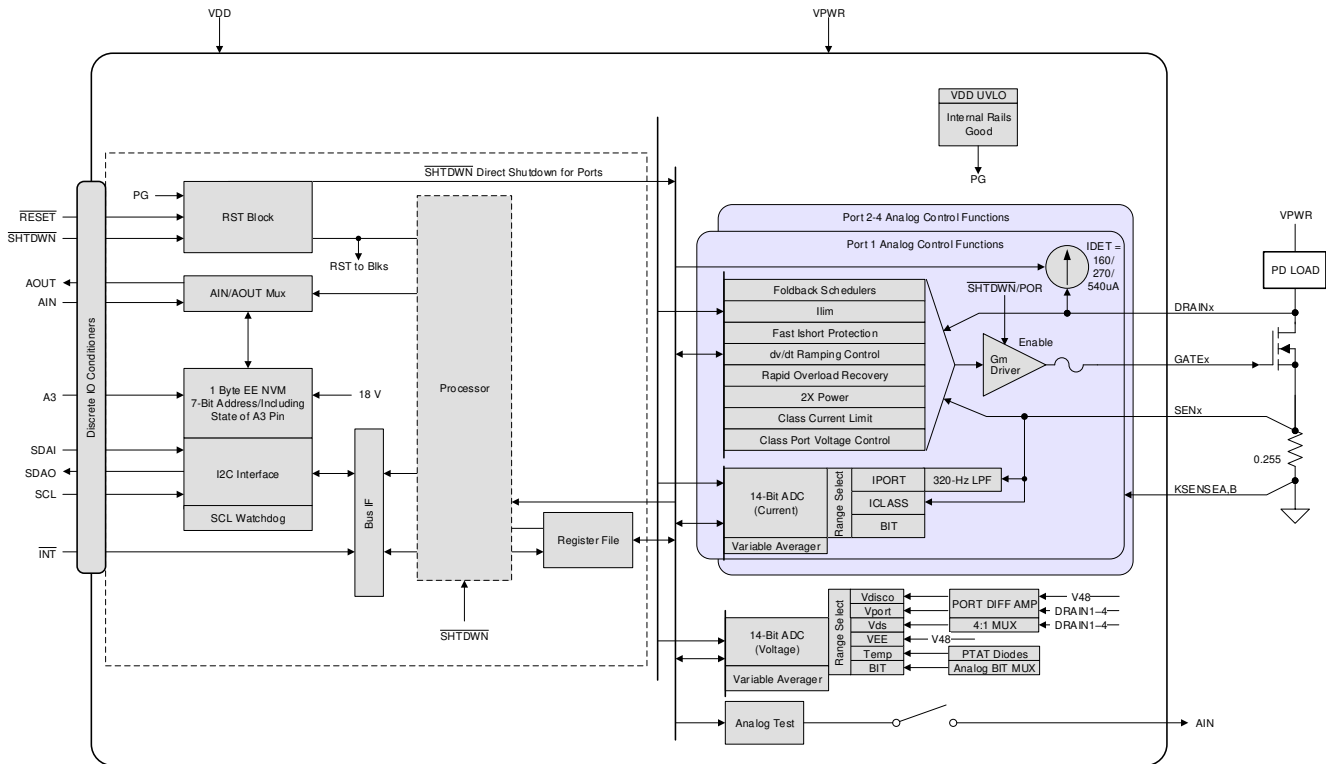
SDAI : I²C 总线的串行数据输入。需要一个连接到 VDD 的外部上拉电阻。此引脚可连接到非隔离式系统或具有双向 I²C 隔离器的系统的 SDAO。请参阅 [图 7-5](#)。

SDAO : 开漏 I²C 总线输出数据线。需要外部上拉电阻。TPS23861 使用单独的 SDAO 和 SDAI 线来实现光隔离型 I²C 接口。SDAO 可连接到 SDAI, 用于非隔离式系统或具有双向 I²C 隔离器的系统。

备注

为了确保系统级 I²C 正常运行, 必须同时存在 VPWR 和 VDD。

6.2 功能方框图



6.3 特性说明

6.3.1 检测电阻测量

可以在 [节 6.5.34](#) 中测量和报告检测电阻。十四位电阻信息以两个字节形式报告。有用的测量范围是 $500\ \Omega$ 至 $55k\ \Omega$ 。分辨率 (1LSB) 约为 $11\ \Omega$ 。测量可重复性约为 $\pm 200\ \Omega$ 。此外，在电阻寄存器 (端口 n 电阻: MSByte) 的 MSB 中，RSn 字段会报告是否检测到低电阻电路、开路或 MOSFET 短路故障。

在检测开始之前，TPS23861 会备份长达 400ms，以使端口电压降至 2.8V 以下。这将允许端口上的任何 PD 在尝试检测 PD、进行分级以及向其供电之前复位。

表 6-1. RSn 字段编码

RSn1	RSn0	检测状态	RSTEP 位权重
0	0	其他	$11.0966\ \Omega/\text{位}$
0	1	低电平 ($< 2k\ \Omega$)	额外检测 $4.625\ \Omega/\text{位}$
1	0	开路	不适用
1	1	MOSFET 短路故障	不适用

6.3.2 物理层分级

是执行一个还是两个分级事件取决于运行模式以及双事件分级寄存器中 TECLenn 字段的值。有关详细信息，请参阅 [节 6.4](#)。

有关单事件 (802.3af) 和 2 事件 (802.3at) 分级期间电源接口 (PI) 上电压的图示，请参阅 [图 6-3](#) 和 [图 6-4](#)。

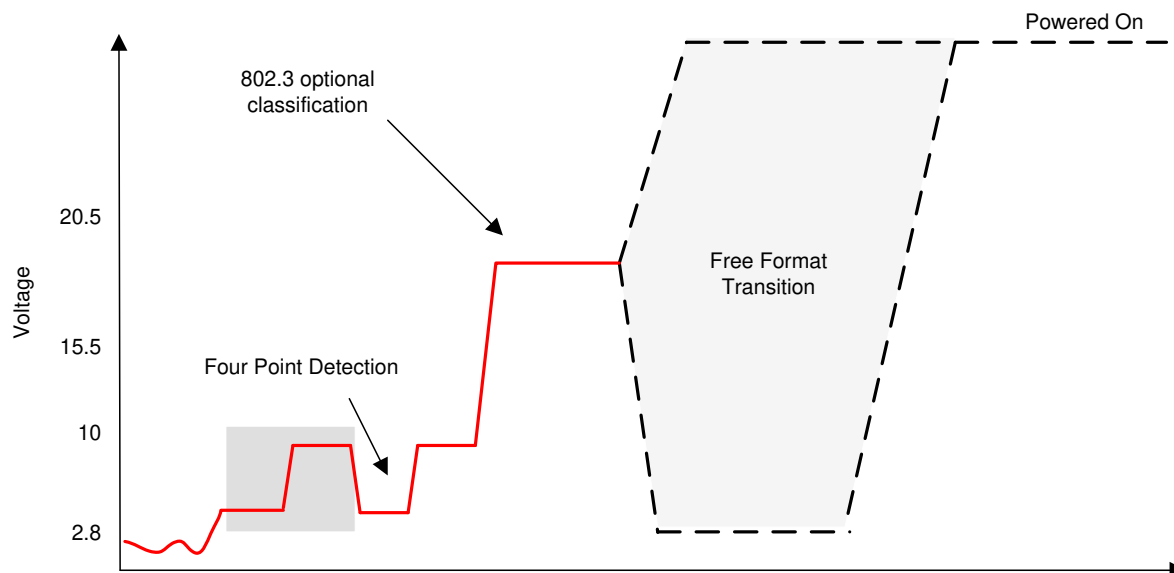


图 6-3. 具有分级的 802.3af

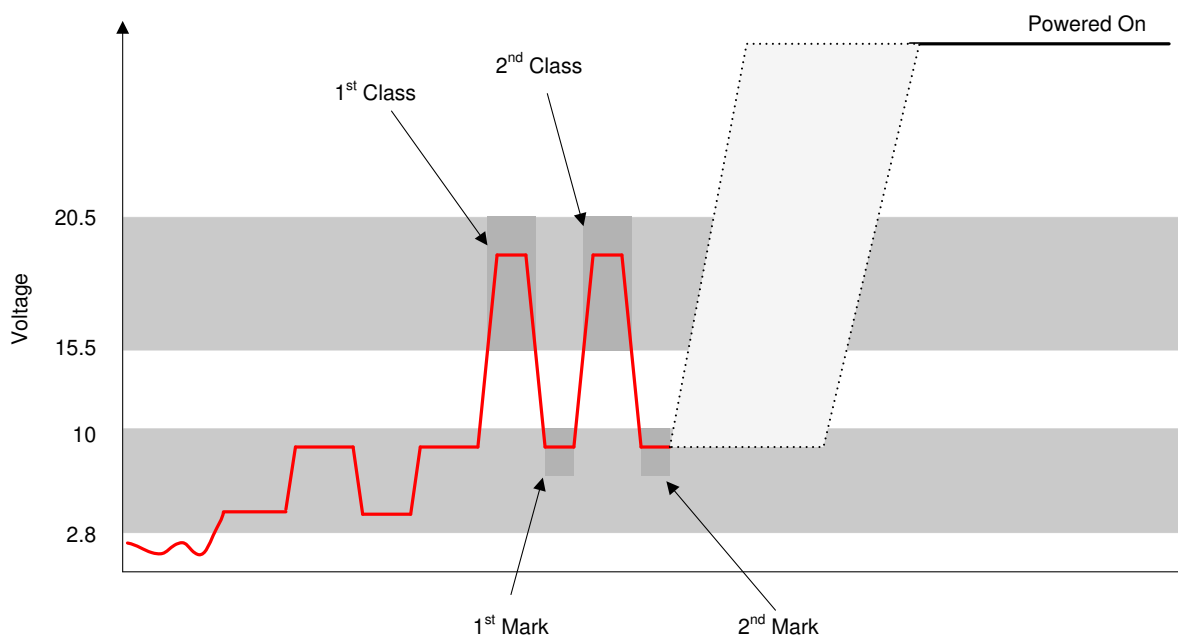


图 6-4. 具有分级的 P802.3at

6.3.3 分级和检测字段

检测周期及分级周期的结果每个都存储在端口 n 状态寄存器的 Detect Pn 和 Class Pn 字段中每个端口的 4 位字段中。检测及分级事件的结果编码如下。

表 6-2. 检测 Pn 字段编码

DETECT Pn	检测状态
0000	未知 (POR 值)
0001	短路 (<500 Ω)
0010	保留
0011	电阻过低
0100	电阻有效
0101	电阻过高
0110	开路
0111	保留
1000	MOSFET 故障
1001	传统检测
1010	电容测量无效：检测超过钳位电压的测量值
1011	电容测量无效：测得的 Δv 不足
1100	电容测量有效，但超出了传统器件的范围。

表 6-3. 分级 Pn 字段编码

CLASS Pn	分级状态
0000	未知
0001	1 级
0010	2 级
0011	3 级
0100	4 级
0101	保留 - 读为 0 级
0110	0 级
0111	过流
1000	分级不匹配

仅在两事件分级期间才会发生分级不匹配。如果第一个事件和第二个事件的分级状态不同，并且第二个分级状态不是“过流”，则分级状态将设置为分级不匹配。如果第一个分级事件的状态为“过流”，则分级状态在分级 Pn 字段中设置为“过流”，在任何情况下都不会发生第二个分级事件。如果处于自动模式，则端口不会自动上电，但仍可以通过电源使能寄存器进行上电。

6.3.4 故障之后的寄存器状态

在端口 n 上发生 ICUT、ILIM 或浪涌故障后，端口将关闭，并在故障事件寄存器或启动/ILIM 事件寄存器中设置相应的故障位。此外，以下寄存器受到影响。

- 电源状态寄存器中的 PGn 和 PEn 被清除。
- 检测事件寄存器中的 CLSCn 和 DETCn 位被清除。
- 相应的端口 n 状态寄存器将被清除。
- 设置电源事件寄存器中的 PGCn 和 PECn 位。
- 端口 n 电压寄存器清除。

6.3.5 断开

TPS23861 支持直流断开。断开阈值和时序分别使用断开阈值寄存器中的 DCTHn 字段和时序配置寄存器中的 TDIS 字段来进行设置。在端口 n 上发生断开事件后，以下寄存器会受到影响。

- 已设置故障事件寄存器中的 DISFn 位。
- 电源状态寄存器中的 PGn 和 PEn 被清除。
- 检测事件寄存器中的 CLSCn 和 DETCn 状态位会被清除。
- 相应的端口 n 状态寄存器将被清除。
- 设置电源事件寄存器中的 PGCn 和 PECn 位。
- 相应端口 n 电压寄存器被清除。

6.3.6 断开阈值

断开电流范围可通过断开阈值寄存器中的 DCTHn 2 位字段进行选择。DCTHn 字段的编码在表 6-4 中示出。

表 6-4. DCTHn 字段编码

DCTHn FIELD	DISCONNECT THRESHOLD , mA
00	7.5
01	15
10	30
11	50

6.3.7 快速关断模式

TPS23861 通过立即关闭通过端口功率优先级寄存器中的 FSEn 位预配置为低优先级 的所有端口，来响应 SHTDWN 引脚上的低电平。反应时间通常为 $2\mu\text{s}$ 。如果在 SHTDWN 引脚为低电平时设置了 FSEn 位，则相应端口将关闭并复位。

6.3.8 传统器件检测

可在传统检测模式寄存器中 LEGMOD 字段的控制下，在端口 n 上识别不符合 IEEE 802.3at 标准的传统 PD。支持两种传统检测模式。当 LEGMODn = 10 时，端口 n 将进行探测，以符合 IEEE 802.3at 标准（基于电阻测量），然后是基于电容的传统器件检测方案。当 LEGMODn = 01 时，端口 n 仅执行基于电容的检测方案。这使主机能够在尝试测量电容值之前探测潜在的传统 PD，而无需对 PD 电容进行预充电。

为了测量电容，会将固定电荷注入电源接口 (PI)，并在端口 n 检测电压差值寄存器中测量和报告电荷引起的电压差。电容与电压差成反比。根据后续鉴定将电压差与阈值进行比较，以接受高于 6μF 的电容值。

端口 n 检测电压差分寄存器由 I²C 可寻址寄存器空间中的两个连续字节组成。这些寄存器共同包含电压差的 12 位无符号表示以及一个名为 VDSn 的 4 位状态字段。当 VDSn = 0001 时，电压差值表示有效测量值。电容测量可能会由于电容过小或过大，或者由于位于二极管后面而无法放电的输入电容而失败。这些情况会在 VDSn 字段以及端口 n 状态寄存器的 DETECT Pn 字段中报告。请参阅表 6-5。

表 6-5. 电容测量特性和功能

参数	条件	值	单位
最小可测量电容	最大 500kΩ 并联电阻；端口上最大测量电压为 16.5V	6.1	μF
最大可测量电容	最小 17kΩ 并联电阻	100	μF
最大可测量电容	最小 10kΩ 并联电阻	67	μF
标称端口充电电流		540	μA
标称测量时间		150	ms
端口上用于开始测量的最小电压		0.4	V
端口用于开始测量的最大电压		2.4	V
端口放电期间的持续时间	首次放电尝试	250	ms
端口放电期间的持续时间	第二次放电尝试	500	ms
测量开始或结束时端口处的最大电压		16.5	V

与 PD 输入端电容并联的电阻会影响电容测量算法精度。并联电阻会导致端口上的电容看起来更高。这一事实反映在表 6-5 中。可以使用低至 17kΩ 的并联电阻来测量高达 100 μF 的电容，而如果并联电阻低至 10kΩ，则可以测量高达 67 μF 的电容。

端口上的电压必须在 0.4V 至 2.4V 范围内，才能开始电容测量。在 PSE 处测量的该电压包括电容路径中任何二极管上的压降。如果测量的电压过高（由于 PD 电容上的电荷），TPS23861 会尝试通过在端口上施加 100kΩ 负载来对端口放电。第一次放电尝试持续时间为 250ms；第二次尝试为 500ms。

备注

如果电容位于二极管的另一侧，则可能无法快速对 PD 电容放电。

如果电容测量算法在两次尝试后无法将端口放电至低于 2.4V，则该算法会终止测量端口电容的尝试，并在端口 n 检测电压差寄存器的 VDSn 字段中报告 *无法达到 2.4V 以已进行第一次测量* 状态。在端口 n 状态寄存器中报告状态 *电容测量无效：测量的 Δv 不足*。在端口 n 检测电压差寄存器的 VDSn 字段中报告状态 *在超时之前无法将 PD 输入电容放电至 2.4V*。主机可选择延长放电时间并重试。

在半自动模式下由于负载重复充电而执行传统检测时，可能会获得不稳定的结果。如果容性负载位于二极管后面或与高电阻并联，则电容器最终可能会充电超过 2.4V，并且电容测量失败。当没有有关负载的信息，或在半自动模式下负载输入电容充电超过 2.4V 时，建议使用手动模式进行传统检测。

如果端口开路或端口上存在小电容，则在施加电容测量电流时，端口电压会迅速上升。通过内部钳位将端口上的电压限制在大约 18V。在端口 n 状态寄存器的 DETECT Pn 字段中报告 *电容测量无效：检测超过钳位电压的测量值* 的状态。根据小电容的大小，在端口 n 检测电压差寄存器的 VDSn 字段中报告状态 *第一次测量超过 $V_{Det-clamp (min)}$ 或第二次测量超过 $V_{Det-clamp (min)}$* 。

如果端口上存在大电容或短路，则端口电压不会在端口充电时间内发生足够的变化，从而确保测量的可靠性。在这种情况下，在端口 n 状态寄存器中报告状态 *电容测量无效：测量的 Δv 不足*，在端口 n 检测电压差寄存器的 VDSn 字段中报告状态 *$\Delta v < 0.5V$ (信号不足) 或无法达到 0.4V，从而在超时之前进行首次测量*。

传统检测是一种例外情况，需要主机系统进行特殊处理。因此，在自动模式下将不会完全支持传统检测操作。如果在任何运行模式下的检测期间检测到旧器件，则在端口 n 状态寄存器检测 Pn 字段中检测状态将报告为旧检测。由主机给端口上电。如果端口处于自动模式，则启用传统检测并检测到传统设备，检测状态在端口 n 状态寄存器检测 Pn 字段中报告为传统检测，但端口不会自动上电。在这方面，端口的操作与半自动模式相同。

通常，旧器件不会响应分级请求。因此，如果在半自动、自动模式或手动模式下的 LEGMOD = 01，即使设置了 CLEn 位，PSE 也不会自动启动分级周期。另一方面，如果 LEGMOD = 10，TPS23861 在半自动或自动模式下运行，通过 CLEn 位启用分级，并返回电阻有效检测状态以响应标准电阻检测周期，TPS23861 遵循标准电阻检测周期和分级周期。此外，在分级之后，如果处于自动模式，并且分级状态未知、分级不匹配或过流，则端口会自动加电。此外，如果 LEGMOD = 10，则可以使用检测/分级使能寄存器中的 CLEn 位或检测/分级重启寄存器中的 RCLn 位在手动控制下启动分级周期，或者使用电源使能寄存器中的 PWONn 位为处于手动控制下的端口加电。

如果 LEGMODn = 10，并且返回电阻有效检测状态以响应标准电阻检测周期，TPS23861 将不会尝试测量 PI 上的电容。

6.3.9 VPWR 欠压和 UVLO 事件

本部分列出了当 VDD 引脚上的电压不间断时 VPWR 欠压和 UVLO 事件的行为。

当 VPWR 引脚上的电压降至低于 V_{PUV_F} 时，会发生以下情况。

- 电源事件寄存器中的 VPUV 位被置位。
- 所有端口均已关闭。
- 对于关断端口，会设置电源事件寄存器中的相应 PGCn 和 PECn 位，并清除电源状态寄存器中的 PGn 和 PEn 位。
- 以下寄存器被清除。
 - 检测事件寄存器
 - 故障事件寄存器
 - 启动/ILIM 事件寄存器
 - 端口 n 状态寄存器
 - 检测/分级使能寄存器

备注

当 VPWR 引脚上的电压降至低于 V_{UVLOPW_F} 时，会发生以下情况。

- 设置电源事件寄存器中的 VPUV 及 VDUV 位
- 所有端口均已关闭
- 所有寄存器都设置为其上电/复位状态

6.3.10 计时器可延迟中断支持

提供一个可编程计时器，其范围可选择为 10ms 至 150ms (以 10ms 为增量)。计时器持续时间通过中断计时器寄存器中的四位字段 TMR [3:0] 进行编程。非关键中断将从在 INT 引脚上置为有效延迟，直到计时器超时。关键中断 (如故障) 不会受该计时器状态的影响。表 6-6 中确定了关键中断与可延迟中断。各种中断使能位的行为不受计时器功能的影响。

表 6-6. 计时器可延迟中断

中断位	功能	严重或延迟
SUPF	电源或热故障	严重
STRTF	启动故障	可延迟
IFault	ICUT 或 ILIM 故障	严重
CLASC	发生了分级事件	可延迟
DETC	发生了检测事件	可延迟
DISF	发生了断开事件	可延迟
PGC	电源正常状态变化	可延迟
PEC	电源使能状态变化	可延迟

如果计数器加载了 0000 (POR 状态)，计数器不会计数，并且不会延迟中断。也就是说，此功能将被禁用。

6.3.11 A/D 转换器 I²C 接口

TPS23861 具有五个多斜率积分转换器。前四个转换器中的每一个都专用于一个端口的电流测量，并独立操作以进行测量。这些转换器用于电流监控（平均 100ms）并且断开连接。第五个转换器在所有四个端口之间共享，用于检测（转换时间由 MAINS 位设置）、端口电压监测、电源正常状态和 FET 短路检测（全部为 1ms）。它还用于通用测量，包括输入电压（1ms）和温度。

TPS23861 中使用的 A/D 转换器类型与其他类型的转换器的不同之处在于，它在积分器对输入信号进行采样的同时进行转换，从而缩短了转换时间，并在转换期间提供了固有的滤波。电流转换器的典型转换时间为 800μs。数字平均用于提供在 100ms 时间段内积分的端口电流测量值。

备注

用于电流和电压监测的抗混叠滤波器。连续执行端口电流转换。

通过对 16 个连续样本进行平均来执行功率器件 (PD) 检测，从而在 50/60Hz 的线路频率下显著抑制噪声。通过 MAINS 位，可以将 16 个样本的总时间设置为 20ms 或 16.7ms，以对应于本地市电频率。

第五个转换器持续测量从一个端口到下一个端口的漏极电压，更新用于电源正常状态和 FET 短路检测的内部寄存器，除非接收到执行特定测量的命令。

此外，当端口上电时，t_{START} 计时器（在 PD 上电浪涌期间使用）必须到期，然后才能开始前四个转换器的任何电流或电压 A/D 转换。

图 6-5 展示了通过 I²C 接口进行的读写操作。双数据字节读取操作适用于 A/D 转换结果。

还可以同时对许多 TPS23861 器件执行 I²C 写操作。该广播访问期间的从器件地址为 0x30。

TPS23861 使用 $\overline{\text{INT}}$ 引脚，支持 SMBALERT 协议。当 $\overline{\text{INT}}$ 置为低电平时，如果总线主控制器发送警报响应地址，则 TPS23861 在 SDA 线路上提供其器件地址，并释放 $\overline{\text{INT}}$ 线路。如果两个 TPS23861 器件同时响应之间存在冲突，则具有较低地址的器件将在仲裁中胜出，并首先通过使用 SDAI 和 SDAO 线路进行响应。

TPS23861 上还提供 I²C 看门狗定时器，用于监控 I²C 时钟线，以防止可能使端口处于危险状态的挂起软件情况。该计时器可以通过 SCL 线路的任一边沿复位。启用后，如果看门狗计时器到期，则所有端口都将关闭并设置 WDS 位。标称看门狗超时周期为 2 秒。有关主题的更多详细信息，请参阅 [节 6.5.31](#)。

