

英飞凌PROFET™ Wire Guard智能高边功率开关

特性

- 具有诊断和嵌入式保护功能的高边开关
- 可选集成 I2t 功能，用于线束保护
- 在关闭模式下，有源电源的工作电流 <math>< 60 \mu\text{A}</math>
- 空闲模式下唤醒的 IDL 引脚
- 可调过流阈值
- 容性负载开关模式
- 顺序诊断读取状态
- 反向连接时支持ReverseON功能，实现低功率耗散
- 符合ISO 26262标准的独立安全单元，支持ASIL-D等级安全要求



潜在应用

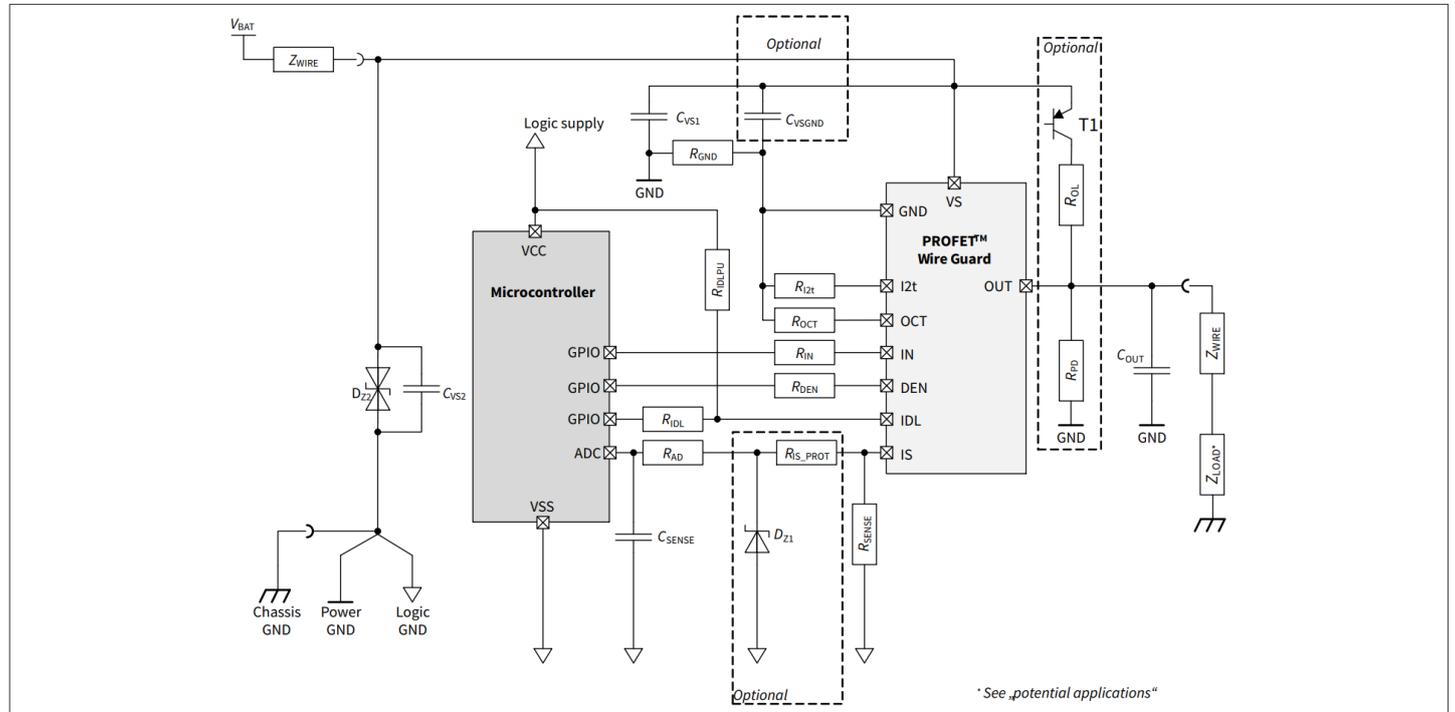
- 取代继电器、保险丝和分立电路
- 保护线束和系统电源
- 电子控制单元电源主开关
- 在钥匙关闭模式下切换到激活的电源
- 适用于高达 26.6 A 的驱动阻性、感性和容性负载

产品验证

汽车应用认证。产品依据AEC-Q100 Grade1进行验证。

描述

该器件是一种智能高边功率开关，提供增强的保护和诊断功能。除了标准器件保护功能外，它还提供可选的 I2t 保护、可调节的过流保护、空闲模式以及通过 IS 引脚的顺序诊断模式。



Product type	Package	Marking
BTG70013A-1ESW	PG-TSDSO-24	70013A1W

本数据手册的原文使用英文撰写。为方便起见，英飞凌提供了译文；由于翻译过程中可能使用了自动化工具，英飞凌不保证译文的准确性。为确认准确性，请务必访问 infineon.com 参考最新的英文版本（控制文档）。