备注

如果在至少接收到命令字节后在 I²C 总线上检测到停止条件，TPS23861 会将命令字节存储在内部寄存器中。

备注

使用 I²C 接口时，主机软件应在复位后等待至少 22ms，以确保 I²C 事务有效。

此内容稍后可在下一个快速读取周期寄存器访问期间用作寄存器地址指针。请参阅图 6-5。该内部寄存器在上电时或通过 RESET 引脚来清除。

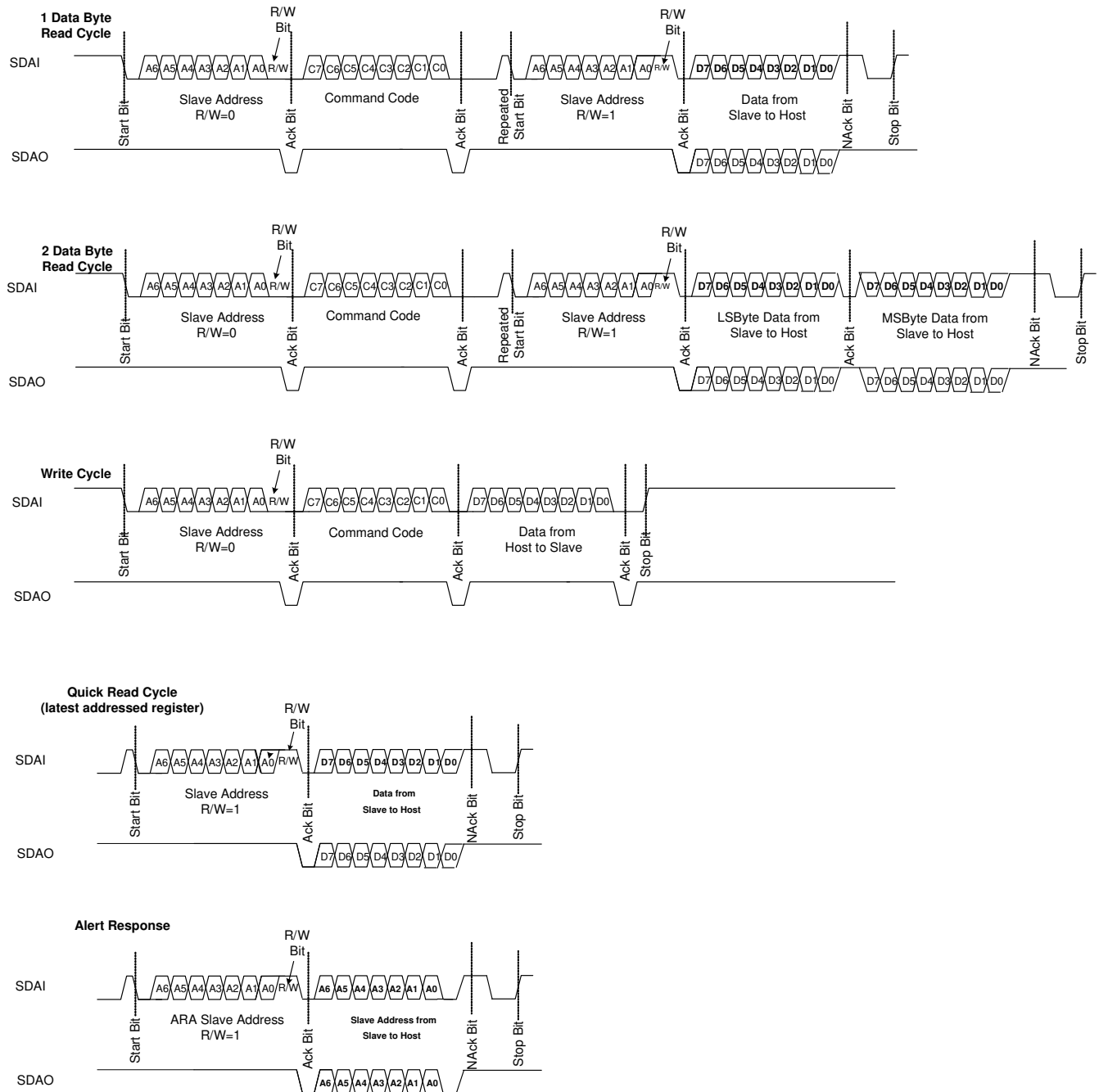


图 6-5. I²C/SMBus 接口读写协议

6.3.12 当设置 AUTO 位时独立运行

当 AUTO 位按 [节 6.3.13](#) 部分所述进行设置时，TPS23861 作为全自动 PSE 运行，符合 IEEE 802.3at 标准。完全自动运行意味着 TPS23861 作为以太网供电四端口 PSE 运行，而无需通过 I²C 总线与主机系统进行任何连接。一般来说，设置该位时，TPS23861 的大多数专用功能都将被禁用。

备注

在上电、硬件复位 ($\overline{\text{RESET}}$ 引脚) 或向复位寄存器中的 RESAL 位写入 1 后，AUTO 位的状态为只读。

如果设置了 AUTO 位，并且 TPS23861 通过 I²C 总线连接到主机，则主机可以在上电后随时更改寄存器设置，包括更改运行模式。设置 AUTO 位后，TPS23861 在上电后的状态汇总如下。

- 设置检测/分级使能寄存器中的 CLEn 及 DETn 位。因此，在上电之前执行检测和分级。
- 断开使能寄存器中的 DCDEn 位会被置位，从而实现自动断开。
- 两事件分级寄存器中的 TECLENn 位设置为 0b01。因此，如果在分级周期识别出 4 级 PD，
 - TPS23861 启动第二个物理层分级事件。
 - 设置 PoE Plus 寄存器中的 PoEPn 位，使用 I_{LIM} 的 2x 曲线。
 - ICUTnm CONFIG 寄存器中的 ICUT 端口 n 字段将被设置成与 645mA 对应的 0b110。
- 如果在分级周期中识别到 0、1、2 或 3 级 PD，
 - 没有第二个物理层分级事件。
 - 清除 POEPn 位，因此 TPS23861 对 I_{LIM} 采用 1x 折返曲线。
 - 值 374mA 用于 ICUT。
- 对于全部四个端口，运行模式寄存器中的端口 n 模式字段设置为自动 (0x11)。因此，
 - 每个端口都按顺序自动独立地按顺序进行检测、分级与上电。
 - 根据有效的单事件或双事件物理层分级，TPS23861 根据 [图 7-12](#) 中的涌入电流折返保护曲线向端口供电。
- 设置端口功率优先级寄存器中的 FSEn 位。因此，所有端口都因 $\overline{\text{SHTDWN}}$ 引脚上的低电平而关断。
- 旧检测模式寄存器中的 LEGMODn 字段设置成 00。因此，将无法检测到不符合 IEEE 802.3at 标准的传统 PD 器件。
- 通用屏蔽 1 寄存器设置为其标准上电复位值 0x80。因此，
 - 启用中断。
 - 在检测 A/D 转换期间，检测电压以每秒 800 的速率发生。
 - 就像将 255m Ω 电阻用于电流检测电阻一样确定分级等级。

备注

如果使用 250m Ω 电阻器，分级阈值会略有变化，但仍符合 IEEE 802.3at 标准。

- 中断使能寄存器设置为 0xE4，从而启用以下中断
 - SUPEN — 电源事件故障使能位。
 - STRTEN — 启动故障使能位。
 - IFEN — ICUT 或 ILIM 故障使能位。
 - DISEN — 断开事件中断使能位。
- 上面未明确提及的任何寄存器都会根据 [表 6-10](#) 设置为其默认的上电复位值。

6.3.13 I²C 从器件地址和 AUTO 位编程

备注

使用 I²C 接口时，主机软件应在复位后等待至少 22ms，以确保 I²C 事务有效。

备注

请注意，EEPROM 耐久性为 25 个写入周期。对 EEPROM 的写入次数超过此值可能会导致不稳定行为。

TPS23861 包含一种在 EEPROM 中对以下两个字段进行编程的方法：

- 一个七位 I²C 从器件地址，用于操作主机处理器。
- AUTO 位，其允许 TPS23861 在没有主机处理器的情况下独立运行。

此方法的优势包括：

- 多达 125 个类似的器件可寻址。
- 提供了高度灵活性。
 - 有助于解决与同一 I²C 总线上的其他外设的冲突。
 - I²C 地址可在生产子组装模块级或主板级进行编程。
 - 允许采用简单的方法对 PSE 系统进行现场安装升级或者扩展。
- 无需物理地址线，无需选择组。
- 封装尺寸更小。无地址线引脚，无 AUTO 引脚。

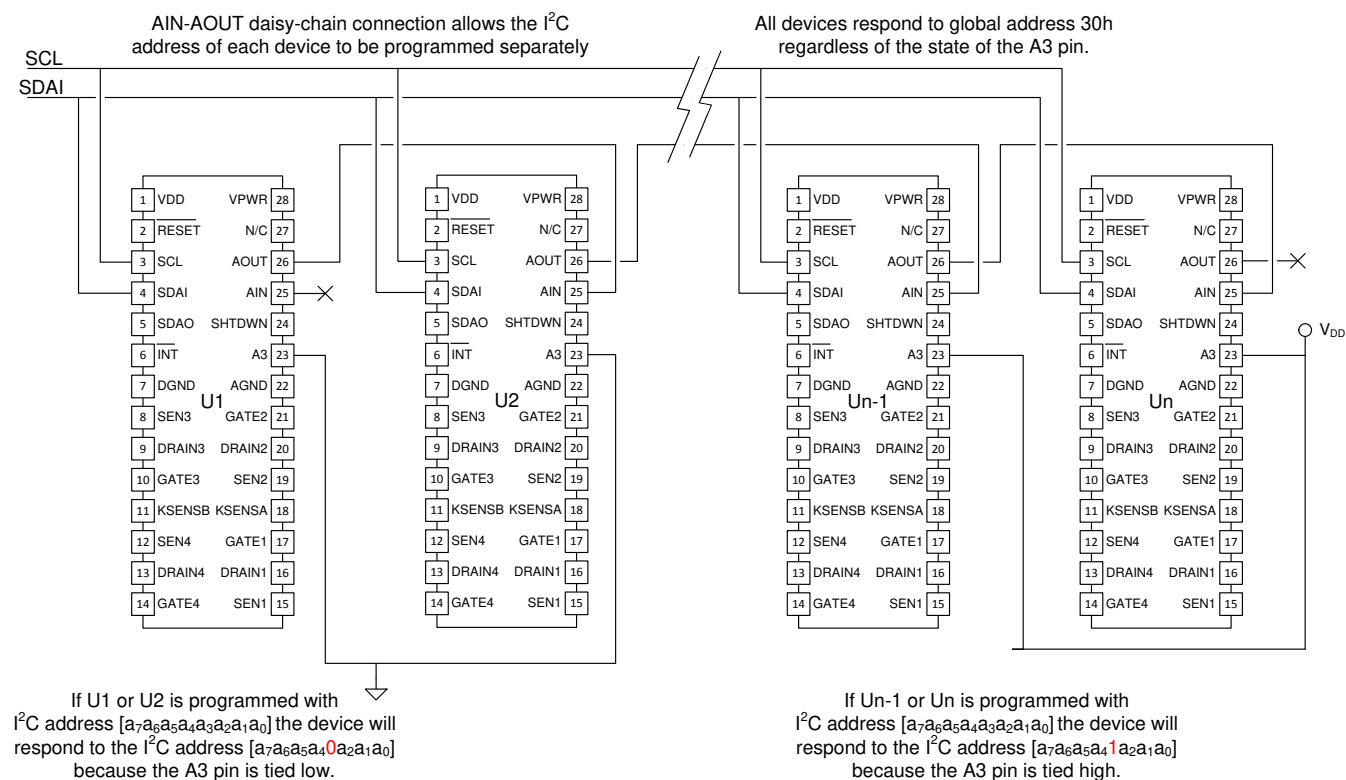
备注

为了与传统系统兼容，使用 A3 输入引脚提供模块 A3 组寻址。

如图 6-6 所示，初始 I²C 地址编程访问由多个 TPS23861 器件之间的本地菊花链芯片选择连接建立。在地址编程期间，AIN 引脚起到了“移动芯片选择”的作用。

备注

要写入 I²C 从器件地址寄存器，需要包含解锁代码 (AAh) 的全局写入命令。

图 6-6. I²C 从器件地址和 AUTO 位编程电路

地址编程期间的序列如下：

- 通过广播地址 30h，向所有 I²C 器件发送全局写入命令，包括解锁代码 (AAh) 和临时通用从器件地址 (30h 以外的任何地址)。
- 无论 A3 引脚的状态如何，所有 TPS23861 器件都会响应广播地址 30h。当三字节序列正确解码时，
 1. 每个 TPS23861 都有一个新的 I²C 地址，该地址由已编程的临时从器件地址确定，其中位 3 等于 A3 引脚的状态。
 2. 所有 TPS23861 器件都会强制使 AOUT 输出变成低电平。

例如，如果将临时通用从器件地址 20h 写入一个 A3 低电平的器件和一个 A3 高电平的器件，则 A3 低电平的器件将响应 I²C 地址 20h，A3 高电平的器件将响应 I²C 地址 28h。

- 所选的第一个 TPS23861 器件是唯一的一个 AIN 引脚处于逻辑高电平的器件 (图 6-6 中的 U1)。
- 使用临时从器件地址，在 I²C 从器件地址寄存器中写入新的 7 位器件地址。请参阅下面的数据格式。

备注

SLA3 从器件地址位遵循 A3 输入引脚的逻辑电平，详见 I²C 从器件地址寄存器。

位	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
位名称	自动	7 位 I ² C 地址						

- 第一个从器件接受新地址，然后强制其 AOUT 输出引脚为高电平并自动锁定对其从器件地址寄存器的访问。它还会将其新的从器件地址永久存储至 EEPROM。
- 下一个从器件重复相同的过程，该器件刚刚检测到其 AIN 输入已变为高电平。
- 这会重复进行，直到所有从器件都已重新编程。
- 然后，主机可以逐个查询每个从动器件，以便验证其新地址。

备注

在地址编程过程中，如果从器件在超时周期 (大约 100ms) 内未接收到新地址，则会返回到初始从器件地址 (在地址编程序列启动之前)；它会锁定其地址寄存器并释放其 AOUT 输出。

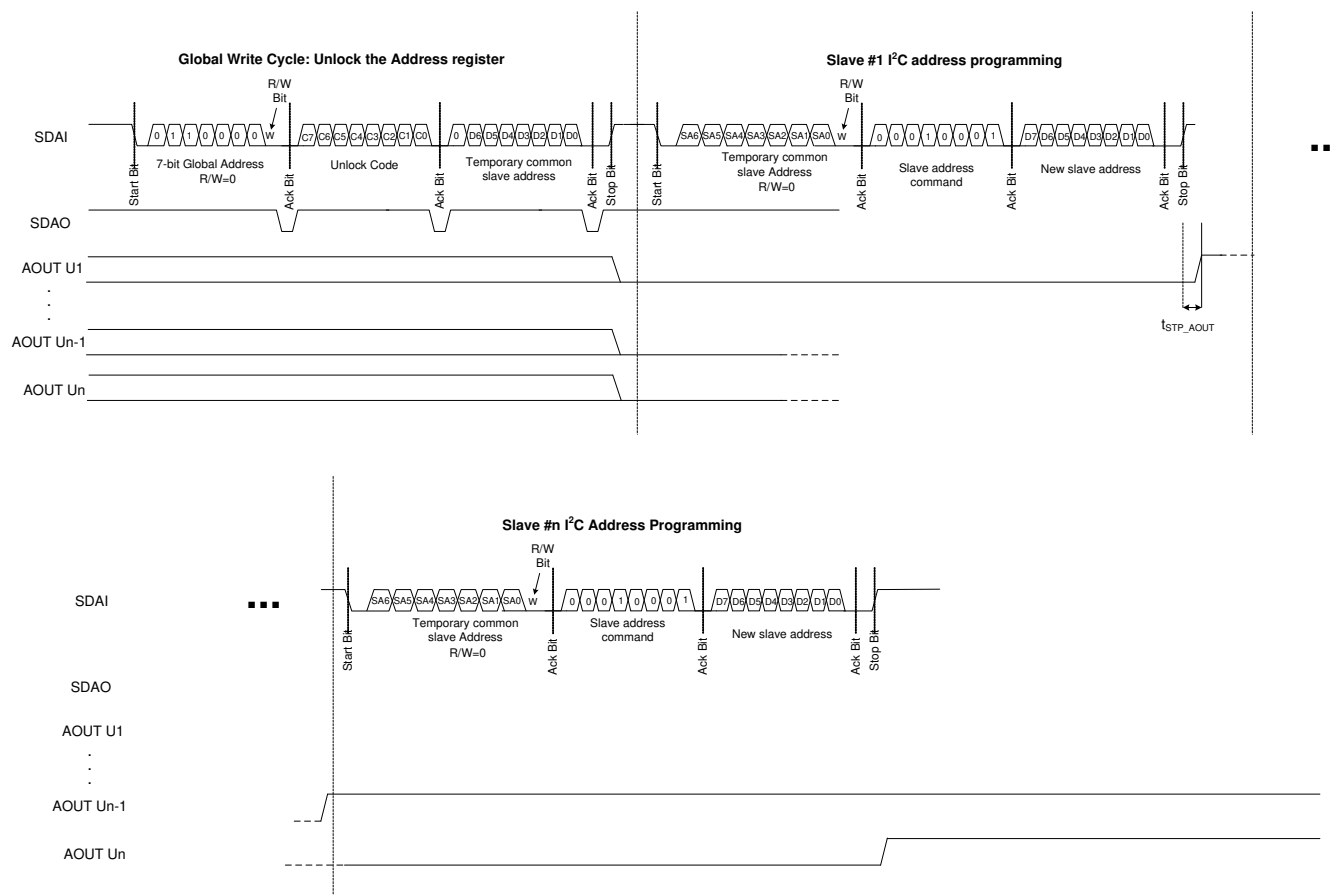
- 8 位传输 (AUTO) 的位 7 定义控制器是否作为自动 PSE 独立运行 (无主机处理器)。仅在上电复位，向 RESET 寄存器的 RESAL 位写入 1 或激活 RESET 输入后，才会立即监测该位的状态。该位状态在复位后对寄存器的影响反映在表 6-10 (复位状态列) 中，并被称为“A”。

备注

将新的 I²C 从器件地址编程到寄存器 0x11 后，建议在尝试执行读取检查之前延迟 100ms。

备注

当使用 I²C 扫描来发现器件时，建议在对地址 0x30 (广播地址) 和 0x31 的写入命令之间添加至少 100ms 的延迟。这可防止收到不必要的额外 ACK。跳过对地址 0x30 的写入命令也可避免额外的 ACK。

图 6-7. I²C/SMBus 接口从器件地址编程协议

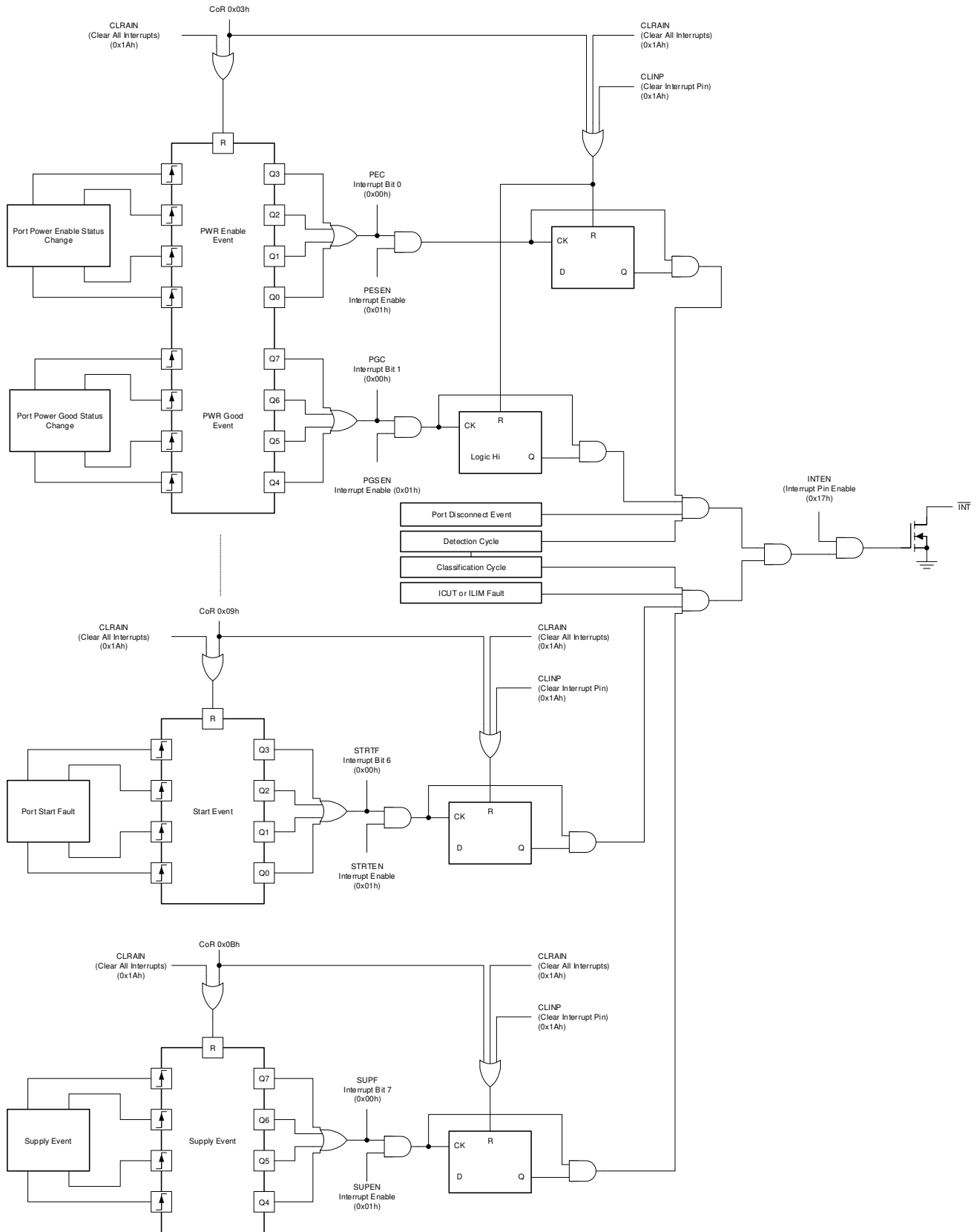


图 6-8. 中断逻辑功能图

6.4 器件功能模式

四个运行模式定义如下。每个端口的运行模式通过运行模式寄存器中的 **Port n Mode** 字段进行控制。操作模式代码显示在节 6.5.11 中。

6.4.1 关闭

端口 **n** 将无法检测、分级或开机。当端口 **n** 的运行模式设置为关闭时，将发生以下情况。

- 持续监控端口电压及电流。结果在端口 **n** 电压和端口 **n** 电流寄存器中报告。
- 检测事件寄存器中的 **CLSCn** 和 **DETCn** 位被清除。
- 端口 **n** 状态寄存器被清除。
- 检测/分级使能寄存器中的 **CLEn** 和 **DETEn** 位会被清除。
- 故障事件寄存器中的 **DISFn** 和 **ICUTn** 位被清除。
- 启动/**ILIM** 事件寄存器中的 **ILIMn** 和 **STRTn** 位被清除。
- 如果在运行模式设置为关闭时打开了端口，则端口将关闭，并发生以下情况。
 - 设置电源事件寄存器中的 **PGCn** 和 **PECn** 位。
 - 电源状态寄存器中的 **PGn** 和 **PEn** 位被清除。

6.4.2 手动

备注

为满足 IEEE 802.3at 标准，如果应用了双事件分级，则应在分级完成后的 22ms 内设置 **PWONn** 位。

不会自动更改状态。向检测/分级重启寄存器的相应位写入按钮寄存器，即可启动单个检测或分级事件。此外，设置 **DETEn** 位会启动端口 **n** 的一个检测周期；设置 **CLEn** 位会启动端口 **n** 的一个分级周期。分级事件的数量取决于第一个分级事件的分级状态和 **TECLENn** 字段的设置，如表 6-7 所示。

表 6-7. 手动模式下的分级事件数

第一个分级事件的分级状态	TECLENn 的值	分级事件总数
0 级、1 级、2 级或 3 级	XX	一
4 级	X0	一
	X1	二

在手动模式下，对按钮 **PWONn** 位的写入会立即开启端口 **n**。

备注

在手动模式下，不会自动设置 **ICUTn** 和 **PoEPn** 字段。它们必须通过主机设置。此外，在手动模式下没有冷却期。

6.4.3 半自动

在设置检测/分级使能寄存器中的 **DETE_n** 位之前，端口上不会发生任何活动。设置 **DETE_n** 后，端口 **n** 会自动执行检测。如果检测到有效的 **PD** 并设置了 **CLE_n**，则该端口启动一个分级周期。如果识别到 0、1、2 或 3 级 **PD**，分级周期为单事件。如果第一个分级事件返回 4 级特征，则将根据双事件分级寄存器中 **TECLE_n** 字段的设置启动第二个分级事件。检测周期和分级连续重复。

对端口上电需要写入电源使能寄存器中的按钮 **PWON_n** 位。该端口在有效检测结束后的 400ms 内加电，以满足 **IEEE T_{P(on)}** 要求。根据 **PWON_n** 命令的时序，如果需要满足 **T_{P(on)}** 要求，控制器可以在端口上电之前启动新的检测和 (如果设置了 **CLE_n**) 分级序列。如果最终检测无效，或者如果最终分级返回过流或分级不匹配，则端口不会上电，并且在启动/**ILIM** 事件寄存器中设置 **STR_{Tn}** 位。有关导通时序，请参见 [节 6.4.5](#)。

备注

在半自动模式下，不会自动设置 **ICUT_n** 和 **PoEP_n** 字段。它们必须通过主机设置。

在执行断电命令、断开连接或由于启动故障、**ICUT** 故障或 **ILIM** 故障而导致关断之后，端口将关断。在由于启动、**ILIM** 或 **ICUT** 故障而关断后，**TPS23861** 将进入冷却期。在冷却期间，使用电源使能命令的任何端口上电命令都将被忽略。冷却周期的长度在冷却/栅极驱动寄存器的 **CLDN** 字段中设置。在冷却期结束后，**TPS23861** 启动一个检测周期，并继续半自动运行。

备注

TI 建议使用此参考代码来开发您的软件

<http://www.ti.com/product/TPS23861/toolssoftware>

6.4.4 自动

在自动模式下，TPS23861 通过检测、分级和通电自动对端口进行循环。ICUT 和 PoEP 字段根据分级状态来自动设置。如果识别到 0、1、2 或 3 级 PD，则 ICUTn 设置为 000 (374mA) 并清除 PoEPn 位。如果识别到 4 级 PD，则 ICUTn 设置为 110 (645mA) 并设置 PoEPn 位。自动模式与 AUTO 位相关，但不同。设置该位后，所有端口都将置于自动模式；此外，还设置了几个其他寄存器。请参阅 [节 6.3.12](#) 部分。

在执行断电命令、断开连接或由于启动故障、ICUT 故障或 ILIM 故障而导致关断之后，端口将关断。在由于断电命令或断开连接而关闭端口电源后，TPS23861 继续自动运行，并从检测周期开始（如果设置了 DETEn）。如果关断是由于启动、ICUT 或 ILIM 故障导致的，TPS23861 将进入冷却期。在冷却期间，使用电源使能命令的任何端口上电命令都将被忽略。冷却周期的长度在冷却/栅极驱动寄存器的 CLDN 字段中设置。在冷却期结束后，假设已设置 DETEn，TPS23861 继续自动运行，从检测周期开始。

在以下情况下，即使将运行模式设置为 Auto，TPS23861 也不会自动向端口供电。

- 检测状态不是电阻有效。这意味着必须设置 DETEn 位才能在自动模式下加电。

备注

如果端口处于关闭模式，则对 DETEn 位或 CLEn 位的写入不会停止。

- 如果分级状态为过流或分级不匹配。

在上电复位后或 RESET 引脚取消置位时，TPS23861 将以自动模式启动。当连接一个有效的 PD（如 TPS23861 退出复位）时，端口将按检测、分级和开机排序，如图 6-9 所示。交错端口电源开启可防止在已连接多个 PD 时 VPWR 电源突然出现浪涌电流。

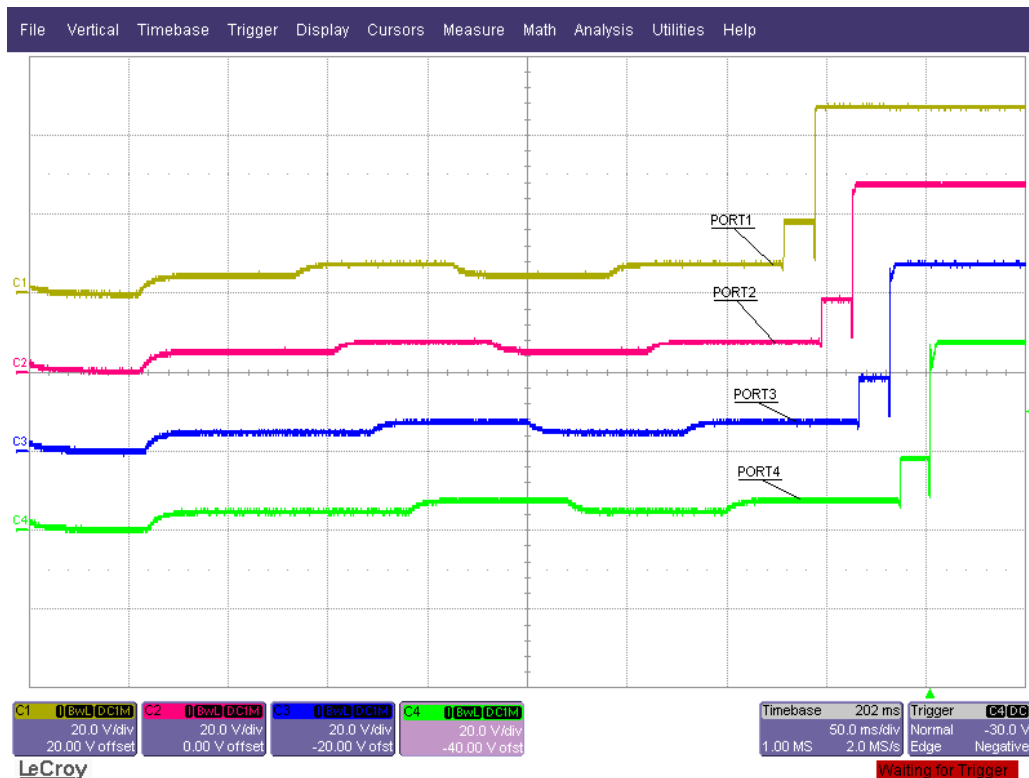


图 6-9. RESET 引脚置为无效后的端口时序

6.4.5 按钮上电响应

TPS23861 到按钮寄存器命令上电的端口行为因检测寄存器和分级使能寄存器而异。

表 6-8. 总结的响应⁽¹⁾

运行模式	DETECT EN BIT	CLASS EN BIT	PORT BEHAVIOR
关闭	x	x	端口未上电
手动	x	x	端口立即上电
半自动	0	0	端口未上电
	1	0	端口在完成下一个正常检测后上电
	0	1	端口未上电
	1	1	端口在完成下一个正常检测和分级后上电
自动	x	x	按钮上电被忽略。端口遵循自动模式规则

(1) 对按钮上电的响应。

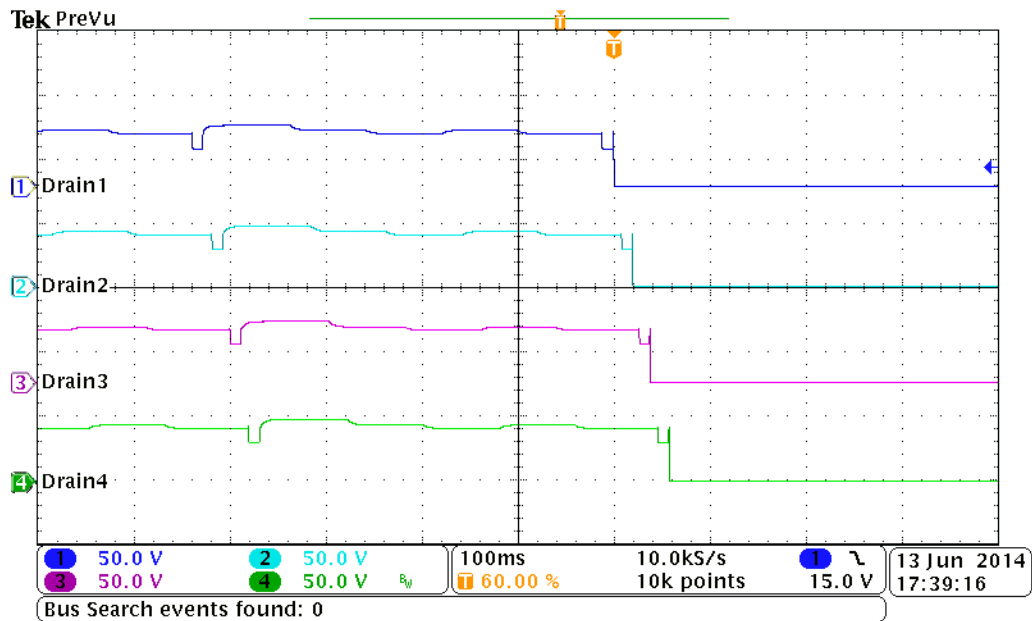


图 6-10. 半自动序列导通

6.4.6 检测和分级故障的 TSTART 指示器

开始故障指示器会在半自动模式下向主机报告其他问题。这会通知主机 PSE 遇到问题并且无法打开端口。当启用 TSTART 屏蔽并且发生这些故障条件之一时，中断引脚将激活。表 6-9 介绍了条件。

表 6-9. 检测和分级故障指示器 ⁽¹⁾

运行模式	故障条件
关闭	无
手动	t _{START} 时间段结束时的过流情况
半自动	t _{START} 时间段结束时的过流情况
	检测无效
	分级未知
	分级不匹配
	分级过流
自动	t _{START} 时间段结束时的过流情况

(1) 设置启动故障的条件。

6.4.7 器件上电初始化

器件上电时以及 VDD 和 VPWR 分别超过 V_{UVDDR} 和 V_{UVLOPW_R} 后，TPS23861 将初始化 t_{POR} 时间。在此期间，TPS23861 将不响应 I²C 命令。在 t_{POR} 后等待大约 20ms，然后再发送 I²C 命令。

6.5 寄存器映射 - I²C-可寻址

表 6-10. I²C 可寻址寄存器组摘要 ⁽¹⁾⁽²⁾

CMD 代码	寄存器或命令名称	I ² C R/W	数据字节	RST 状态	字段说明							
00	中断	RO	1	1000.0000	SUPF	STRTF	IFAUULT	CLASC	DETC	DISF	PGC	PEC
01	中断使能	R/W	1	1AA0,0A00	SUPEN	STRTE N	IFEN	CLCEN	DEEN	DISEN	PGSEN	PESEN
02	电源事件	RO	1	0000.0000	电源正常状态变化				电源使能状态变化			
03		CoR	1		PGC4	PGC3	PGC2	PGC1	PEC4	PEC3	PEC2	PEC1
04	检测事件	RO	1	0000.0000	分级				检测			
05		CoR	1		CLSC4	CLSC3	CLSC2	CLSC1	DETC4	DETC3	DETC2	DETC1
06	故障事件	RO	1	0000.0000	发生断开				发生 ICUT 故障			
07		CoR	1		DISF4	DISF3	DISF2	DISF1	ICUT4	ICUT3	ICUT2	ICUT1
08	启动/ILIM 事件	RO	1	0000.0000	发生 ILIM 故障				发生启动故障			
09		CoR	1		ILIM4	ILIM3	ILIM2	ILIM1	STRT4	STRT3	STRT2	STRT1
0A	电源事件	RO	1	0011.0000	TSD	-	VDUV	VPUV	-	-	-	-
0B		CoR	1									
0C	端口 1 状态	RO	1	0000.0000	CLASS P1				DETECT P1			
0D	端口 2 状态	RO	1	0000.0000	CLASS P2				DETECT P2			
0E	端口 3 状态	RO	1	0000.0000	CLASS P3				DETECT P3			
0F	端口 4 状态	RO	1	0000.0000	CLASS P4				DETECT P4			
10	电源状态	RO	1	0000.0000	PG4	PG3	PG2	PG1	PE4	PE3	PE2	PE1
11	I ² C 从器件地址	RO ⁽³⁾	1	1010.0000	自动	SLA6	SLA5	SLA4	SLA3	SLA2	SLA1	SLA0
12	运行模式	R/W	1	AAAA,AAAA	端口 4 模式		端口 3 模式		端口 2 模式		端口 1 模式	
13	断开使能	R/W	1	0000,AAAA	-	-	-	-	DCDE4	DCDE3	DCDE2	DCDE1
14	检测/分级使能	R/W	1	AAAA,AAAA	CLE4	CLE3	CLE2	CLE1	DETE4	DETE3	DETE2	DETE1
15	端口 PWR 优先级	R/W	1	AAAA,0000	FSE4	FSE3	FSE2	FSE1	-	-	-	-
16	时序配置	R/W	1	0000.0000	TLIM		TSTART		TICUT		TDIS	
17	通用屏蔽	R/W	1	1000.0000	INTEN	-	-	MAINS	-	-	R	M250
18	检测/分级重启	WO	1	-	RCL4	RCL3	RCL2	RCL1	RDET4	RDET3	RDET2	RDET1
19	电源使能	WO	1	-	POFF4	POFF3	POFF2	POFF1	PWON4	PWON3	PWON2	POWN1
1A	复位	WO	1	-	CLRAIN	CLINP	-	RESAL	RESP4	RESP3	RESP2	RESP1
20	传统检测模式	R/W	1	0000.0000	LEGMOD4		LEGMOD3		LEGMOD2		LEGMOD1	
21	两事件分级	R/W	1	0A0A、 0A0A	TECLEN4		TECLEN3		TECLEN2		TECLEN1	
27	中断计时器	R/W	1	0000.0000	R	R	R	R	TMR 3-0			
29	断开阈值	R/W	1	0000.0000	DCTH4		DCTH3		DCTH2		DCTH1	
2A	ICUT21 CONFIG	R/W	1	0000.0000	-	ICUT 端口 2			-	ICUT 端口 1		
2B	ICUT43 CONFIG	R/W	1	0000.0000	-	ICUT 端口 4			-	ICUT 端口 3		
2C	温度	RO		0000.0000	温度 (位 7 至 0)							
2E	输入电压	RO	2	0000.0000	输入电压 : LSByte							
2F		RO		0000.0000	-	-	输入电压 : MSByte (位 13 至 8)					
30	端口 1 电流	RO	2	0000.0000	端口 1 电流 : LSByte							
31		RO		0000.0000	-	-	端口 1 电流 : MSByte (位 13 至 8)					
32	端口 1 电压	RO	2	0000.0000	端口 1 电压 : LSByte							
33		RO		0000.0000	-	-	端口 1 电压 : MSByte (位 13 至 8)					

表 6-10. I²C 可寻址寄存器组摘要 (1)(2) (续)

CMD 代码	寄存器或命令名称	I ² C R/W	数据字节	RST 状态	字段说明							
34	端口 2 电流	RO	2	0000.0000	端口 2 电流：LSByte							
35		RO		0000.0000	-	-	端口 2 电流：MSByte (位 13 至 8)					
36	端口 2 电压	RO	2	0000.0000	端口 2 电压：LSByte							
37		RO		0000.0000	-	-	端口 2 电压：MSByte (位 13 至 8)					
38	端口 3 电流	RO	2	0000.0000	端口 3 电流：LSByte							
39		RO		0000.0000	-	-	端口 3 电流：MSByte (位 13 至 8)					
3A	端口 3 电压	RO	2	0000.0000	端口 3 电压：LSByte							
3B		RO		0000.0000	-	-	端口 3 电压：MSByte (位 13 至 8)					
3C	端口 4 电流	RO	2	0000.0000	端口 4 电流：LSByte							
3D		RO		0000.0000	-	-	端口 4 电流：MSByte (位 13 至 8)					
3E	端口 4 电压	RO	2	0000.0000	端口 4 电压：LSByte							
3F		RO		0000.0000	-	-	端口 4 电压：MSByte (位 13 至 8)					
40	PoE Plus	R/W	1	0000,----	POEP4	POEP3	POEP2	POEP1	-	-	-	-
41	固件版本	RO	1	RRRR,RRR R	固件版本							
42	I ² C 看门狗	R/W	1	0001.0110	-	-	-	看门狗禁用			WDS	
43	器件 ID	R/W	1	111,sr[4:0]	器件 ID 号			器件修订版本号				
45	冷却/栅极驱动	R/W	1	0000.0000	CLDN		IGATE	-	-	-	-	-
60	端口 1 检测电阻	RO	2	0000.0000	端口 1 电阻：LSByte							
61		RO		0000.0000	RS1		端口 1 电阻：MSByte (位 13 至 8)					
62	端口 2 检测电阻	RO	2	0000.0000	端口 2 电阻：LSByte							
63		RO		0000.0000	RS2		端口 2 电阻：MSByte (位 13 至 8)					
64	端口 3 检测电阻	RO	2	0000.0000	端口 3 电阻：LSByte							
65		RO		0000.0000	RS3		端口 3 电阻：MSByte (位 13 至 8)					
66	端口 4 检测电阻	RO	2	0000.0000	端口 4 电阻：LSByte							
67		RO		0000.0000	RS4		端口 4 电阻：MSByte (位 13 至 8)					
68	端口 1 检测电压差	RO	2	0000.0000	端口 1 电压差 (位 7 至 0)							
69		RO		0000.0000	VDS1				端口 1 电压差：MSByte (位 11 至 8)			
6A	端口 2 检测电压差	RO	2	0000.0000	端口 2 电压差 (位 7 至 0)							
6B		RO		0000.0000	VDS2				端口 2 电压差：MSByte (位 11 至 8)			
6C	端口 3 检测电压差	RO	2	0000.0000	端口 3 电压差 (位 7 至 0)							
6D		RO		0000.0000	VDS3				端口 3 电压差：MSByte (位 11 至 8)			
6E	端口 4 检测电压差	RO	2	0000.0000	端口 4 电压差 (位 7 至 0)							
6F		RO		0000.0000	VDS4				端口 4 电压差：MSByte (位 11 至 8)			

(1) 标记为“R”的位被保留。如果这些位的值从复位值更改为其他值,则可能会导致不良行为。

(2) 标记为“A”的位假定 POR 后编程到寄存器 0x11 中的位的状态。

(3) 该寄存器在从器件地址编程之前带有解锁代码时为读取/写入。

6.5.1 中断寄存器

命令 = 00h，带 1 个数据字节，只读

位	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
位名称	SUPF	STRTF	IFAULT	CLASC	DETC	DISF	PGC	PEC
RESET 或 POR 值	1	0	0	0	0	0	0	0

高电平有效，每个位对应于发生的特定事件。

通过在相应的事件寄存器地址进行读取或通过对复位寄存器的第 7 位进行置位，可以单独复位每个位。

如果中断使能寄存器中的相应启用位以及通用掩码寄存器中的 **INTEN** 位被设置，则中断寄存器的任何活动位都会激活 $\overline{\text{INT}}$ 输出。

位说明

SUPF：指示发生了电源事件故障。

SUPF = TSD || VDUV || VPUV

1 = 至少发生了一个电源事件故障。

0 = 未发生此类事件。

STRTF：表示至少在一个端口上发生启动故障。

STRTF = STRT1 || STRT2 || STRT3 || STRT4

1 = 至少有一个端口发生启动故障。

0 = 未发生启动故障。

IFAULT：表示至少一个端口上发生 ICUT 或 ILIM 故障。

IFAULT = ICUT1 || ICUT2 || ICUT3 || ICUT4 || ILIM1 || ILIM2 || ILIM3 || ILIM4

1 = 至少一个端口发生 ICUT 或 ILIM 故障。

0 = 未发生 ICUT 或 ILIM 故障。

CLASC：表示在至少一个端口上发生了至少一个分级周期。

CLASC = CLSC1 || CLSC2 || CLSC3 || CLSC4

1 = 至少一个端口上发生了至少一个分级周期。

0 = 未发生分级周期。

DETC：表示在至少一个端口上发生了至少一个检测周期。

DETC = DETC1 || DETC2 || DETC3 || DETC4

1 = 至少一个端口上发生了至少一个检测周期。

0 = 未发生检测周期。

DISF：表示至少在一个端口上发生了断开连接事件。

DISF = DISF1 || DISF2 || DISF3 || DISF4

1 = 至少一个端口发生了断开事件。

0 = 未发生断开事件。

PGC：表示在至少一个端口上发生了电源正常状态变化。

PGC = PGC1 || PGC2 || PGC3 || PGC4

1 = 在至少一个端口上发生了电源正常状态变化。

0 = 未发生电源正常状态变化。

PEC : 表示在至少一个端口上发生了电源使能状态变化。

PEC = PEC1 || PEC2 || PEC3 || PEC4

1 = 在至少一个端口上发生了电源使能状态变化。

0 = 未发生电源使能状态变化。

6.5.2 中断使能寄存器

命令 = 01h，带 1 个数据字节，读取/写入

位	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
位名称	SUPEN	STRTEN	IFEN	CLCEN	DEEN	DISEN	PGSEN	PESEN
RESET 或 POR 值	1	A	A	0	0	A	0	0

每个位对应于中断寄存器中定义的特定事件或故障。

向某个位写入 1 将允许相应事件在 $\overline{\text{INT}}$ 引脚上生成中断。

向某个位写入 0 会使相应的事件/故障无法激活 $\overline{\text{INT}}$ 引脚。

备注

中断寄存器的位总是根据事件或故障改变状态，而不管中断启用寄存器的状态如何。还必须设置通用屏蔽 1 寄存器的 INTEN 位，让事件激活 $\overline{\text{INT}}$ 输出。

位说明

SUPEN：电源事件故障使能位。

1 = 电源事件故障激活 $\overline{\text{INT}}$ 输出。

0 = 电源事件故障对 $\overline{\text{INT}}$ 输出无影响。

STRTEN：启动故障使能位。

1 = 启动故障激活 $\overline{\text{INT}}$ 输出。

0 = 启动故障对 $\overline{\text{INT}}$ 输出无影响。

IFEN：IFAULT 使能位。

1 = ICUT 或 ILIM 故障的发生激活 $\overline{\text{INT}}$ 输出。

0 = ICUT 或 ILIM 故障的发生对 $\overline{\text{INT}}$ 输出没有影响。

CLCEN：分级周期中断使能位。

1 = 发生分级周期激活 $\overline{\text{INT}}$ 输出。

0 = 发生分级周期对 $\overline{\text{INT}}$ 输出无影响。

DEEN：检测周期中断使能位。

1 = 发生检测周期激活 $\overline{\text{INT}}$ 输出。

0 = 发生检测周期对 $\overline{\text{INT}}$ 输出无影响。

DISEN：断开事件中断使能位。

1 = 发生断开事件激活 $\overline{\text{INT}}$ 输出。

0 = 发生断开周期对 $\overline{\text{INT}}$ 输出无影响。

PGSEN：电源正常状态更改中断使能位。

1 = 电源正常状态变化激活 $\overline{\text{INT}}$ 输出。

0 = 电源正常状态变化对 $\overline{\text{INT}}$ 输出无影响。

PESEN：电源使能状态更改中断使能位。

1 = 电源使能状态变化激活 $\overline{\text{INT}}$ 输出。

0 = 电源使能状态变化对 $\overline{\text{INT}}$ 输出无影响。

6.5.3 电源事件寄存器

命令 = 02h, 带 1 个数据字节, 只读

命令 = 03h, 带 1 个数据字节, 读取时清除

位	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
位名称	PGC4	PGC3	PGC2	PGC1	PEC4	PEC3	PEC2	PEC1
RESET 或 POR 值	0	0	0	0	0	0	0	0

高电平有效, 每个位对应于发生的特定事件。

每个位 PGCn、PECn 代表一个单独的端口。

每个位置 (02h 或 03h) 的读取会返回相同的寄存器数据, 但“读取时清除”命令会清除寄存器的所有位。

如果该寄存器导致 $\overline{\text{INT}}$ 引脚被激活, 则此“读取时清除”命令将释放 $\overline{\text{INT}}$ 引脚。

任何有效位都会对中断寄存器产生影响, 如中断寄存器说明中所示。

位说明

PGC4-PGC1 : 表示发生了电源正常状态变化。

1 = 发生了电源正常状态变化。

0 = 未发生电源正常状态变化。

PEC4-PEC1 : 表示发生了电源使能状态变化。

1 = 发生了电源使能状态变化。

0 = 未发生电源使能状态变化。

6.5.4 检测事件寄存器

命令 = 04h，带 1 个数据字节，只读

命令 = 05h，带 1 个数据字节，读取时清除

位	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
位名称	CLSC4	CLSC3	CLSC2	CLSC1	DETC4	DETC3	DETC2	DETC1
RESET 或 POR 值	0	0	0	0	0	0	0	0

高电平有效，每个位对应于发生的特定事件。

每个位 CLSCn、DETCn 代表一个单独端口。

每个位置 (04h 或 05h) 的读取会返回相同的寄存器数据，但“读取时清除”命令会清除寄存器的所有位。当端口 n 关闭时，将清除这些位。

如果该寄存器导致 $\overline{\text{INT}}$ 引脚被激活，则此“读取时清除”命令将释放 $\overline{\text{INT}}$ 引脚。

任何有效位都会对中断寄存器产生影响，如中断寄存器说明中所示。

位说明

CLSC4-CLSC1：表示至少发生了一个分级周期。

1 = 至少一个分级周期未发生。

0 = 未发生分级周期。

DETC4-DETC1：表示至少发生了一个检测周期。

1 = 发生了至少一个检测周期。

0 = 未发生检测周期。

6.5.5 故障事件寄存器

命令 = 06h，带 1 个数据字节，只读

命令 = 07h，带 1 个数据字节，读取时清除

位	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
位名称	DISF4	DISF3	DISF2	DISF1	ICUT4	ICUT3	ICUT2	ICUT1
RESET 或 POR 值	0	0	0	0	0	0	0	0

高电平有效，每个位对应于发生的特定事件。

每个位 DISFn、ICUTn 代表一个单独的端口。

每个位置 (06h 或 07h) 的读取会返回相同的寄存器数据，但“读取时清除”命令会清除寄存器的所有位。这些位由 I²C 断电命令 (POFFn) 或端口复位命令 (RESPn) 清除。

如果该寄存器导致 $\overline{\text{INT}}$ 引脚被激活，则此“读取时清除”将释放 $\overline{\text{INT}}$ 引脚。

任何有效位都会对中断寄存器产生影响，如中断寄存器说明中所示。

位说明

DISF4-DISF1：表示发生了断开事件。

1 = 发生了断开事件。

0 = 未发生断开事件。

ICUT4-ICUT1：表示发生了 ICUT 故障。

1 = 发生了 ICUT 故障。

0 = 未发生 ICUT 故障。

6.5.6 启动ILIM 事件寄存器

命令 = 08h，带 1 个数据字节，只读

命令 = 09h，带 1 个数据字节，读取时清除

位	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
位名称	ILIM4	ILIM3	ILIM2	ILIM1	STRT4	STRT3	STRT2	STRT1
RESET 或 POR 值	0	0	0	0	0	0	0	0

高电平有效，每个位对应于发生的特定事件。

每个位 ILIMn、STRTn 代表一个单独的端口。

每个位置 (08h 或 09h) 的读取会返回相同的寄存器数据，但“读取时清除”命令会清除寄存器的所有位。这些位由 I²C 断电命令 (POFFn) 或端口复位命令 (RESPn) 清除。

如果该寄存器导致 $\overline{\text{INT}}$ 引脚被激活，则此“读取时清除”命令将释放 $\overline{\text{INT}}$ 引脚。

任何有效位都会对中断寄存器产生影响，如中断寄存器说明中所示。

位说明

STRT4-STRT1：表示端口打开时发生启动故障。这可能是由以下原因造成：

1. t_{START} 结束时的过流 (折返) 条件。
2. 在半自动或手动模式下，在按钮 PWON 命令之后的检测或分级故障。
3. 半自动或手动模式下第二指上的过流或分级不匹配。

1 = 发生了浪涌故障或分级/检测错误。

0 = 未发生浪涌故障或分级/检测错误。

ILIM4-ILIM1：表示发生 ILIM 故障，这意味着端口已将其输出电流限制在 ILIM 或折叠式 ILIM 上超过 t_{LIM} 。

1 = 发生了 ILIM 故障。

0 = 未发生 ILIM 故障。

6.5.7 电源事件寄存器

命令 = 0Ah，带 1 个数据字节，只读

命令 = 0Bh，带 1 个数据字节，读取时清除

位	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
位名称	TSD	-	VDUV	VPUV	-	-	-	-
POR 值	0	0	1	1	0	0	0	0

高电平有效，每个位对应于发生的特定事件。

每个位置 (0Ah 或 0Bh) 的读取会返回相同的寄存器数据，但“读取时清除”命令会清除寄存器的所有位。

如果该寄存器导致 $\overline{\text{INT}}$ 引脚被激活，则此“读取时清除”将释放 $\overline{\text{INT}}$ 引脚。

任何有效位都会对中断寄存器产生影响，如中断寄存器说明中所示。

位说明

TSD：表示发生了热关断。当发生热关断时，所有端口均断电并处于关闭模式。然而，TPS23861 内部电路继续运行，包括 A/D 转换器。注意，只要内部温度降低到低阈值以下，无论 TSD 位的状态如何，都可能将端口重新上电。

1 = 发生了热关断。

0 = 未发生热关断。

VDUV：表示发生了 VDD UVLO。在上电复位后或 VDD 引脚上的电压降至低于 $V_{\text{UVDD_F}}$ 时，可以设置 VDUV

1 = 发生了 VDD UVLO。

0 = 未发生 VDD UVLO。

VPUV：表示发生了 VPWR UVLO。在上电复位后或者 VPWR 引脚上的电压低于 $V_{\text{PUV_F}}$ 时设置 VPUV。

1 = 发生了 VPWR 欠压。

0 = 未发生 VPWR 欠压。

备注

如果在正常运行期间将 $\overline{\text{RESET}}$ 输入拉至低电平，则在 VPWR 低于其 UVLO 阈值时会设置 VPUV。由于保持了 VDD，因此对 VDUV 没有影响。

当 VPWR 降至 $V_{\text{PUV_F}}$ 以下但不像 $V_{\text{UVLOPW_F}}$ 那样低时，所有端口都会断电，就像执行了按钮关闭一样。(与在电源使能寄存器中向 POFFn 写入 1 相同。) 当 VPWR 欠压 (低于 $V_{\text{UVLOPW_F}}$) 时，所有端口都将断电，并且会进行上电复位。

6.5.8 端口 *n* 状态寄存器

6.5.8.1 端口 1 状态寄存器

命令 = 0Ch，带 1 个数据字节，只读

位	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
位名称	CLASS P1				DETECT P1			
RESET 或 POR 值	0	0	0	0	0	0	0	0

6.5.8.2 端口 2 状态寄存器

命令 = 0Dh，带 1 个数据字节，只读

位	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
位名称	CLASS P2				DETECT P2			
RESET 或 POR 值	0	0	0	0	0	0	0	0

6.5.8.3 端口 3 状态寄存器

命令 = 0Eh，带 1 个数据字节，只读

位	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
位名称	CLASS P3				DETECT P3			
RESET 或 POR 值	0	0	0	0	0	0	0	0

6.5.8.4 端口 4 状态寄存器

命令 = 0Fh，带 1 个数据字节，只读

位	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
位名称	CLASS P4				DETECT P4			
RESET 或 POR 值	0	0	0	0	0	0	0	0

表示端口 *n* 的最新分级和检测结果。当端口 *n* 关闭时，这些位将被清除。

备注

为了禁用对具有未知、短路、开路或 MOSFET 故障检测状态 (0x0C-0x0F) 的任何端口的检测，请清除 0x14 中的相应端口 DETEx 位，而不是将端口关闭命令写入 0x12、0x19 或 0x1A。

位说明

CLASS Pn[3:0] : Class Pn 为每个端口提供一个 4 位字段。CLASS Pn 的值是端口 n 上的最新分级结果。选择如下：

CLASS Pn	分级状态
0000	未知
0001	1 级
0010	2 级
0011	3 级
0100	4 级
0101	保留 - 读为 0 级
0110	0 级
0111	过流
1000	分级不匹配

仅在两事件分级期间才会发生分级不匹配。如果第一个事件和第二个事件的分级状态不同，并且第二个分级状态不是 *过流*，则分级状态设置为分级不匹配。如果第一个分级事件的状态为“过流”，则分级状态在 **CLASS Pn** 中将设置为“过流”，在任何情况下都不会发生第二个分级事件。在自动模式下，端口不会自动上电，但仍可以通过电源使能寄存器进行上电。在分级期间，根据这种故障，在启动/ILIM 事件寄存器中设置相应的 **STRTn** 位。

DETECT Pn[3:0] : DETECT Pn 是每个端口的一个 4 位字段。DETECT Pn 的值是端口 n 上的最新检测结果。

备注

位状态 1001 - 1100 仅适用于传统检测。

选择如下：

DETECT Pn	检测状态
0000	未知 (POR 值)
0001	短路 (<500 Ω)
0010	保留
0011	电阻过低
0100	电阻有效
0101	电阻过高
0110	开路
0111	保留
1000	MOSFET 故障
1001	传统检测
1010	电容测量无效：检测超过钳位电压的测量值
1011	电容测量无效：测得的 Δv 不足
1100	电容测量有效，但超出了传统器件的范围。

6.5.9 电源状态寄存器

命令 = 10h，带 1 个数据字节，只读

位	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
位名称	PG4	PG3	PG2	PG1	PE4	PE3	PE2	PE1
RESET 或 POR 值	0	0	0	0	0	0	0	0

每个位表示一个端口的实际电源状态。

每一位 PG_n、PE_n 代表一个单独的端口。

当端口 n 关闭时（包括故障情况引起关闭时），将清除这些位。

位说明

PG4-PG1：当每个位为 1 时，表示端口已打开，并且端口通电时 DRAIN_n 处的电压已低于 VPGT。一旦完成开启，这些位就会被锁定为高位，只有在端口关闭或重置或通电重置后才能被清除。

1 = 电源正常。

0 = 电源不正常。

PE4-PE1：每个位表示相应端口的开/关状态。

1 = 端口开启。

0 = 端口关闭。

6.5.10 I²C 从器件地址寄存器

命令 = 11h，带 1 个数据字节，只读

位	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
位名称	自动	SLA6	SLA5	SLA4	SLA3	SLA2	SLA1	SLA0
初始 EEPROM 值	1	0	1	0	0	0	0	0

位说明

SLA6-SLA0：I²C 器件地址，存储在 EEPROM 中。该地址可按照 I²C 从器件地址编程协议更改。有关更多详细信息，请参阅 [节 6.3.13](#)。

备注

编程的器件地址不应是 0x00、0x30、0x0C 中的任何一个。

AUTO：定义即使没有主机控制器，控制器是否在自动模式下自动运行。有关自动操作的说明，请参阅 [节 6.3.12](#) 部分。仅在上电复位后或激活 RESET 输入后立即监测该位的状态。该位状态在复位后对寄存器的影响反映在表 6-10 中并被称为“A”。

说明	二进制器件地址						
	6	5	4	3	2	1	0
广播访问	0	1	1	0	0	0	0
警报响应	0	0	0	1	1	0	0
从器件编号	SLA6	SLA5	SLA4	A3 引脚	SLA2	SLA1	SLA0

6.5.11 运行模式寄存器

命令 = 12h，带 1 个数据字节，R/W

位	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
位名称	端口 4 模式		端口 3 模式		端口 2 模式		端口 1 模式	
RESET 或 POR 值	AA		AA		AA		AA	

每个字段配置每个端口的运行模式。

备注

从关闭模式转换到自动模式或从关闭模式转换到半自动模式后，向 0x12 写入运行模式时，需要 1.2ms 的 I²C 总线处理延迟，然后执行检测/分级使能 (0x14) 写入命令。此延迟适用于从运行模式命令结束 (停止脉冲) 到检测/分级启用命令结束 (停止脉冲) 的时间。

位说明

端口 n 模式[1:0]：选择如下：

端口 n 模式 [1:0]	运行模式
00	关闭
01	手动
10	半自动
11	自动

在关闭模式下，端口处于关闭状态，既没有检测也没有分级。在手动模式下，不会自动更改状态。在半自动模式下，检测和分级是自动的，但端口不加电，而在自动模式下，这三者都是自动的。有关这四种运行模式的详细说明，请参阅 节 6.4。

备注

对于任何设置了电源使能的端口 (0x10 中的 PEx=1)，请确保在运行模式寄存器 (0x12) 中将模式更改为关闭之前，0x10 中的端口电源正常状态也被设置 (PGx=1)。

6.5.12 断开使能寄存器

命令 = 13h，带 1 个数据字节，R/W

位	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
位名称	-	-	-	-	DCDE4	DCDE3	DCDE2	DCDE1
RESET 或 POR 值	-	-	-	-	A	A	A	A

启用每个端口的断开检测机制。

位说明

DCDE4-DCDE1：每个端口的直流断开使能。断开连接包括测量 SENn 引脚处的端口电流，如果该电流低于阈值，则启动 TDIS 定时器，如果发生超时，则关闭端口。此外，故障事件寄存器中的相应断开位 (DISFn) 将相应置位。每当电流超过 T_{MPDO} 13% 的断开阈值时，TDIS 定时器就会重置。该计数器不会减小到零以下。有关如何通过写入 TDIS 字段来设置 T_{MPDO} 的更多详细信息，请查看时序配置寄存器。

6.5.13 检测/分级使能寄存器

命令 = 14h，带 1 个数据字节，R/W

位	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
位名称	CLE4	CLE3	CLE2	CLE1	DETE4	DETE3	DETE2	DETE1
RESET 或 POR 值	A	A	A	A	A	A	A	A

每个端口的检测和分级使能位。

在手动模式下，设置某个位意味着只对相应的端口执行一个周期（检测或分级）。此周期完成时将自动清除该位。

备注

通过写入检测/分级重启寄存器可以获得相同结果。

备注

向 0x12、0x18、0x19 或 0x1A 写入命令后，需要 1.2ms 的 I²C 总线处理延迟，然后是检测/分级使能 (0x14) 写入命令。此延迟适用于从 0x12、0x18、0x19 或 0x1A 命令的结束（停止脉冲）到检测/分级使能命令的结束（停止脉冲）。

如果发出端口关闭（电源使能寄存器），它也会被清除。

在半自动模式下，当端口未上电时，只要 CLEn 和 DETEn 位保持设置，就会连续执行检测和分级。首先，执行检测。如果返回 *电阻有效* 状态，则遵循分级。之后，会重复检测分级序列。如果检测事件未返回有效状态，则会跳过分级并重复检测。

在自动模式下，如果端口未上电并且设置了 DETEn 和 CLEn 位，则分级遵循有效检测，并且上电遵循分级，除非分级返回未知、过流或分级不匹配状态。

在启动、ICUT 或 ILIM 之后的冷却周期内，该端口的任何检测/分级使能命令都会延迟，直到冷却期结束。

备注

在冷却期结束时，如果设置了检测使能位，则如前所述，一个或多个检测/类循环会自动重新启动。

位说明

CLE4-CLE1：分级使能位。

1 = 已启用。

0 = 禁用。

DETE4-DETE1：检测使能位。

1 = 已启用。

0 = 禁用。

6.5.14 端口功率优先级寄存器

命令 = 15h，带 1 个数据字节，R/W

位	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
位名称	FSE4	FSE3	FSE2	FSE1	R15[3]	R15[2]	R15[1]	R15[0]
RESET 或 POR 值	A	A	A	A	0	0	0	0

位说明

FSE4-FSE1：支持快速关断的端口功率优先级位；每个端口一位。它用于指定响应 $\overline{\text{SHTDWN}}$ 引脚快速关闭信号的外部断言而关闭哪个或哪些端口。关闭程序类似于使用复位命令进行的端口复位（复位寄存器）。如果在 $\overline{\text{SHTDWN}}$ 引脚为低电平时设置了这些位之一，则该端口也会关断。

1 = 当 $\overline{\text{SHTDWN}}$ 被强制为低电平时，相应端口将断电。

0 = $\overline{\text{SHTDWN}}$ 信号对端口无影响。

保留：位 R15[3:0] 保留以供将来使用。如果这些位的值从其复位值更改为其他值，则可能会导致不良行为。

6.5.15 时序配置寄存器

命令 = 16h，带 1 个数据字节，R/W

位	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
位名称	TLIM		TSTART		TICUT		TDIS	
RESET 或 POR 值	0	0	0	0	0	0	0	0

这些位定义了所有四个端口的时序配置。

备注

当出现启动、ICUT 或 ILIM 条件时，电源状态寄存器中的 PGn 和 PEn 位被清除。

位说明

TLIM[1:0] : ILIM 故障计时，即端口关闭前的折返电流限制时间。在 t_{START} 周期到期后，该计时器会加载与 t_{LIM} 相对应的最大计数；当端口将其输出电流限制为 ILIM 时，计时器会递减计数。如果 ILIM 计时器倒计时至零，则端口将断电。端口断电后，冷却期开始。冷却周期由冷却/栅极驱动寄存器中的 CLDN 字段选择。在冷却期间，端口不会从事检测、分级或上电操作。当端口上电且端口电流低于 ILIM 时，同一计数器以倒计速率的 1/16 速率递增（与 CLDN 字段中的设置无关）。计数器不会在超过与编程的 TLIM 值相对应的最大计数后递增。

备注

在冷却期结束时，当处于半自动或自动模式时，如果设置了检测启用位，则会自动重新启动检测周期。

备注

如果 ILIM 和 ICUT 设置为相同的值，则在 TPS23861 中，这是 ILIM 和 ICUT 之间的竞态条件，取决于与胜利者固件相同。

当 PoE Plus 寄存器中的 POEPn 位被清除时，用于相关端口的 t_{LIM} 始终为标称值 (~60ms)。如果设置了 POEPn 位，则相关端口的 t_{LIM} 可通过以下选择进行编程：

TLIM[1:0]	设置 PoEPn 位时的标称 t_{LIM} (ms)
00	60
01	30
10	15
11	10

TSTART[1:0] : 该 2 位字段设置 t_{START} 周期的长度，这是浪涌期间允许的最大过流时间。如果在 t_{START} 周期结束时电流仍限制为 I_{INRUSH} ，则端口将关闭。接下来是冷却周期，该周期通过冷却/栅极驱动寄存器中的 CLDN 字段进行设置，在此期间，如果处于半自动或自动模式，则无法开启端口。

备注

在冷却周期结束时，当处于半自动或自动模式时，如果设置了分级和检测使能位，则会自动重新启动检测周期。

选择如下：

TSTART [1:0]	标称 t _{START} (ms)
00	60
01	30
10	120
11	保留

TICUT[1:0] : ICUT 故障计时，即端口关闭前的过电流持续时间 (t_{OVLD})。

在 t_{START} 周期到期后，该计时器加载其对应于 t_{OVLD} 的最大计数；当端口电流超过 ICUT 时，计时器会递减计数。如果 ICUT 计时器倒计时至零，则端口将断电。端口断电后，冷却期开始。冷却周期通过冷却/栅极驱动寄存器中的 CLDN 字段设置。在冷却期间，端口不会从事检测、分级或上电操作。当端口上电且端口电流低于 ICUT 时，同一计数器以倒计时速率的 1/16 速率递增（与 CLDN 字段中的设置无关）。计数器不会在超过与编程的 TICUT 值相对应的最大计数后递增。

备注

在冷却周期结束时，当处于半自动或自动模式时，如果设置了检测启用位，则会自动重新启动检测周期。

备注

如果 ILIM 和 ICUT 设置为相同的值，则在 TPS23861 中，这是 ILIM 和 ICUT 之间的竞态条件，取决于与胜利者固件相同。

选择如下：

TICUT[1:0]	标称 t _{OVLD} (ms)
00	60
01	30
10	120
11	240

TDIS[1:0] : 断开延迟，即出现断开条件后关闭端口的时间。

在端口上电并完成 t_{START} 周期后，当端口电流降至 DCTHn 字段中建立的断开阈值以下时，TDIS 计数器启动；每当电流持续高于断开阈值的时间达到 t_{MPDO} 的 13% 时，计数器就会复位。该计数器不会减小到零以下。选择如下：

TDIS[1:0]	标称 t _{MPDO} (ms)
0 0	360
0 1	90
1 0	180
1 1	720

6.5.16 通用屏蔽 1 寄存器

命令 = 17h，带 1 个数据字节，读取/写入

位	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
位名称	INTEN			MAINS	R17[3]	R17[2]	R17[1]	M250
RESET 或 POR 值	1	0	0	0	保留	保留	保留	0

位说明

INTEN : $\overline{\text{INT}}$ 引脚使能位。如果写入 1 则允许中断寄存器的任何位激活 $\overline{\text{INT}}$ 输出。

备注

激活 INTEN 对事件寄存器没有影响。

1 = 任何使能的中断寄存器位都可以激活 $\overline{\text{INT}}$ 输出。

0 = 无法激活 $\overline{\text{INT}}$ 输出。

保留 : 位 R17[3]、R17[2] 和 R17[1] 保留以供将来使用。如果这些位的值从复位值更改为其他值，则可能会导致不良行为。

MAINS : 检测电压测量持续时间位。设置或清除该位，使其与系统中使用 TPS23861 的本地市电频率相对应。A/D 转换器将在检测周期内执行 16 次转换。对这 16 次转换的结果取平均值，得出总采集时间等于电源频率的一个周期。该技术可大大减少检测周期测量中由市电引起的干扰。

1 = 在检测期间以每秒 960A/D 转换速率转换端口电压。这对应于 60Hz 市电频率期间的 16 次转换。

0 = 在检测期间以每秒 800A/D 转换速率转换端口电压。这对应于 50Hz 市电频率期间的 16 次转换。

M250 : 电流检测电阻选择位。设置该位会指示 TPS23861 使用与 250m Ω 电流检测电阻相对应的 ICUT 及分级查找表。

如果 250m Ω 电流检测电阻用作电流检测电阻，则 1 = 设置该位。

如果 255m Ω 电流检测电阻用作电流检测电阻，则 0 = 清除该位。

6.5.17 检测/分级重启寄存器

命令 = 18h，带 1 个数据字节，只写

位	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
位名称	RCL4	RCL3	RCL2	RCL1	RDET4	RDET3	RDET2	RDET1

按钮寄存器。

每个位对应于每个端口的特定周期（检测或分级重启）。

通过在该位的位置写入 1 可以单独触发每个周期，而写入 0 不会对该事件有任何改变。

在手动模式下，会启动单个周期（检测或分级重启）。在半自动和自动模式下，会设置检测/分级使能寄存器中的相应位，TPS23861 按照 [节 6.4](#) 部分的规定运行。

在启动、ICUT 或 ILIM 之后的冷却周期内，会接受该端口的任何检测/分级重启命令，但相应的操作会延迟，直到冷却期结束。

备注

对 0x18 的检测/分级重启写入命令需要 1.2ms 的 I²C 总线处理延迟，然后是检测/分级使能 (0x14) 写入命令。此延迟适用于从检测/分级重启命令结束（停止脉冲）到检测/分级启用命令结束（停止脉冲）的时间。

位说明

RCL4-RCL1：重启分级位。

RDET4-RDET1：重启检测位。

6.5.18 电源使能寄存器

命令 = 19h，带 1 个数据字节，只写

位	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
位名称	POFF4	POFF3	POFF2	POFF1	PWON4	PWON3	PWON2	PWON1

按钮寄存器。设置该寄存器中的位会指示 TPS23861 打开或者关闭端口。

用于在除关断模式之外的任何模式下或在通过 $\overline{\text{SHTDWN}}$ 引脚实现端口关断条件期间强制端口上电或断电。

备注

0x19 的断电写入命令需要 1.2ms 的 I²C 总线处理延迟，然后是检测/分级使能 (0x14) 写入命令。此延迟适用于从断电命令结束 (停止脉冲) 到检测/分级使能命令结束 (停止脉冲) 的时间。

备注

在半自动或自动模式下，只要端口保持关闭，如果设置了相应的分级和检测使能位，就会连续执行检测和分级。

上电操作的详细信息取决于运行模式。有关详细信息，请参阅 [节 6.4](#) 部分。

在 POFFn 位置写入“1”会关闭相关端口。

备注

在同一写入操作期间，在同一端口的 POFFn 和 PWONn 上写入“1”会关闭端口。

在启动、ICUT 或 ILIM 之后的冷却周期内，在半自动或自动模式下，使用电源使能命令开启的任何端口都将被忽略。该端口可以在冷却循环结束时打开。在手动模式下，即使在冷却状态下，该端口也会立即上电以响应上电命令。

位说明

POFF4-POFF1：端口断电位。写入 POFFn 时，会发生以下情况：

- 相应端口 n 电压寄存器被清除。
- 相应的端口 n 检测电阻寄存器被清除。
- 检测事件寄存器中的 CLSCn 和 DETCn 位被清除。
- 相应的端口 n 状态寄存器被清除。
- 检测/分级使能寄存器中的 CLEn 和 DETEn 位会被清除。
- 故障事件寄存器中的 DISFn 及 ICUTn 位被清除。
- 清除启动/ILIM 事件寄存器中的 ILIMn 及 STRTN 位。
- 如果在设置 POFFn 时开启了端口，则将关闭端口，并发生以下情况。
 - 设置电源事件寄存器中的 PGCn 和 PECn 位。
 - 电源状态寄存器中的 PGN 和 PEn 位被清除。

PWON4-PWON1：端口上电位。

备注

对于任何具有电源使能设置 (0x10 中的 PEx=1) 的端口，请确保在向电源启用寄存器 (0x19) 写入断电命令之前也已设置 0x10 中的端口电源正常状态 (PGx=1)。

6.5.19 复位寄存器

命令 = 1Ah，带 1 个数据字节，只写

位	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
位名称	CLRAIN	CLINP		RESAL	RESP4	RESP3	RESP2	RESP1

按钮寄存器。

在某个位的位置写入 1 会触发事件，而写入 0 则不会产生影响。

备注

对 0x1A 的复位端口写入命令需要 1.2ms 的 I²C 总线处理延迟，然后是检测/分级使能 (0x14) 写入命令。此延迟适用于从复位端口命令结束 (停止脉冲) 到检测/分级启用命令结束 (停止脉冲) 的时间。

位说明

CLRAIN：清除所有中断位。向 CLRAIN 写入 1 会清除所有事件寄存器以及中断寄存器中的所有位。还会释放 INT 引脚。

CLINP：将“1”写入该寄存器时，TPS23861 会释放 $\overline{\text{INT}}$ 引脚，而不会影响事件寄存器和中断寄存器。

RESAL：当向该位置写入“1”时复位寄存器位。向该位置写入“1”会产生与上电复位等效的状态。

备注

对于任何设置了电源使能的端口 (0x10 中的 PEx=1)，请确保在将复位端口命令写入复位寄存器 (0x1A) 之前，也会设置 0x10 中的端口电源正常状态 (PGx=1)。

备注

VDUV 和 VPUV 位 (电源事件寄存器) 遵循 VDD 和 VPWR 电源轨的状态。

RESP4-RESP1：重置端口位。用于在任何模式下强制立即关闭端口，方法是在相应 RESPn 位的位置写入 1。当端口 n 重置时，会发生以下情况。

- 相应的端口 n 电压寄存器被清除。
- 检测事件寄存器中的 CLCSn 及 DETCn 位被清除。
- 相应的端口 n 状态寄存器被清除。
- 检测/分级使能寄存器中的 CLEn 和 DETEn 位会被清除。
- 故障事件寄存器中的 DISFn 及 ICUTn 位被清除。
- 启动/ILIM 事件寄存器中的 ILIMn 和 STRTn 位被清除。
- 如果处于冷却状态，冷却计时器的锁定功能将被取消。
- 如果端口在设置 RESPn 时通电，则端口将关闭，并发生以下情况。
 - 设置电源事件寄存器中的 PGCn 和 PECn 位。
 - 电源状态寄存器中的 P Gn 和 PEn 位被清除。

6.5.20 传统检测模式寄存器

命令 = 20h，带 1 个数据字节，读取/写入

位	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
位名称	LEGMOD4		LEGMOD3		LEGMOD2		LEGMOD1	
RESET 或 POR 值	00		00		00		00	

节 6.3.8 中介绍了传统检测操作。TPS23861 可以在检测/分级重启寄存器中的 RDEn 按钮命令的指示下，仅执行传统检测操作，或者在半自动或自动模式下执行传统检测操作（当设置检测/分级使能寄存器中的 DETEn 位时）。请注意，在半自动或自动模式下，如果检测到传统器件，该端口不会自动上电。在这些情况下，端口必须由主机上电。

位说明

LEGMODn[1:0]：传统检测模式字段。该字段定义端口 n 的传统检测模式，如下所示。

LEGMODn[1:0]	传统检测模式
00	禁用传统检测；如果设置了检测/分级使能寄存器中的 DETEn 位，则将执行标准（仅电阻）检测序列。
01	仅限传统检测序列；如果设置了检测/分级使能寄存器中的 DETEn 位，则将执行传统检测序列。
10	标准 + 传统检测序列；如果设置了检测/分级使能寄存器中的 DETEn 位，则将执行标准检测，然后执行传统检测序列。
11	保留

6.5.21 双事件分级寄存器

命令 = 21h，带 1 个数据字节，读取/写入

位	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
位名称	TECLEN4		TECLEN3		TECLEN2		TECLEN1	
RESET 或 POR 值	0A		0A		0A		0A	

双事件分级寄存器可控制在以下情况下将 4 级 PD 分级后是否发生第二物理层分级事件：

- 在手动模式下，当设置了 CLEn 或写入按钮 RCLn 位时。
- 在半自动模式下，设置 CLEn 时或写入 PWONn 按钮命令时。
- 自动模式下

位说明

TECLENn[1:0]：TECLENn 字段设置 PSE 启动的双事件物理层分级的条件，如下所示。这些条件的详细信息取决于上一段和节 6.4 部分中概述的运行模式。

表 6-11. TECLENn 字段编码

TECLENn[1:0]	进行双事件物理层分级的条件
00	禁用双事件物理层分级
01	如果发生 4 级分级事件，则会启动第二分级事件
10	保留
11	如果发生 4 级分级事件，则会启动第二分级事件

6.5.22 中断计时器寄存器

命令 = 27h，带 1 个数据字节，读取/写入

位	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
位名称	R27[7]	R27[6]	R27[5]	R27[4]	TMR[3]	TMR[2]	TMR[1]	TMR[0]
RESET 或 POR 值	0	0	0	0	0	0	0	0

位说明

TMR[3:0]：可以使用内部计时器来推迟非关键中断。加载非零值后，内部计时器会连续计数，周期计算如下：

$$t = N \times t_{\text{STEP}} \quad (1)$$

其中

- T = 计时器周期，ms
- N = TMR[3:0] 字段中的 4 位值
- $t_{\text{STEP}} = 10\text{ms}$

只要计时器倒计时到 0，TPS23861 中生成的非关键中断就会传递给中断处理硬件。（然后计时器重新加载并继续计数。）

备注

“中断处理硬件”还包括所有中断启用功能。

关键和非关键中断在表 6-6 中定义。读取 TMR[3:0] 字段时，内容将是固件上次写入的内容。

当 TMR[3:0] = 0 时，所有中断都将在生成时进行处理。换句话说，当 TMR[3:0] = 0000 时，会禁用此功能。

保留：位 R27[7:4] 保留以供将来使用。如果这些位的值从复位值更改为其他值，则可能会导致不良行为。

6.5.23 断开阈值寄存器

命令 = 29h，带 1 个数据字节，读取/写入

位	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
位名称	DCTH4		DCTH3		DCTH2		DCTH1	
RESET 或 POR 值	00		00		00		00	

可以为每个端口单独编程断开电流阈值。

6.5.23.1 位描述

DCTHn[1:0]：一个 2 位字段，用于设置断开的电流阈值。如果端口上电且电流低于 DCTHn 设置的断开阈值，则 TDIS 计数器会启动。如果 TDIS 定时器超时，则端口断电。

DCTHn FIELD	DISCONNECT THRESHOLD , mA
00	7.5
01	15
10	30
11	50

6.5.24 ICUTnm CONFIG 寄存器

6.5.24.1 ICUT21 CONFIG 寄存器

命令 = 2Ah，带 1 个数据字节，读取/写入

位	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
位名称		ICUT 端口 2					ICUT 端口 1	
RESET 或 POR 值	0	0	0	0	0	0	0	0

6.5.24.2 ICUT43 CONFIG 寄存器

命令 = 2Bh，带 1 个数据字节，读取/写入

位	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
位名称		ICUT 端口 4					ICUT 端口 3	
RESET 或 POR 值	0	0	0	0	0	0	0	0

6.5.24.3 位描述

ICUT 端口 n[2:0]：是一个 3 位字段，用于设置 ICUT 电流阈值。如果超过 ICUT 端口 n 设置的当前阈值，则 TICUT 计时器开始计数。达到终端计数 (0) 时，声明 ICUT 故障，关断端口。

备注

以下表中的电流值为标称值。

ICUT 端口 n 字段	I _{CUT} (mA)	PoEPn ⁽¹⁾
000	374	0
001	110	0
010	204	0
011	374	0
100	754	1
101	592	1
110	645	1
111	920	1

(1) 应根据主机的 ICUT 值设置 PoEPn 位，以确保 ICUT 和 ILIM 关系。

6.5.25 温度寄存器

命令 = 2Ch，带 1 个数据字节，只读

位	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
位名称	Temp[7:0]							
RESET 或 POR 值	0	0	0	0	0	0	0	0

裸片温度寄存器。

位说明

Temp[7:0]：温度的 8 位数据转换结果。定义测量温度的公式为：

$$T = -20 + N \times T_{\text{STEP}} \quad (2)$$

其中

- T = 温度，单位为摄氏度 (°C)
- TSTEP = LSB 值
- Temp[7:0] 中的 N = 8 位值

模式	满量程值	LSB 值
不限	150°C (典型值)	0.7°C

备注

温度传感器性能仅为典型值，未经生产测试，无法保证。

6.5.26 输入电压寄存器

命令 = 2Eh，带 2 个数据字节（第一个是 LSByte，第二个是 MSByte），只读

LSB : 2Eh

位	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
位名称	输入电压[7:0]							
RESET 或 POR 值	0	0	0	0	0	0	0	0

MSB : 2Fh

位	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
位名称	输入电压[13:8]							
RESET 或 POR 值	0	0	0	0	0	0	0	0

位说明

数据转换结果。I²C 数据传输是 2 字节传输。

输入电压[13:0]：输入电压的 14 位数据转换结果。更新速率约为每秒 1 次。

定义测量电压的公式为：

$$V = N \times V_{\text{STEP}} \quad (3)$$

其中

- V = 输入电压，V
- 输入电压寄存器中的 N = 14 位值
- V_{STEP} = LSB 值

模式	满量程值	LSB 值
不限	60V	3.662mV

备注

测量是在 VPWR 和 AGND 之间进行的。

6.5.27 端口 *n* 电流寄存器

6.5.27.1 端口 1 电流寄存器

命令 = 30h，带 2 个数据字节（第一个是 LSByte，第二个是 MSByte），只读

LSB : 30h

位	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
位名称	端口 1 电流[7:0]							
RESET 或 POR 值	0	0	0	0	0	0	0	0

MSB : 31h

位	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
位名称	端口 1 电流[13:8]							
RESET 或 POR 值	0	0	0	0	0	0	0	0

6.5.27.2 端口 2 电流寄存器

命令 = 34h，带 2 个数据字节（第一个是 LSByte，第二个是 MSByte），只读

LSB : 34h

位	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
位名称	端口 2 电流[7:0]							
RESET 或 POR 值	0	0	0	0	0	0	0	0

MSB : 35h

位	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
位名称	-	-	端口 2 电流[13:8]					
RESET 或 POR 值	0	0	0	0	0	0	0	0

6.5.27.3 端口 3 电流寄存器

命令 = 38h，带 2 个数据字节（第一个是 LSByte，第二个是 MSByte），只读

LSB : 38h

位	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
位名称	端口 3 电流[7:0]							
RESET 或 POR 值	0	0	0	0	0	0	0	0

MSB : 39h

位	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
位名称	端口 3 电流[13:8]							
RESET 或 POR 值	0	0	0	0	0	0	0	0

6.5.27.4 端口 4 电流寄存器

命令 = 3Ch，带 2 个数据字节（第一个是 LSByte，第二个是 MSByte），只读

LSB : 3Ch

位	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
位名称	端口 4 电流[7:0]							
RESET 或 POR 值	0	0	0	0	0	0	0	0

MSB : 3Dh

位	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
位名称	端口 4 电流[13:8]							
RESET 或 POR 值	0	0	0	0	0	0	0	0

在以下情况下会持续监控端口电流：

- 端口已上电。
- 端口处于关闭模式。数据转换结果。

I²C 数据传输是 2 字节传输。

备注

转换是使用 TI 专有的多斜率积分转换器完成的。

位说明

端口 n 电流[13:0]：端口 n 电流的 14 位数据转换结果。结果取决于电流检测电阻是 250mΩ 还是 255mΩ。

定义测量电流的公式为：

$$I = N \times I_{\text{STEP}} \quad (4)$$

其中

- I = 端口 n 电流，A
- N = 端口 n 电流寄存器中的 14 位值
- I_{STEP} = LSB 值

R _S = 255mΩ		R _{SENSE} = 250mΩ	
满标度	LSB 值	满标度	LSB 值
1A	61.039μA	1.02A	62.260μA

6.5.28 端口 *n* 电压寄存器

6.5.28.1 端口 1 电压寄存器

命令 = 32h，带 2 个数据字节（第一个是 LSByte，第二个是 MSByte），只读

LSB : 32h

位	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
位名称	端口 1 电压[7:0]							
RESET 或 POR 值	0	0	0	0	0	0	0	0

MSB : 33h

位	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
位名称	端口 1 电压[13:8]							
RESET 或 POR 值	0	0	0	0	0	0	0	0

6.5.28.2 端口 2 电压寄存器

命令 = 36h，带 2 个数据字节（第一个是 LSByte，第二个是 MSByte），只读

LSB : 36h

位	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
位名称	端口 2 电压[7:0]							
RESET 或 POR 值	0	0	0	0	0	0	0	0

MSB : 37h

位	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
位名称	端口 2 电压[13:8]							
RESET 或 POR 值	0	0	0	0	0	0	0	0

6.5.28.3 端口 3 电压寄存器

命令 = 3Ah，带 2 个数据字节（第一个是 LSByte，第二个是 MSByte），只读

LSB : 3Ah

位	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
位名称	端口 3 电压[7:0]							
RESET 或 POR 值	0	0	0	0	0	0	0	0

MSB : 3Bh

位	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
位名称	端口 3 电压[13:8]							
RESET 或 POR 值	0	0	0	0	0	0	0	0

6.5.28.4 端口 4 电压寄存器

命令 = 3Eh，带 2 个数据字节（第一个是 LSByte，第二个是 MSByte），只读

LSB : 3Eh

位	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
位名称	端口 4 电压[7:0]							
RESET 或 POR 值	0	0	0	0	0	0	0	0

MSB : 3Fh

位	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
位名称	端口 4 电压[13:8]							
RESET 或 POR 值	0	0	0	0	0	0	0	0

在以下情况下会持续监控端口电压

- 端口已上电。
- 端口处于关闭模式。

数据转换结果。I²C 数据传输是 2 字节传输。

位说明

端口 n 电压[13:0]: 端口 n 电压的 14 位数据转换结果。定义测量电压的公式为：

$$V = N \times V_{\text{STEP}} \quad (5)$$

其中

- V = 端口 n 电压，V
- N = 端口 n 电压寄存器中的 14 位值
- V_{STEP} = LSB 值

满量程值	LSB 值
60V	3.662mV

备注

端口电压测量是在 VPWR 和 DRAINn 之间进行的。

6.5.29 PoE Plus 寄存器

命令 = 40h，带 1 个数据字节，R/W

位	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
位名称	PoEP4	PoEP3	PoEP2	PoEP1				
RESET 或 POR 值	0	0	0	0				

POEPn 位可由主机处理器通过 I²C 接口进行设置或者清除。此外，在识别到有效的 4 级 PD 后，在端口上电之前，处于自动模式时会设置该位。同样，在自动模式下并且识别到 0、1、2 或 3 级 PD 时，在端口上电之前，将 POEPn 位清除。

一个 POEPn 位支持每个端口。当设置端口的 POEPn 位时：

- 端口上电时，在端口上应用 $2 \times I_{LIM}$ 折返曲线。请参阅图 7-13。
- FET 的短路保护阈值 (I_{LIM}) 相对于 POEPn 位清除值增加至 2.5 倍。
- 可以通过时序配置寄存器中的 TLIM 计时器字段来选择 t_{LIM} 值。

同样，当端口的 POEPn 位清除时：

- 端口上电时，在端口上应用 $1 \times I_{LIM}$ 折返曲线。请参阅图 7-13。
- FET 的短路保护阈值 (I_{LIM}) 降至 POEPn 位设定值的 40%。
- t_{LIM} 值设置为 60ms。

浪涌折返行为不受 POEPn 位设置的影响。请参阅图 7-12。

位说明

PoEPn : PoE+ 位。设置该位会使 $2 \times I_{LIM}$ 折返曲线应用于端口 n。

1 = 在端口 n 上使用 $2 \times I_{LIM}$ 折返曲线。

0 = 在端口 n 上使用 $1 \times I_{LIM}$ 折返曲线。

备注

应根据主机的 ICUT 值设置 PoEPn 位，以确保 ICUT 和 I_{LIM} 关系。请参阅表 7-4

6.5.30 固件版本寄存器

命令 = 41h，带 1 个数据字节，只读

位	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
位名称						FRV		
RESET 或 POR 值	R	R	R	R	R	RRR		

位说明

FRV[2:0] : 固件版本号。

6.5.31 I²C 看门狗寄存器

命令 = 42h，带 1 个数据字节，R/W

位	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
位名称				IWD[3:0]				WDS
RESET 或 POR 值				1	0	1	1	0

I²C 看门狗计时器可监控 I²C 时钟线，从而防止可能使端口处于危险状态的软件挂起情况。该计时器可以通过 SCL 输入的任一边沿复位。如果看门狗计时器超时，则设置 WDS 位。根据 IWD 的值，所有端口都可能断电。标称看门狗超时周期为 2 秒。

当端口由于看门狗事件而断电时，检测事件寄存器 (CLSCn、DETCn)、故障事件寄存器 (DISFn、ICUTn)、启动/ILIM 事件寄存器 (STRTn)、端口 n 状态寄存器 (Pn 类、检测 Pn) 和检测/分级使能寄存器 (CLEn、DETEn) 中的相应位被清除。

电源状态寄存器的相应 PEn 和 PGn 位也相应更新。

位说明

IWD3 - IWD0 : I²C 看门狗禁用。等于 1011 时，屏蔽看门狗。否则，将取消对看门狗的屏蔽，看门狗可以运行。

WDS : I²C 看门狗计时器状态，即使屏蔽了看门狗也有效。设置后表示看门狗计时器已到期，在 I²C 时钟线上没有任何活动。在 WDS 位置写入 0 会将其清除。

备注

当看门狗计时器到期并且未屏蔽看门狗的情况下，也会关闭所有端口。

当端口因 I²C 看门狗而关闭时，检测事件寄存器 (CLSCn、DETCn)、故障事件寄存器 (DISFn、ICUTn)、启动事件寄存器 (STRTn)、端口 n 状态寄存器 (分级 Pn、检测 Pn)、检测/分级使能寄存器 (CLEn、DETEn) 和通电故障寄存器 (PFn) 中的相应位也会被清除。如果有变化，也会设置电源事件寄存器的相应 PGCn 和 PECn 位。电源状态寄存器的相应 PEn 和 PGn 位相应更新。

6.5.32 器件 ID 寄存器

命令 = 43h，带 1 个数据字节，R/W

位	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
位名称	DID			SR				
RESET 或 POR 值	1	1	1					

位说明

DID : 器件 ID 编号 (111)。

SR : 器件版本号。

6.5.33 冷却/栅极驱动寄存器

命令 = 45h，带 1 个数据字节，R/W

位	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
位名称	CLDN		IGATE					
RESET 或 POR 值	0	0	0	0	0	0	0	0

这些位适用于所有四个端口。

位说明

CLDN：故障冷却计时器编程字段。在启动、ICUT 或 ILIM 后，端口关闭，冷却计时器递减计数。在计时器倒计时到 0 之前，如果端口处于半自动或自动模式，则不允许端口上电。如果处于手动模式，则可以通过写入电源使能寄存器中的 PWONn，使用按钮命令立即为端口上电。冷却计时器通过加电复位、设备复位或端口复位来取消（请参阅 [节 6.5.19](#)）。

现场编程为：

CLDN[1:0]	标称冷却计时器周期
0X	1s
10	2s
11	4s

IGATE：栅极上拉电流位。IGATE 设置栅极上拉电流。

IGATE	标称栅极上拉电流 (μA)
0	50
1	25

6.5.34 端口 n 检测电阻寄存器

6.5.34.1 端口 1 检测电阻寄存器

命令 = 60h，带 2 个数据字节（第一个是 LSByte，第二个是 MSByte），只读

LSB : 60h

位	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
位名称	端口 1 电阻[7:0]							
RESET 或 POR 值	0	0	0	0	0	0	0	0

MSB : 61h

位	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
位名称	RS1[1:0]		端口 1 电阻[13:8]					
RESET 或 POR 值	0	0	0	0	0	0	0	0

6.5.34.1.1 端口 2 检测电阻寄存器

命令 = 62h，带 2 个数据字节（第一个是 LSByte，第二个是 MSByte），只读

LSB : 62h

位	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
位名称	端口 2 电阻[7:0]							
RESET 或 POR 值	0	0	0	0	0	0	0	0

MSB : 63h

位	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
位名称	RS2[1:0]		端口 2 电阻[13:8]					
RESET 或 POR 值	0	0	0	0	0	0	0	0

6.5.34.1.2 端口 3 检测电阻寄存器

命令 = 64h，带 2 个数据字节（第一个是 LSByte，第二个是 MSByte），只读

LSB : 64h

位	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
位名称	端口 3 电阻[7:0]							
RESET 或 POR 值	0	0	0	0	0	0	0	0

MSB : 65h

位	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
位名称	RS3[1:0]		端口 3 电阻[13:8]					
RESET 或 POR 值	0	0	0	0	0	0	0	0

6.5.34.1.3 端口 4 检测电阻寄存器

命令 = 66h，带 2 个数据字节（第一个是 LSByte，第二个是 MSByte），只读

LSB : 66h

位	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
位名称	端口 4 电阻[7:0]							
RESET 或 POR 值	0	0	0	0	0	0	0	0

MSB : 67h

位	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
位名称	RS4[1:0]		端口 4 电阻[13:8]					
RESET 或 POR 值	0	0	0	0	0	0	0	0

位说明

最近的 2 点检测电阻测量。仅当 RS_n[1:0] 为 00 或 01 时，显示的电阻值才可用。I²C 数据传输是 2 字节传输。

端口 n 电阻[13:0]：端口 n 检测电阻的 14 位数据转换结果。定义测量电阻的公式为：

$$R = N \times R_{\text{STEP}} \quad (6)$$

其中

- R = 检测电阻，单位为 Ω
- N = 端口 n 电阻寄存器中的 14 位值
- R_{STEP} = LSB 值

可用电阻范围	LSB 值
500 Ω 至 55k Ω	11.0966 Ω

RS_n[1:0]：端口 n 上的最新检测结果状态。如果状态为 00，则使用位权重 11.0966 Ω/位来计算 14 位电阻值。如果状态为 01，则在较高的检测电流 (270μA 和 540μA) 下额外执行了两个检测指。以便更好地测量较低的端口阻抗。在本例中，14 位电阻值通过 4.625 Ω 位权重计算得出。检测结果在检测后的任何运行模式下保存在寄存器中。

R _{Sn1}	R _{Sn0}	检测状态	R _{STEP} 位权重
0	0	其他	11.0966 Ω/位
0	1	低电平 (< 2k Ω)	额外检测 4.625 Ω/位
1	0	开路	不适用
1	1	MOSFET 短路故障	不适用

6.5.35 端口 *n* 检测电压差分寄存器

6.5.35.1 端口 1 检测电压差分寄存器

命令 = 68h，带 2 个数据字节（第一个是 LSByte，第二个是 MSByte），只读

LSB : 68h

位	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
位名称	端口 1 电压差 [7:0]							
RESET 或 POR 值	0	0	0	0	0	0	0	0

MSB : 69h

位	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
位名称	VDS1[3:0]				端口 1 电压差 [11:8]			
RESET 或 POR 值	0	0	0	0	0	0	0	0

6.5.35.2 端口 2 检测电压差分寄存器

命令 = 6Ah，带 2 个数据字节（第一个是 LSByte，第二个是 MSByte），只读

LSB : 6Ah

位	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
位名称	端口 2 电压差 [7:0]							
RESET 或 POR 值	0	0	0	0	0	0	0	0

MSB : 6Bh

位	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
位名称	VDS2[3:0]				端口 2 电压差 [11:8]			
RESET 或 POR 值	0	0	0	0	0	0	0	0

6.5.35.3 端口 3 检测电压差分寄存器

命令 = 6Ch，带 2 个数据字节（第一个是 LSByte，第二个是 MSByte），只读

LSB : 6Ch

位	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
位名称	端口 3 电压差 [7:0]							
RESET 或 POR 值	0	0	0	0	0	0	0	0

MSB : 6Dh

位	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
位名称	VDS3[3:0]				端口 3 电压差 [11:8]			
RESET 或 POR 值	0	0	0	0	0	0	0	0

6.5.35.4 端口 4 检测电压差寄存器

命令 = 6Eh，带 2 个数据字节（第一个是 LSByte，第二个是 MSByte），读取

LSB : 6Eh

位	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
位名称	端口 4 电压差 [7:0]							
RESET 或 POR 值	0	0	0	0	0	0	0	0

MSB : 6Fh

位	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
位名称	VDS4[3:0]				端口 4 电压差 [11:8]			
RESET 或 POR 值	0	0	0	0	0	0	0	0

该寄存器用于通过测量 PI 上的 PD 输入电容来确定是否存在旧 PD。将电荷注入 PI，并报告产生的 Δv 。显示的 Δv 值仅在 VDSn[3:0] = 0001 时可用。

I²C 数据传输是 2 字节传输。

位说明

端口 n 电压差[11:0]：12 位数据转换结果，表示向端口注入固定电荷而导致端口上的电压差。定义测量电阻的公式为：

$$C \cong \frac{k}{N \times V_{STEP}} \quad (7)$$

其中

- C = 端口电容，F
- k = 81x 10⁻⁶ 库仑
- N = 端口 n 检测电压差分寄存器中的 12 位值
- V_{STEP} = LSB 值

备注

端口电容的表达式忽略了与测量电容并联的任何电导的影响。并联电导的作用是给出一个比任何存在的实际电容值都更高的值。

可用电容范围	电压差 LSB 值
10μF 至 100μF	4.884mV

VDSn[3:0] : 端口 n 上的最新检测电压差结果状态。如果处于“0001”状态，则 12 位 Δv 值可用。

如果使用传统检测模式寄存器启用了传统检测，则会在端口上进行此测量。

当启用传统检测时，VDSn 被设置为上电复位状态 (0000b)，直到进行 Δv 测量。

检测结果在测量后的任何运行模式下保存在寄存器中。

选择如下：

VDSn[3:0]	电压差测量状态
0000	上电复位
0001	有效测量
0010	无法在超时前将 PD 输入电容放电至 2.4V
0011	无法达到 0.4V，从而在超时之前进行首次测量
0100	首次测量值超过 VDet 钳位 (最小值)
0101	第二次测量值超过 VDet 钳位 (最小值)
0110	$\Delta V < 0.5V$ (信号不足)

6.5.36 保留寄存器

- 寄存器 0x1B
- 寄存器 0x1D
- 寄存器 0x1E
- 寄存器 0x1F
- 寄存器 0x22
- 寄存器 0x23
- 寄存器 0x24
- 寄存器 0x25
- 寄存器 0x59

保留： 这些寄存器被保留供制造或将来使用。如果对这些寄存器进行写入，则可能会导致不良行为。

7 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。

7.1 PoE 简介

以太网供电 (PoE) 是一种使用数据或备用线对通过以太网电缆向以太网设备供电的方法。PoE 消除了以太网设备对电源的需求。PoE 的常见应用是安全摄像头、IP 电话和 PDA 充电器。用于供电的主机或中跨设备是电源设备 (PSE)。连接到以太网连接器的负载是供电设备 (PD)。PSE 和 PD 之间控制负载功率的 PoE 协议由 IEEE Std 802.3at-2009 定义。在以太网主机端口、中跨和集线器位置需要使用变压器将数据接入电缆。此外，可以在不影响数据信号的情况下将直流电压施加到变压器的中心抽头。与任何输电线路一样，使用相对较高的 48V 来保持低电流，最大限度地减少线路中 IR 压降的影响，并为负载供电。标准 POE 为类型 1 PD 提供大约 13W 的功率，为类型 2 PD 提供 25.5W 的功率。图 7-1 展示了 POE 端口的概览原理图。

7.2 应用信息

TPS23861 是一款四端口 IEEE 802.3at PoE PSE 控制器，可用于非常简单、低端口数的自动或高端口数微控制器管理的应用。

后续各节介绍了具有不同要求 (包括主机控制) 的应用的详细设计过程。

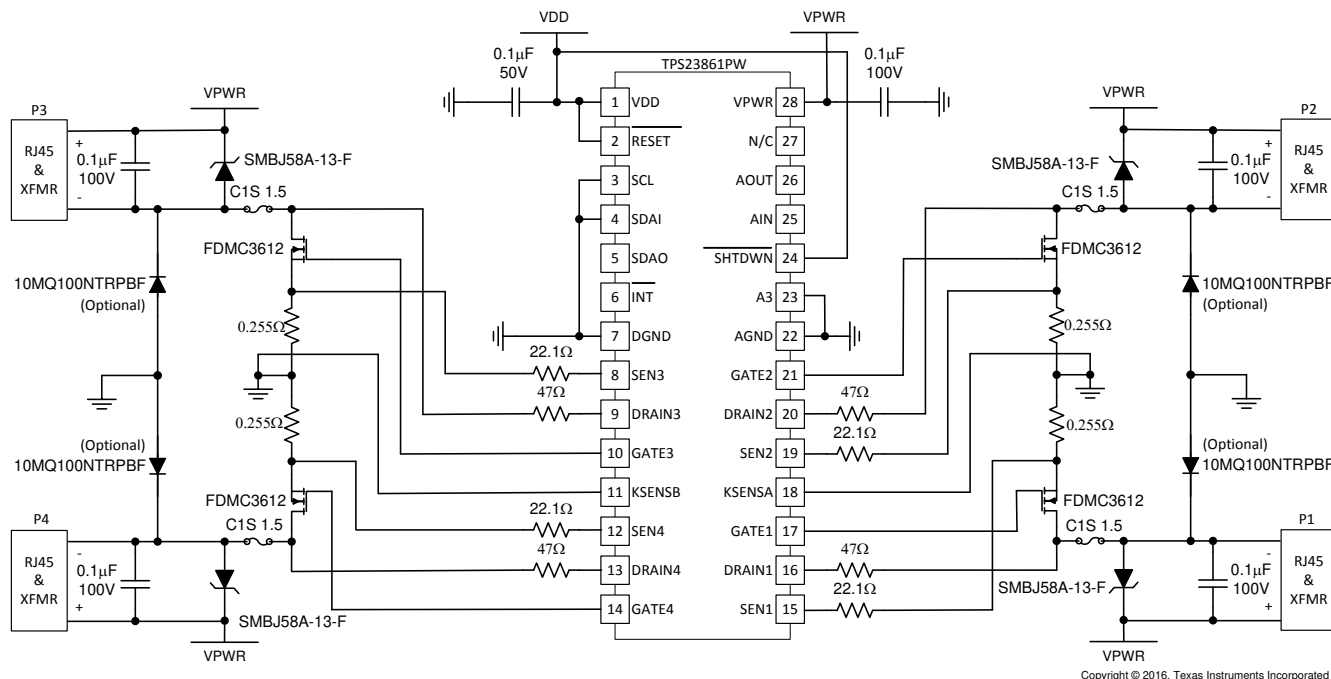


图 7-1. 自动 4 端口运行原理图

图 7-1 的原理图描述了 TPS23861 的自动模式操作，提供了准备为 PoE 负载供电的统包功能。无需连接到 I²C 总线或任何类型的主机控制。在图 7-1 中，TPS23861 自动：

1. 执行负载检测。
2. 执行分级，包括高达 4 级负载的类型 2（两指）。
3. 启用功率，同时具有保护性折返电流限制和基于负载类别的 ICUT 值。
4. 在发生负载故障和短路时关断。
5. 执行维持功率特征功能，确保在断开负载时断电。
6. 如果 VPWR 低于 V_{PUV_F}（典型值为 26.5V），则会发生欠压锁定。

在执行断电命令、断开连接或由于启动故障、ICUT 故障或 ILIM 故障而导致关断之后，端口将断电。在由于断电命令或断开连接而关闭端口电源后，TPS23861 继续自动运行，并从检测周期开始。如果关断是由于启动、ICUT 或 ILIM 故障导致的，TPS23861 将进入冷却期。在冷却期结束后，TPS23861 继续自动运行，从检测周期开始。

在以下情况下，TPS23861 不会自动向端口供电：

- 检测状态不是电阻有效。
- 分级状态为过流、分级不匹配或未知。

7.2.1 开尔文电流检测电阻器

每个 PSE 断开中的负载电流是作为值为 255mΩ 的低端电流检测电阻器上的电压进行检测的。为了更精确地进行电流检测，电流检测电阻器低端的开尔文检测是通过端口 1 和 2 的引脚 KSENSA 以及端口 3 和 4 的引脚 KSENSB 提供的。

7.2.2 未使用端口上的连接

TPS23861 可用于只需要 1 到 4 个端口的应用。在未使用的端口上，将 SENx 引脚接地，并使 GATEx 引脚悬空。DRAINx 引脚可以接地或保持断开（保持断开可能会略微降低功耗）。未使用的 PORT4 的一个示例如图 7-2 所示。有关详细的设计和组件选择信息，请参见节 7.4。

此原理图显示了未使用 PORT4 的连接。

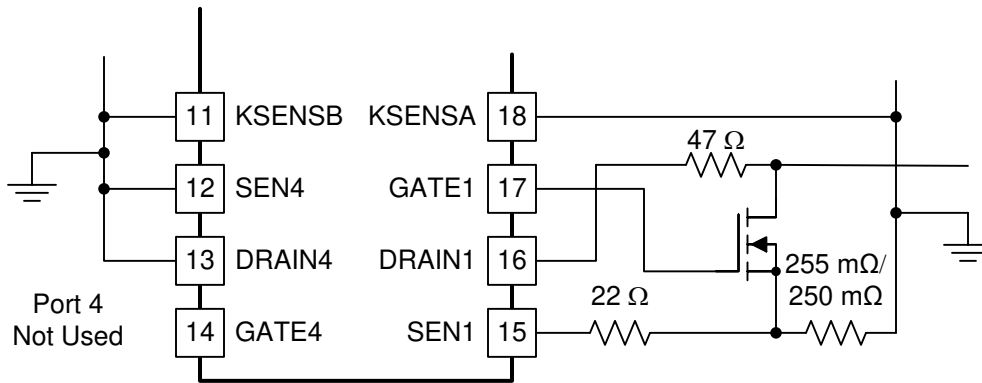


图 7-2. 未使用的 PORT4 的连接

7.3 典型应用

展示了多个端口数的典型应用。TPS23861 是端口数少于提供的 4 个端口的有效选择，这些应用清楚地显示了未使用端口的连接。

显示了自动模式和半自动模式的应用。在除自动模式外的任何模式下操作都需要 I²C 主机支持。TPS23861 在多端口应用中提供有用的遥测功能，有助于实现端口功率管理。

7.3.1 具有外部端口复位功能的双端口自动模式应用

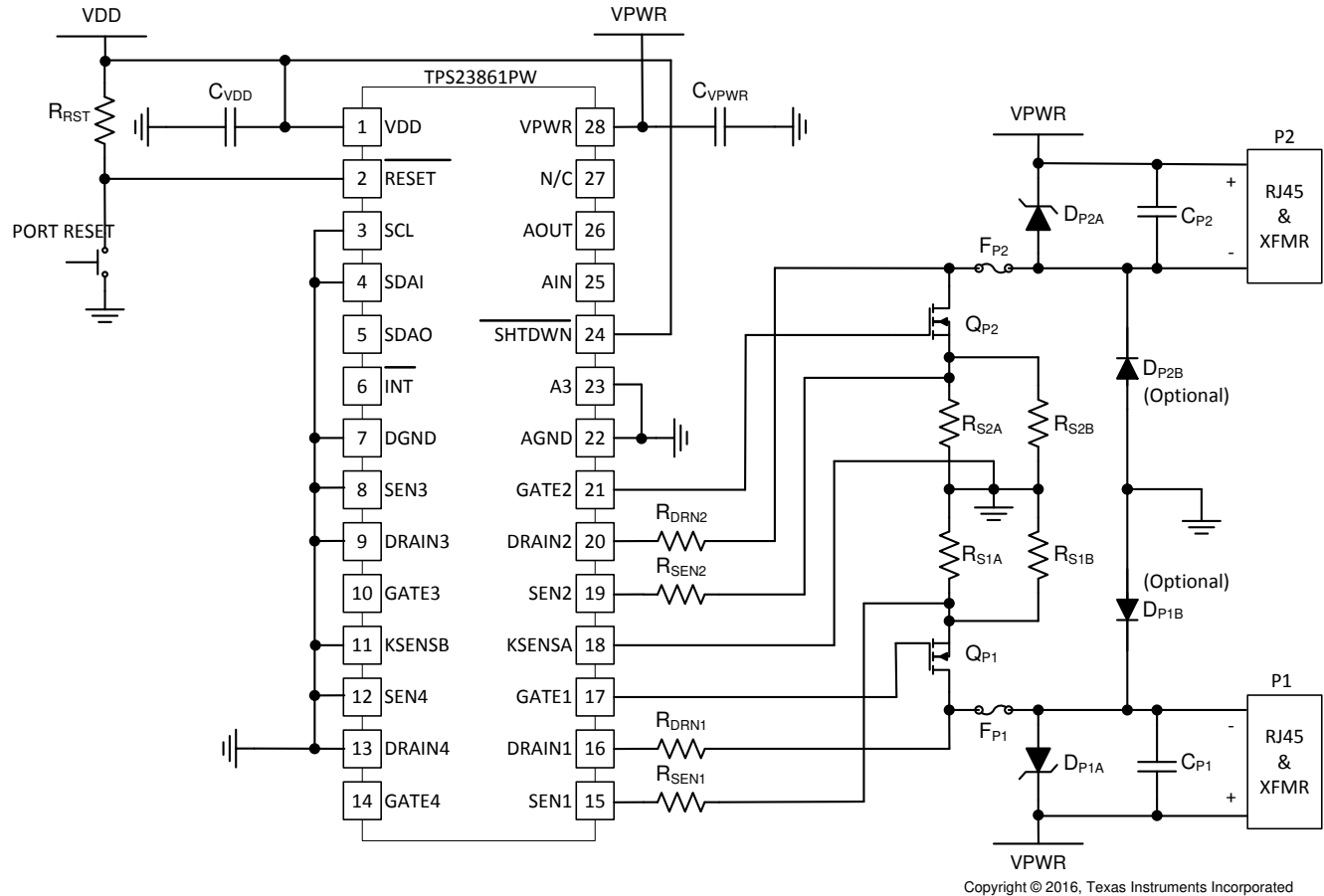


图 7-3. 带端口复位的双端口自动模式应用

7.3.1.1 设计要求

表 7-1. 设计参数

设计参数	值
运行模式	自动模式
端口数量/类型	两个类型 2 端口
其他要求	按钮端口复位

7.3.2 四端口自动模式应用

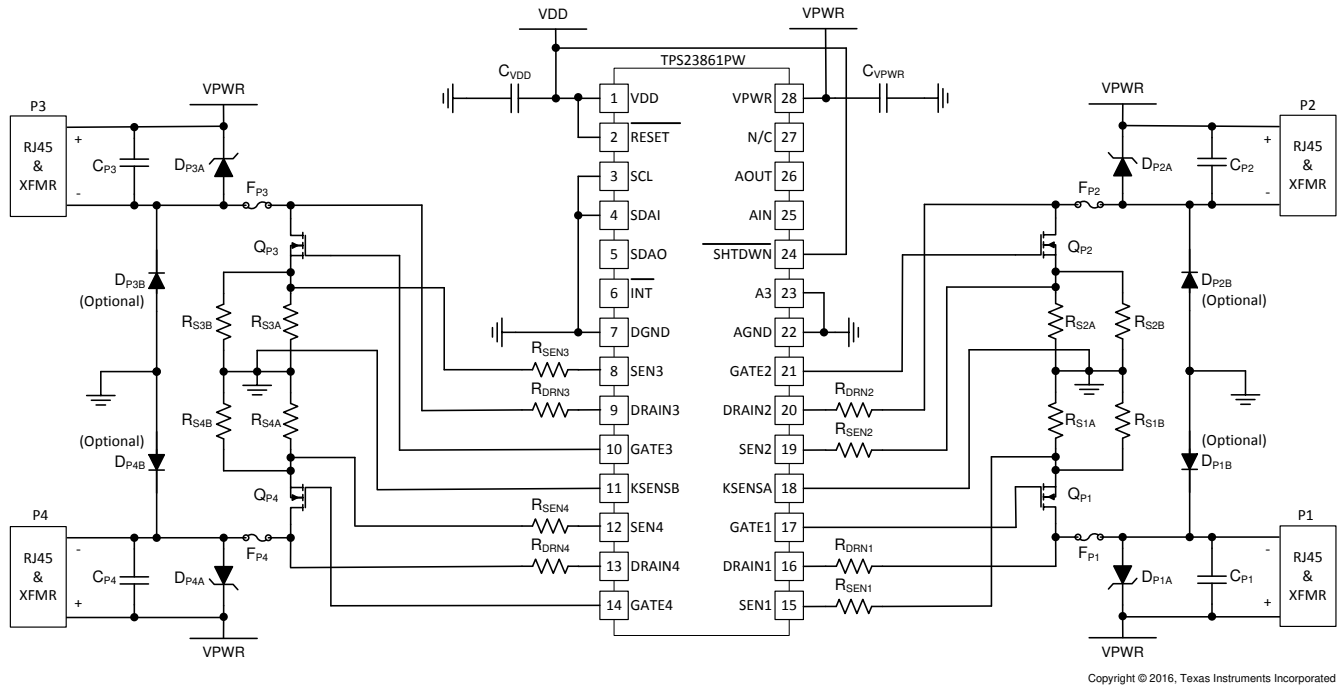


图 7-4. 四端口自动模式应用

7.3.2.1 设计要求

四端口自动模式应用的设计与按二扩展的两端口设计相同。此外，四端口应用不需要端口复位，因此 **RESET** 引脚可直接连接到 VDD。

表 7-2. 设计参数

设计参数	值
运行模式	自动模式
端口数量/类型	四个类型 2 端口

7.3.3 使用 MSP430 微控制器的八端口半自动模式应用

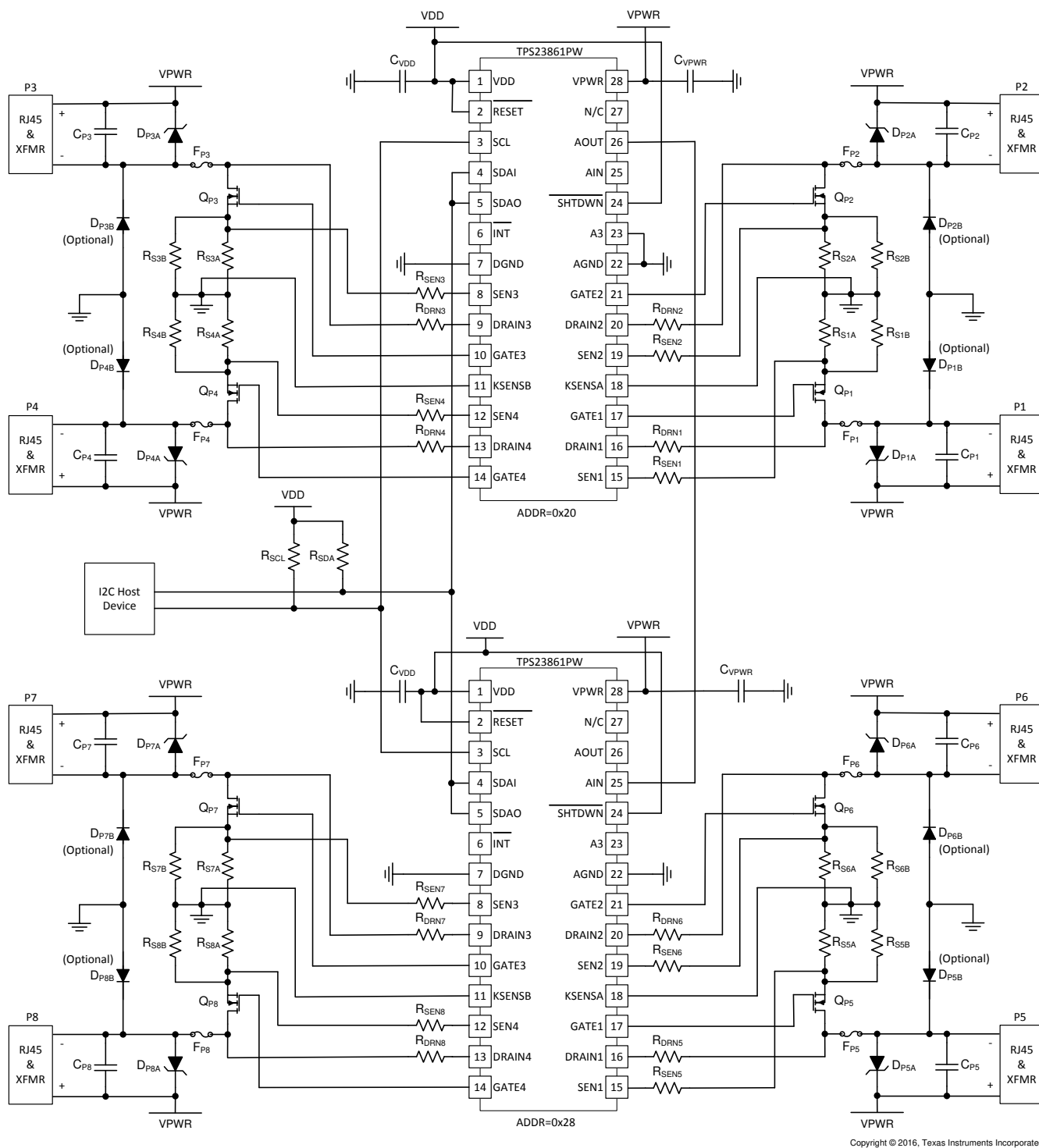


图 7-5. 八端口半自动模式应用

7.3.3.1 设计要求

八端口半自动模式应用的设计与按四扩展的两端口设计相同。此外，八端口应用不需要端口复位，因此 **RESET** 引脚可直接连接到 VDD。两个 TPS23861 器件用于八端口配置，并由 I²C 主机器件进行管理。当 A3 引脚处于低电平时，每个 TPS23861 的出厂默认 I²C 地址为 0x20；当 A3 引脚保持开路或连接到 VDD 时，该地址为 0x28。

表 7-3. 设计参数

设计参数	值
运行模式	半自动模式
端口数量/类型	八个类型 2 端口
其他要求	受管理微控制器

备注

RESET 引脚必须保持低电平，直到 VPWR 和 VDD 都高于自己的 UVLO 阈值为止。

7.3.4 详细设计过程

7.3.4.1 电源引脚旁路电容器

- **C_{VPWR}**：引脚 28 (VPWR) 上的 0.1μF、100V、X7R 陶瓷电容器
- **C_{VDD}**：引脚 1 (VDD) 上的 0.1μF、50V、X7R 陶瓷电容器

7.3.4.2 各端口的元件

- **R_{DRNn}**：R_{DRNn} 应该是采用 0603 SMT 封装的 47 Ω、5%、0.1W 电阻器。
- **R_{SENn}**：R_{SENn} 应该是一个采用 0603 SMT 封装的 22.1 Ω、1%、0.1W 电阻。
- **C_{Pn}**：0.1 μF，100V，X7R 陶瓷电容，位于 VPWR 和 Pn- 之间
- **R_{SnA} / R_{SnB}**：端口电流检测电阻可以是两个 0.51 Ω、1% 并联电阻 (0.255 Ω) 或四个 1.00 Ω、1% 并联电阻 (0.250 Ω) 的组合。最常见的用法是采用 0805 SMT 封装的双路 0.51 Ω、1%、0.25W 电阻器。电阻器对在最大 I_{CUT} 条件下的功率耗散约为 117mW (每个约为 58mW)。
- **Q_{Pn}**：端口 MOSFET 可以是具有平均性能特征的小型低成本器件。
 - 出于高压浪涌环境的考虑，BVDSS 应至少为 100V。
 - 出于功率耗散考虑，R_{DS(on)} (V_{GS} = 10V) 应位于 50mΩ 和 150mΩ 之间。
 - 在最大 I_{CUT} 下，R_{DS(on)} = 100mΩ 的 Q_{pnpn} 的功率耗散约为 46mW。
 - 输入电容 (C_{ISS}) 应当小于 2000pF。
 - V_{GATEn} = 12.5V 时的栅极电荷 (Q_G) 应小于 50nC (请参阅下面的注释)。

备注

对于在软过载条件 (1 至 1.5 倍 ILIM) 下需要更快响应时间的应用，Q_G @ V_{GATEn} = 12.5V 可能需要 << 50nC。

- **F_{Pn}**：端口保险丝应为慢烧型，额定电压至少为 60VDC，额定电流为 ~2x I_{CUT(max)}。为减少直流损耗，冷电阻应当低于 200mΩ。F_{Pn} 的功耗在冷电阻为 180mΩ 且最大 I_{CUT} 条件下的功耗约为 83mW。
- **D_{PnA}**：端口 TVS 应当符合预期端口浪涌环境的要求。在预期的峰值浪涌电流下，D_{PnA} 应当具有 58V 的最小反向关断电压和 95V 的最大钳位电压。
- **D_{PnB}**：负压钳位二极管是极端浪涌环境下可选的。D_{PnB} 的额定电压应为 V_R = 100V (最小值)，并且能够承受预期的浪涌电流。在额定电流下实现低正向压降是有益的。

7.3.4.3 系统级元件 (未在原理图中显示)

- **TVS** : 在预期的峰值浪涌电流下, 系统 TVS 的最小反向隔离电压应为 58V, 最大箝位电压应为 95V。
- **大容量电容器** : 系统大容量电容器的额定电压应为 100V, 可以是铝电解型。较低的值可以并联以至少每四个端口实现 47 μ F。
- **数字 I/O 上拉电阻器** : $\overline{\text{RESET}}$ 、AIN、A3 和 $\overline{\text{SHTDWN}}$ 通过 50k Ω (典型值) 电阻器在内部上拉至 VDD。可以在外部添加更强的上拉电阻器, 例如 SMT 封装中的 10k Ω 、1%、0.063W 型。SCL、SDAI、SDAO 和 $\overline{\text{INT}}$ 需要在 1k Ω 至 10k Ω 范围内的外部上拉电阻器, 具体取决于总线上的器件总数。AOUT 引脚连接至上游器件 (到 AIN 引脚) 或保持未连接状态, 因此不需要外部上拉电阻器。
- **以太网数据转换器 (每个端口)** : 在存在直流端口电流情况时, 以太网数据变压器的运行必须满足 IEEE802.3at 标准。选择的变压器还需要与以太网 PHY 兼容。变压器也可以集成到 RJ45 连接器和电缆终端中。
- **RJ45 连接器 (每个端口)** : RJ45 连接器的大多数要求都是机械方面的要求, 包括凸片方向、外壳类型 (屏蔽还是非屏蔽) 或高度集成。集成的 RJ45 至少包括以太网数据变压器和电缆终端。集成类型还可以包含端口 TVS 和共模 EMI 滤波功能。
- **电缆终端 (每个端口)** : 电缆终端通常由串联电阻器 (通常为 75 Ω) 和电容器 (通常为 10nF) 电路组成, 这些电路从每个数据变压器中心抽头连接到一个公共节点, 然后通过一个高压电容器 (通常在 2kV 时为 1000pF 至 4700pF) 旁路至机箱接地端 (或系统接地端)。

7.3.5 应用曲线



图 7-6. 开路检测

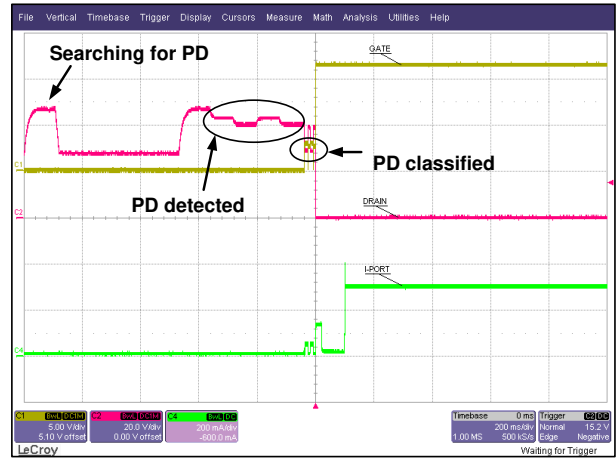


图 7-7. 连接 PD 后的上电序列

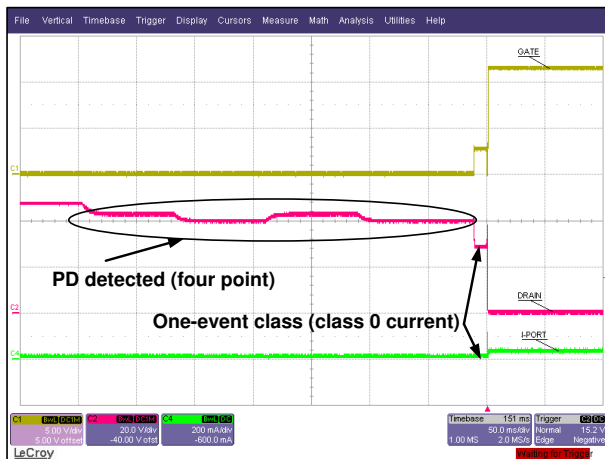


图 7-8. 四点检测、单事件分级 (0 级) 和上电

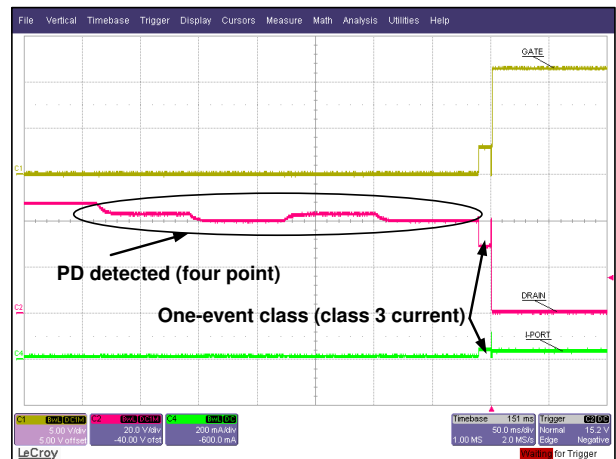


图 7-9. 四点检测、单事件分级 (3 级) 和上电

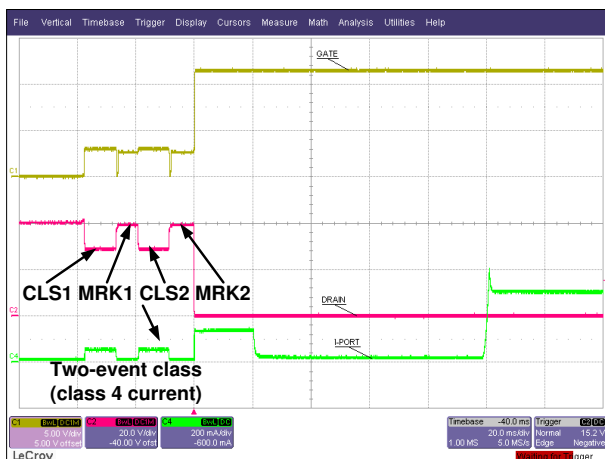


图 7-10. 两事件分级 (4 级) 和上电

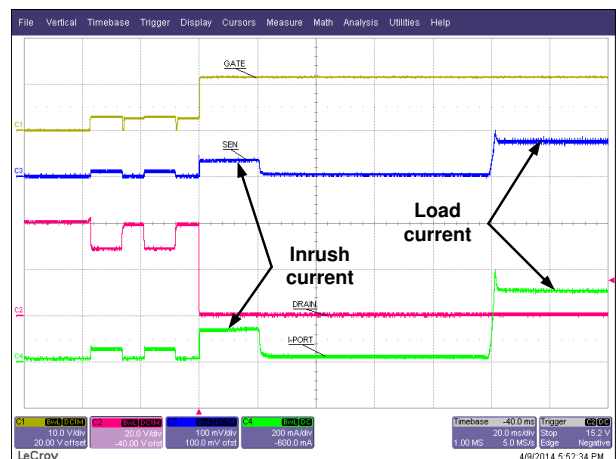


图 7-11. 浪涌和负载开启

7.4 系统示例

7.4.1 过流和过载保护

TPS23861 提供三个级别的过流保护。在上电后的 t_{START} 期间内，提供了如 [节 7.4.2](#) 中所述的浪涌电流保护。该保护功能允许 PD 的输入电容充电至电源接口上的全输入电压，同时确保导通 FET 保持在其安全工作区内。

在 t_{START} 周期结束后，会对端口应用两级限流保护方案。第一级（即较低的电流）是 ICUT 电流限制。ICUT 限流阈值是使用 ICUTnm CONFIG 寄存器设置的，并且在时序配置寄存器中包含使用 TICUT 字段设置的超时 t_{OVLD} 。如果由于超过 ICUT 电流阈值而导致 TICUT 计时器超时，端口将断电，并设置 FAULT EVENT 寄存器中的 ICUTn 位，并提供将中断置为有效的选项。端口断电延迟可防止中等负载瞬态期间出现杂散断电。请参阅 [节 7.4.3](#)。

第二级上电限流保护是 ILIM 电流限制。ILIM 电流限制是一个硬性限制。也就是说，当达到 ILIM 电流阈值时会施加包括电压折返在内的硬件保护。如果发生极端过载或短路，则会调用这种二级保护。ILIM 电流限制值通过 PoE Plus 寄存器中的 POEPn 位进行设置。此外，当达到 ILIM 值时，ILIM 计时器会启动。如果 ILIM 计时器超时，端口断电，并设置启动/ILIM 事件寄存器中的 ILIMn 位，其中选择使中断有效。请参阅 [节 7.4.4](#)。

7.4.2 浪涌保护

TPS23861 根据 [图 7-12](#) 中的曲线提供浪涌电流限制。当端口首次上电时，TSTART 计时器会启动。当 TSTART 计时器计数时，端口电流被限制为 I_{INRUSH} ，如 [图 7-12](#) 所示。如果在 t_{START} 周期结束时电流在 I_{INRUSH} 持续限制，则端口将断电，并设置启动/ILIM 事件寄存器中的 STRTn 位，并选择使中断生效。

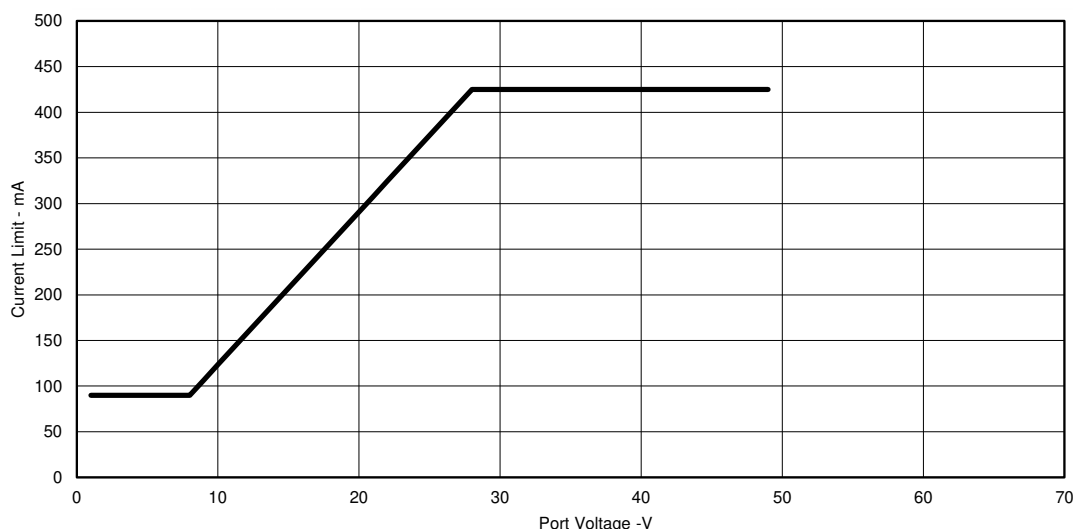


图 7-12. 浪涌期间折返（端口开启时） I_{Inrush} 与 V_{PORT} 间的关系

7.4.3 ICUT 电流限值

除了 ILIM 折返曲线施加的绝对电流限制 (图 7-13) 外, TPS23861 还支持额外级别的电流限制保护。

当达到 ICUT 电流限制阈值时, TICUT 计时器开始递减计数。当达到零时, 端口断电。如果端口电流在 TICUT 计时器计数时降至 ICUT 限流阈值以下, 则 TICUT 计时器会向上计数 (尽管速度较慢), 但不会超过 TICUT 字段中设置对应的最大计数。

应用 ICUT 限流阈值时应使其设置低于 ILIM 电流限制的设置。也就是说, 应在 TPS23861 通过 ILIM 电流限制对端口电流进行折返控制之前达到 ICUT 阈值。为此, 应将 ICUT 阈值设置为低于 ILIM 电流限制。除在自动模式下 (或设置了 AUTO 位) 外, 这必须由主机完成。在这种情况下, 在端口上电之前, 可以根据分级结果正确设置 ICUT 和 ILIM 的设置。

ICUT 电流限制阈值 (ICUT) 可以在 ICUTnm CONFIG 寄存器的 3 位 ICUT 端口 n 字段中按端口进行编程。ICUT 端口 n 字段的编码如表 7-4 所示。表 7-4 中的当前值为标称值。

表 7-4. ICUT 电流限制编码

ICUT 端口 n 字段	ICUT (mA)	PoEPn ⁽¹⁾
000	374	0
001	110	0
010	204	0
011	374	0
100	754	1
101	592	1
110	645	1
111	920	1

(1) 应根据主机的 ICUT 值设置 PoEPn 位, 以确保 ICUT 和 ILIM 关系。

7.4.4 折返保护 (ILIM)

TPS23861 具有两种类型的折返保护机制，用于实现全面的 MOSFET 保护。在端口通电时浪涌期间，折返基于端口电压，如图所示。

备注

无论 PoE Plus 寄存器中 PoEPn 位的状态如何，浪涌电流曲线都保持不变。

在端口通电且电源良好有效后，应用双斜率折返电流限制，防止端口输出处的部分和全部短路，同时仍然能够在 TPS23861 输入电压或负载电流的正常瞬态期间保持端口通电。请参阅图 7-13。注意，设置 POEPn 位将选择 2x 曲线，而清除此位将选择 1x 曲线。

当达到图 7-12 和图 7-13 中的电流限制阈值时，TLIM 计时器开始递减计数。当达到零时，端口断电。如果在 TLIM 计时器计数时清除 ILIM 电流限制条件，则 TLIM 计时器以较慢的速率递增计数，而不超过与时序配置寄存器 TLIM 字段中的设置相对应的最大计数。

如果端口发生短路，TPS23861 会在外部 FET 的栅极上强制实现零电压，以防止损坏。折返电路在微秒内启动，在达到 ILIM 超时之前，根据折返计划控制端口电流。

应用 ILIM 电流限制时，需使其设置大于 ICUT 电流阈值的设置。也就是说，在 TPS23861 通过 ILIM 电流限制对端口电流进行折返控制之前，应满足 ICUT 电流限制条件。为此，ILIM 电流限制必须设置为大于 ICUT 电流阈值。除在自动模式下（或设置了 AUTO 位）外，这必须由主机完成。在这种情况下，在端口上电之前，将根据分级结果正确设置 ICUT 和 ILIM 的设置。

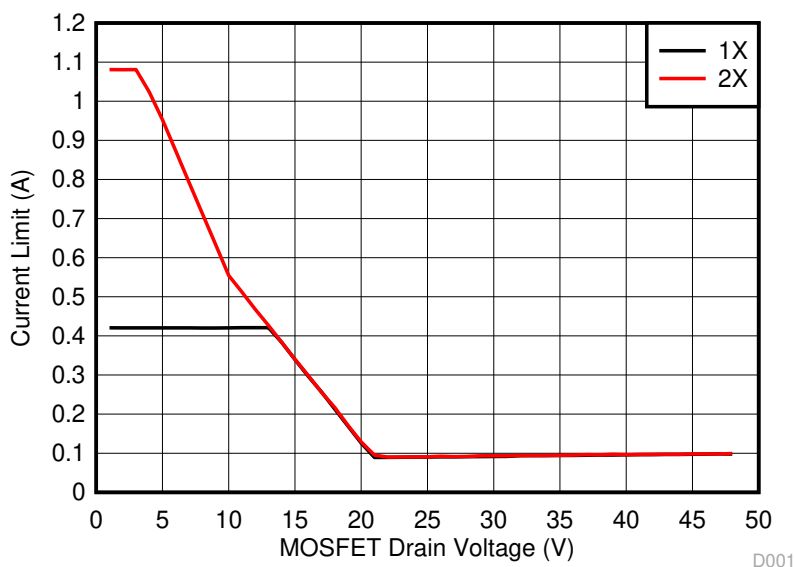


图 7-13. 折返端口开启 (ILIM 与 V_{DRAIN} 间的关系)

7.4.5 开尔文电流检测电阻器

每个 PSE 断开中的负载电流是作为值为 $255\text{m}\Omega$ 的低端电流检测电阻器上的电压进行检测的。或者，可以使用 $250\text{m}\Omega$ 的电阻器。如果使用 $250\text{m}\Omega$ 检测电阻器，则必须设置通用屏蔽 1 寄存器中的 M250 位。为了更精确地进行电流检测，电流检测电阻器低端的开尔文检测是通过端口 1 和 2 的引脚 KSENSA 以及端口 3 和 4 的引脚 KSENSB 提供的。图 7-14 展示了开尔文检测方案。

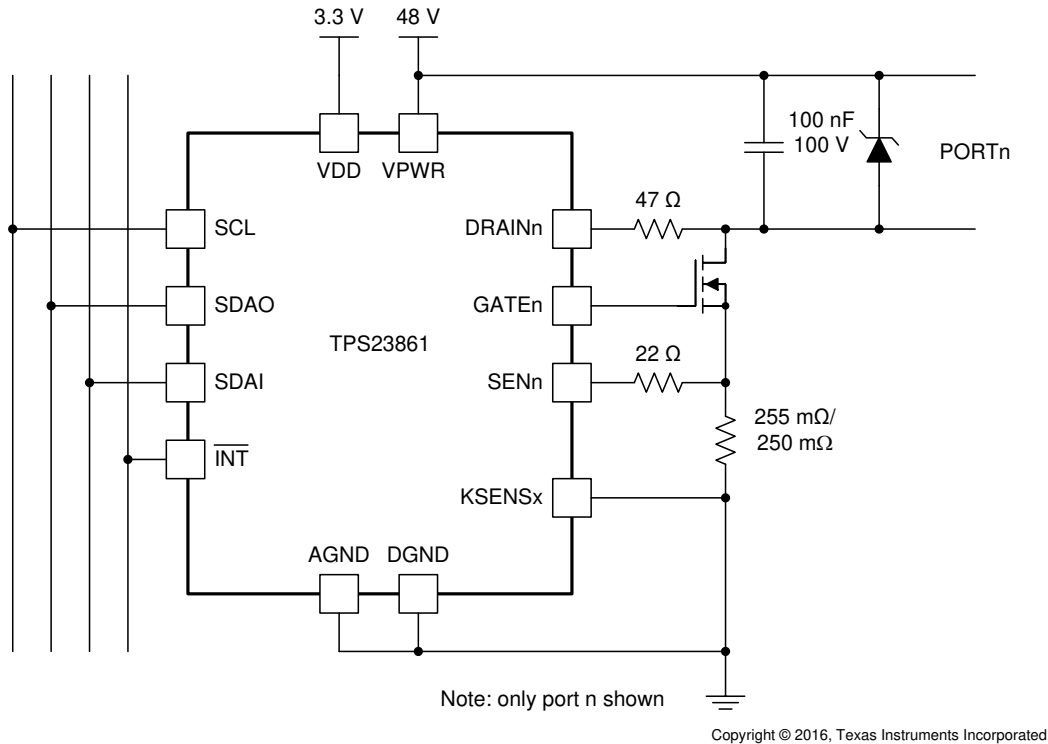


图 7-14. 开尔文电流检测连接

7.5 电源相关建议

7.5.1 VDD

建议的 VDD 电源电压要求为 $3.3\text{V} \pm 0.3\text{V}$ 。每个 TPS23861 需要 VDD 电源提供大约 5mA 的典型值及 6mA 的最大值。VDD 电源可通过一个线性稳压器 (TPS7A4001) 从 VPWR 生成 (对于单个 TPS23861/基于自动模式的 PSE)，或者通过一个降压型稳压器 (基于 LM5007 或 LM5019) 生成，从而使用多个在自动或半自动模式下运行的 TPS23861 实现更高端口数的 PSE。

电源设计必须确保 VDD 电源轨在 V_{UVDDR} 中单调上升，而在负载打开时不会下降到 V_{UVDDF} 以下。为此需要在 VDD 轨道上使用适当的大容量电容，在最坏设计情况的基础上实现预期的负载电流步长。此外，去耦电容和大容量存储电容的组合必须能够在加电后的任何预期瞬态断电期间将 VDD 轨保持在 $UVLO_fall$ 阈值上方。

7.5.2 VPWR

建议的 VPWR 电源电压要求为 44V 至 57V 。标称输出为 48V 或 54V 的电源可支持 1 类和类型 2 PD 要求。VPWR 电源所需的输出电流取决于系统所需的端口数量及类型。TPS23861 可以针对 1 类和类型 2 端口进行配置，电流限制按比例设置。1 类端口的 ICUT 为 374mA 、 $\pm 5\%$ ，类型 2 端口的 ICUT 为 645mA 、 $\pm 5\%$ 。根据要支持的端口数量和类型，相应地调整 VPWR 电源的电压大小。例如，假设采用最大端口电流和待机电流，八个 1 类端口的 VPWR 电源额定值应大于 3.2A ，八个类型 2 端口应大于 5.5A 。

7.5.3 VPWR-RESET 时序

RESET 引脚上的电压 (V_{RESET}) 应保持在 0.9V 以下, 直到 V_{VPWR} 超过 $V_{\text{UVLOPW_R}}$ 。如果在 V_{VPWR} 超过 $V_{\text{UVLOPW_R}}$ 后导通 VDD, 则无需延迟 RESET。如果 VDD 在 V_{VPWR} 超过 $V_{\text{UVLOPW_R}}$ 之前导通, 则需要延迟 RESET。该延迟可以由系统主机或通过使用内部 (典型值为 50k Ω) 或外部上拉电阻器连接到 RESET 引脚的电容 (C_{RST}) 来提供。

备注

对于图 6-1、图 7-1、图 7-3、图 7-4 和图 7-5 中所示的示意图, 当 VPWR 电源电压超过 $V_{\text{UVLOPW_R}}$ 后 VDD 电源将开启。有关 TPS23861 加电时序的更多详细信息, 请参阅应用手册 [TPS23861 加电注意事项 SLVA723](#)。

7.6 布局

7.6.1 布局指南

7.6.1.1 端口电流开尔文检测

KSENSA 由 SEN1 和 SEN2 共用, 而 KSENSA 在 SEN3 和 SEN4 之间共享。为了优化测量精度, 必须仔细进行 PCB 布局, 确保尽可能减少 PCB 走线电阻的影响。示例请参考图 7-15。

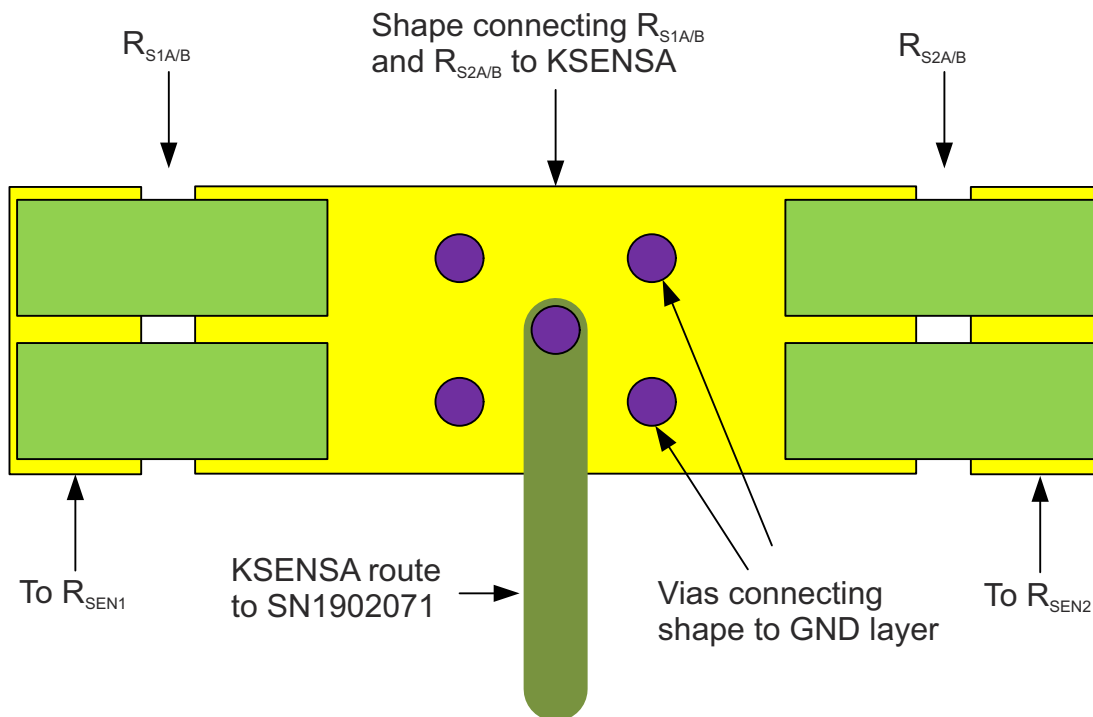


图 7-15. 开尔文检测布局示例

7.6.2 布局示例

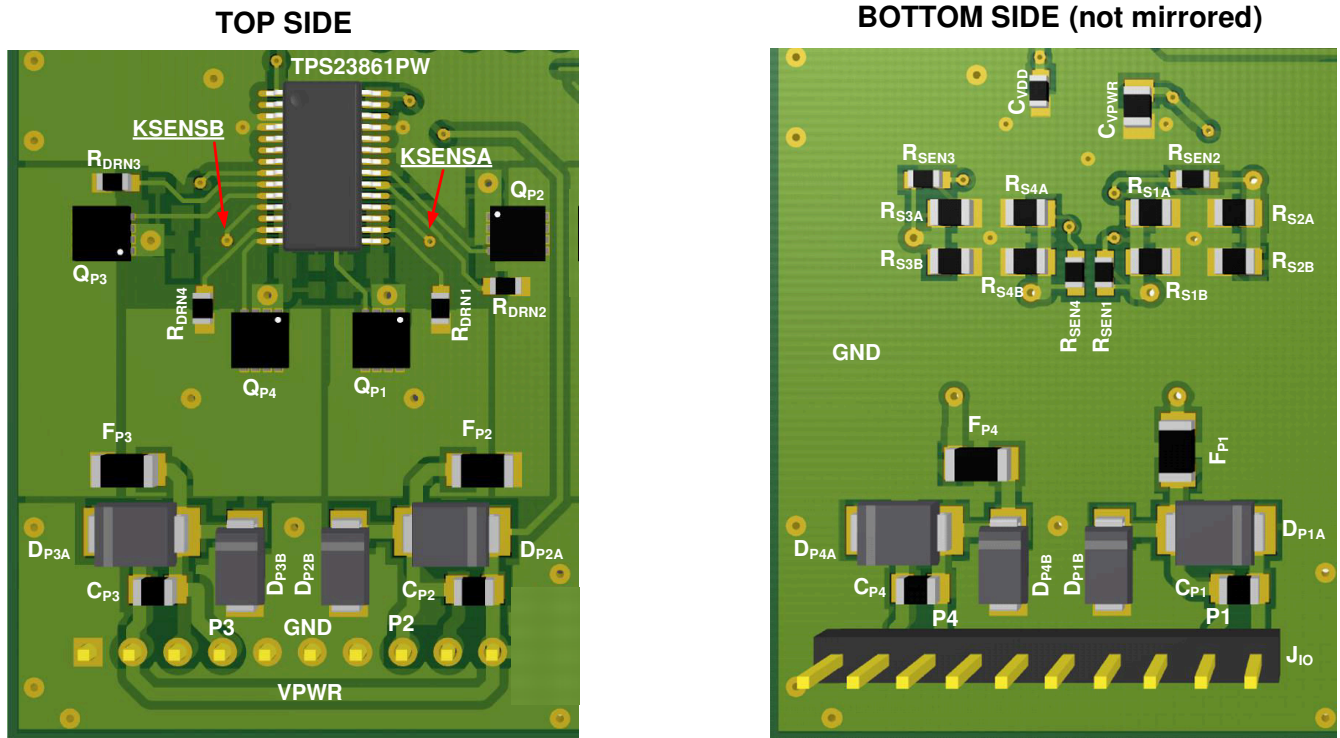


图 7-16. 四端口布局示例

7.6.2.1 元件放置和布线准则

7.6.2.1.1 电源引脚旁路电容器

C_{VPWR}：靠近引脚 28 (VPWR) 放置，并根据图 7-16 与低电感布线和通孔相连接。

C_{VDD}：靠近引脚 1 (VDD) 放置，并根据图 7-16 与低电感布线和通孔相连接。

7.6.2.1.2 各端口的元件

R_{SnA} / R_{SnB}：按照图 7-15 的方式放置，确保与 KSENSE/A/B 保持整洁的开尔文连接。

Q_{Pn}：将 Q_{Pn} 放在 TPS23861 周围，如图 7-16 中所示。从 Q_{Pn} 到 F_{Pn} 之间提供足够的覆铜。

R_{DRNn}：将 R_{DRNn} 靠近 Q_{Pn-D} 放置。连接到 DRAINn 引脚，如图 7-16 所示。

R_{SENn}：将 R_{SENn} 靠近 Q_{Pn-S} 放置。连接到 SENn 引脚，如图 7-16 所示。

F_{Pn}、C_{Pn}、D_{PnA}、D_{PnB}：将此电路组放置在 RJ45 端口连接器附近（如果使用子板类型的接口，则为端口电源接口附近，如图 7-16 所示）。使用低电感布线将此电路组连接到 Q_{Pn-D} / GND (TPS23861-AGND)。

8 器件和文档支持

8.1 文档支持

8.1.1 相关文档

IC 封装热度量指标 应用报告，[SPRA953](#)。

8.2 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。

8.3 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](#)。

8.4 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。

8.5 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。

8.6 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。

9 Revision History

注：以前版本的页码可能与当前版本的页码不同

Changes from Revision I (July 2019) to Revision J (October 2026)	Page
• 更新了整个文档中的表格、图和交叉参考的编号格式.....	1
• 为 SDAI/SDAO 添加了 I ² C 双向功能。.....	3
• 为 SDAI/SDAO 添加了 I ² C 双向功能。.....	22
• 新增了上电序列要求注释。.....	89
<hr/>	
Changes from Revision H (November 2017) to Revision I (July 2019)	Page
• 向节 7.3.5 添加了图标题.....	91

10 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)
TPS23861PW	Active	Production	TSSOP (PW) 28	50 TUBE	Yes	NIPDAU	Level-2-260C-1 YEAR	-40 to 125	TPS23861PW
TPS23861PW.A	Active	Production	TSSOP (PW) 28	50 TUBE	Yes	NIPDAU	Level-2-260C-1 YEAR	-40 to 125	TPS23861PW
TPS23861PWR	Active	Production	TSSOP (PW) 28	2000 LARGE T&R	Yes	NIPDAU	Level-2-260C-1 YEAR	-40 to 125	TPS23861PW
TPS23861PWR.A	Active	Production	TSSOP (PW) 28	2000 LARGE T&R	Yes	NIPDAU	Level-2-260C-1 YEAR	-40 to 125	TPS23861PW
TPS23861PWRG4	Active	Production	TSSOP (PW) 28	2000 LARGE T&R	Yes	NIPDAU	Level-2-260C-1 YEAR	-40 to 125	TPS23861PW
TPS23861PWRG4.A	Active	Production	TSSOP (PW) 28	2000 LARGE T&R	Yes	NIPDAU	Level-2-260C-1 YEAR	-40 to 125	TPS23861PW

⁽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.

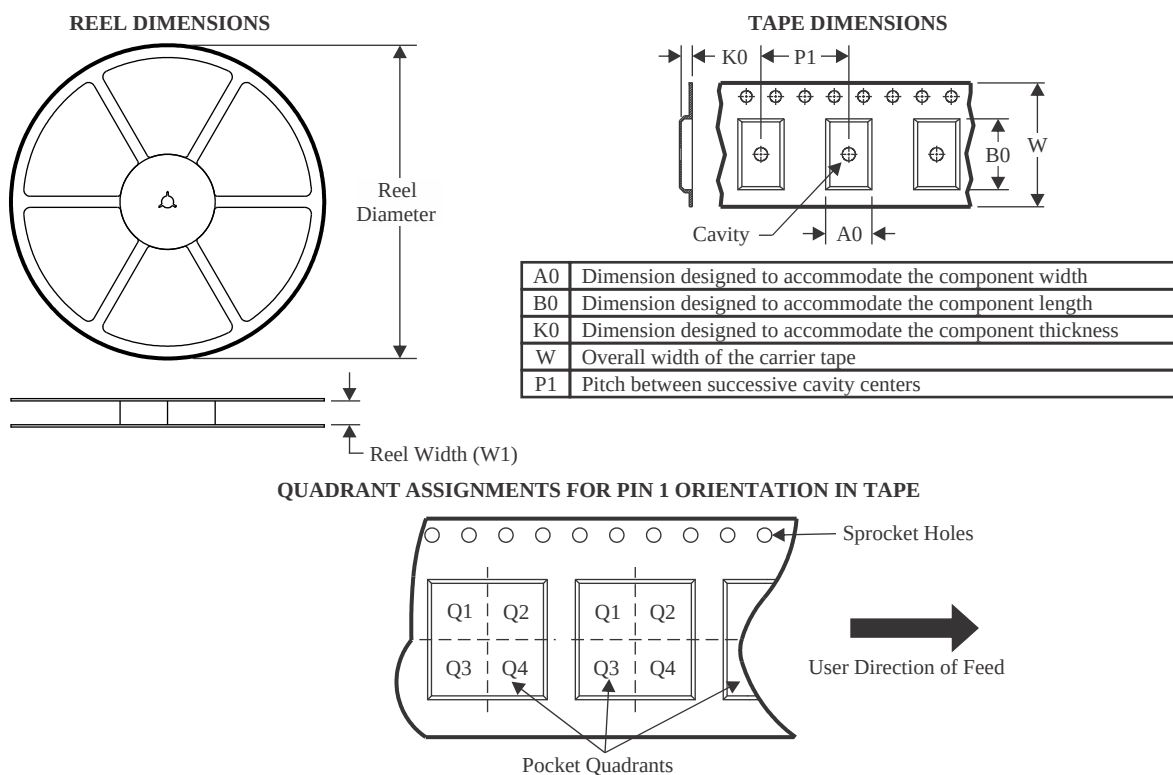
⁽⁶⁾ **Part marking:** There may be an additional marking, which relates to the logo, the lot trace code information, or the environmental category of the part.

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.

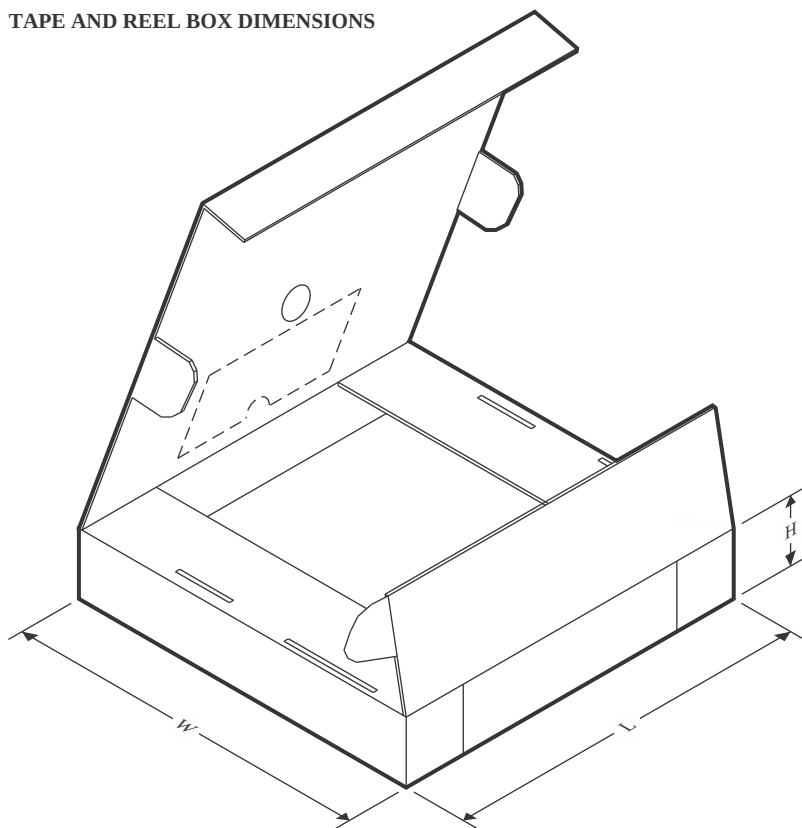
TAPE AND REEL INFORMATION



*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
TPS23861PWR	TSSOP	PW	28	2000	330.0	16.4	6.75	10.1	1.8	12.0	16.0	Q1
TPS23861PW RG4	TSSOP	PW	28	2000	330.0	16.4	6.75	10.1	1.8	12.0	16.0	Q1

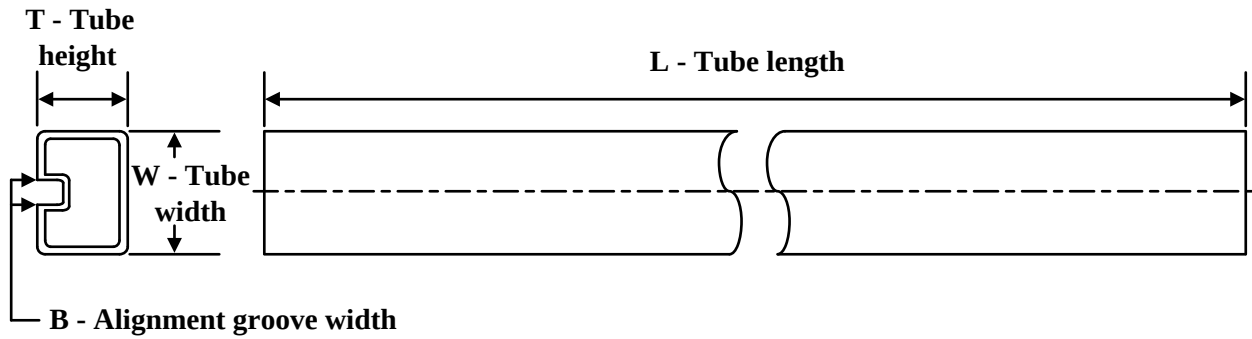
TAPE AND REEL BOX DIMENSIONS



*All dimensions are nominal

Device	Package Type	Package Drawing	Pins	SPQ	Length (mm)	Width (mm)	Height (mm)
TPS23861PWR	TSSOP	PW	28	2000	353.0	353.0	32.0
TPS23861PWRG4	TSSOP	PW	28	2000	353.0	353.0	32.0

TUBE

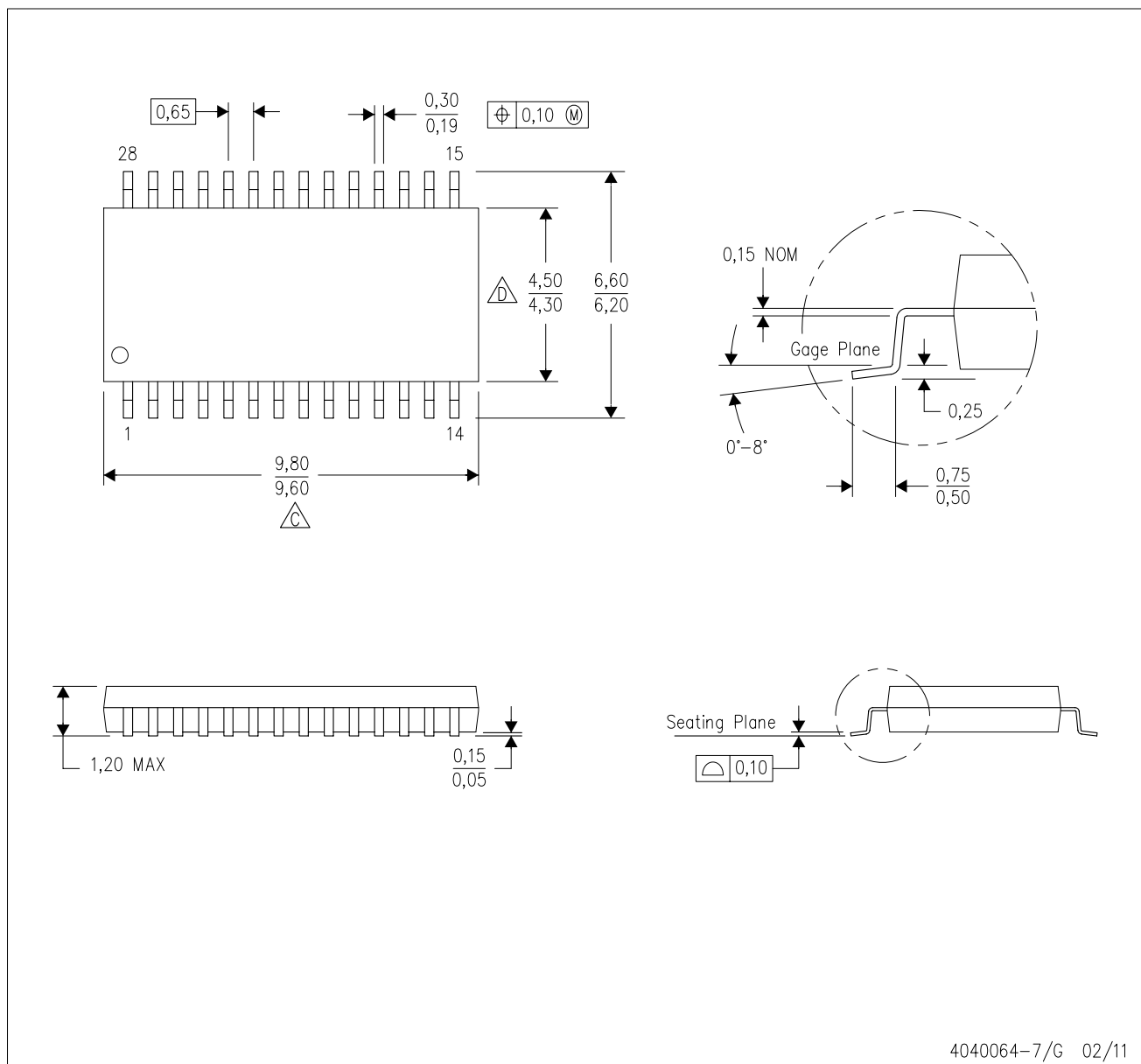


*All dimensions are nominal

Device	Package Name	Package Type	Pins	SPQ	L (mm)	W (mm)	T (μm)	B (mm)
TPS23861PW	PW	TSSOP	28	50	530	10.2	3600	3.5
TPS23861PW	PW	TSSOP	28	50	530	10.2	3600	3.5
TPS23861PW.A	PW	TSSOP	28	50	530	10.2	3600	3.5
TPS23861PW.A	PW	TSSOP	28	50	530	10.2	3600	3.5

PW (R-PDSO-G28)

PLASTIC SMALL OUTLINE



- NOTES:
- A. All linear dimensions are in millimeters. Dimensioning and tolerancing per ASME Y14.5M-1994.
 - B. This drawing is subject to change without notice.
 - C. Body length does not include mold flash, protrusions, or gate burrs. Mold flash, protrusions, or gate burrs shall not exceed 0,15 each side.
 - D. Body width does not include interlead flash. Interlead flash shall not exceed 0,25 each side.
 - E. Falls within JEDEC MO-153

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