目录

	目录	2
1	产品描述	5
1.1	产品概述	5
1.2	更多特性	5
2	框图和术语	6
2.1	框图	6
2.2	术语	6
3	引脚配置	7
3.1	引脚分配	7
3.2	引脚定义和功能	7
4	产品一般特性	9
4.1	绝对最大额定值	9
4.2	工作范围	12
4.3	热阻	12
4.4	PCB设置.....	13
4.5	热阻抗.....	14
5	逻辑引脚	15
5.1	锁存输入引脚 (IN)	15
5.2	诊断引脚 (DEN)	16
5.3	I2t选择引脚 (I2t)	17
5.4	过流阈值引脚 (OCT)	18
5.5	空闲模式引脚 (IDL)	19
5.6	逻辑引脚电气特性.....	19
6	电源	22
6.1	操作模式	22
6.1.1	未上电.....	24
6.1.2	上电.....	24
6.1.3	休眠模式.....	24
6.1.4	I2t 模式	24
6.1.5	诊断模式, 输出未激活	24
6.1.6	带诊断模式的 I2t.....	24
6.1.7	空闲模式	25
6.1.8	诊断模式, 输出激活.....	25
6.1.9	CLS模式.....	25
6.1.10	带诊断模式的 CLS.....	25
6.1.11	非激活模式.....	25
6.1.12	故障模式.....	25
6.2	VS欠压	26

目录

6.3	电源电气特性	26
6.3.1	电气特性 - 电源	27
7	功率级	29
7.1	输出导通电阻	29
7.2	驱动负载	29
7.2.1	驱动阻性负载	29
7.2.2	驱动感性负载	30
7.2.3	容性负载切换	31
7.3	高级开关特性	32
7.3.1	反向电流特性	32
7.4	功率级电气特性	34
8	器件保护	38
8.1	过温保护	38
8.2	过流阈值保护	40
8.3	器件保护及故障诊断	42
8.3.1	器件保护触发后智能锁存复位策略	42
8.4	其他保护	45
8.4.1	反接保护	45
8.4.2	过压保护	45
8.5	防止连接丢失	45
8.5.1	掉电和负载连接断开	45
8.5.2	地线丢失	46
8.6	器件保护电气特性	46
9	系统保护	50
9.1	I ₂ t 保护	50
9.1.1	I ₂ t 保护和空闲模式	52
9.1.2	I ₂ t 保护触发后智能锁存复位策略	52
9.1.3	保护电气特性	55
10	诊断	57
10.1	顺序诊断	59
10.1.1	电流检测 (地址#1 - IN=高)	62
10.1.2	负载开路处于OFF (地址 #1 - IN = 低)	64
10.1.3	I ₂ t 设置 (地址 #2 - IN = x)	65
10.1.4	I ₂ t 状态 (地址 #3 - IN = x)	66
10.1.5	OCT设置 (地址 #4 - IN = x)	66
10.1.6	数字电流检测 (地址 #5 - IN = 高)	67
10.1.7	检测验证电流 (地址 #5 - IN = 低)	68
10.2	诊断时序	68
10.3	诊断电气特性	69
10.4	诊断电气特性 - 功率输出级	73

目录

11	应用信息	77
11.1	应用电路简图.....	77
11.2	外部元器件.....	77
11.3	更多应用信息.....	78
12	封装外形	79
13	修订记录	81
	免责声明	83

1 产品描述

1.1 产品概述

Table 1 Product summary

Parameter	Symbol	Values
Minimum operating voltage	$V_{S(OP)}$	4.1 V
Minimum operating voltage (cranking)	$V_{S(UV)}$	2.75 V
Maximum operating voltage	V_S	28 V
Minimum overvoltage protection ($T_J = 25^\circ\text{C}$)	$V_{DS(CLAMP)_{25}}$	35 V
Maximum current in sleep mode ($T_J \leq 85^\circ\text{C}$)	$I_{VS(SLEEP)_{85}}$	1.9 μA
Operating current in idle mode (channel ON)	$I_{GND(IDLE)}$	60 μA
Maximum operating current	$I_{GND(I2t_D)}$	7.4 mA
Typical ON-state resistance ($T_J = 25^\circ\text{C}$)	$R_{DS(ON)_{25}}$	1.5 m Ω
Maximum ON-state resistance ($T_J = 150^\circ\text{C}$)	$R_{DS(ON)_{150}}$	2.8 m Ω
Nominal load current ($T_A = 85^\circ\text{C}$)	$I_{L(NOM)_{85}}$	26.6 A
Highest configurable overcurrent detection threshold ($T_J = -40^\circ\text{C}$, $I_{OCT} = 50 \mu\text{A}$)	$I_{L(HOCT)_{-40}}$	184 A
Typical current sense ratio at $I_L = I_{L(NOM)_{85}}$	k_{ILIS}	31800

1.2 更多特性

更多特性详述如下：

- 绿色产品：符合 RoHS 标准
- 反向电流条件下的开启功能 (InverseON)
- 比例负载电流采样
- 在打开和关闭情况下负载开路检测
- 短路到地和短路到电源保护
- 读取 I2t 和过流保护设置
- 读取线束保护状态
- 带智能锁存器的绝对过温和动态过温保护
- 带智能锁存器的可调过流保护（跳闸）
- 可选 I2t 功能，用于线束保护，带智能锁存器
- 欠压关断
- 采用外部元器件的过压保护

2 框图和术语

2.1 框图

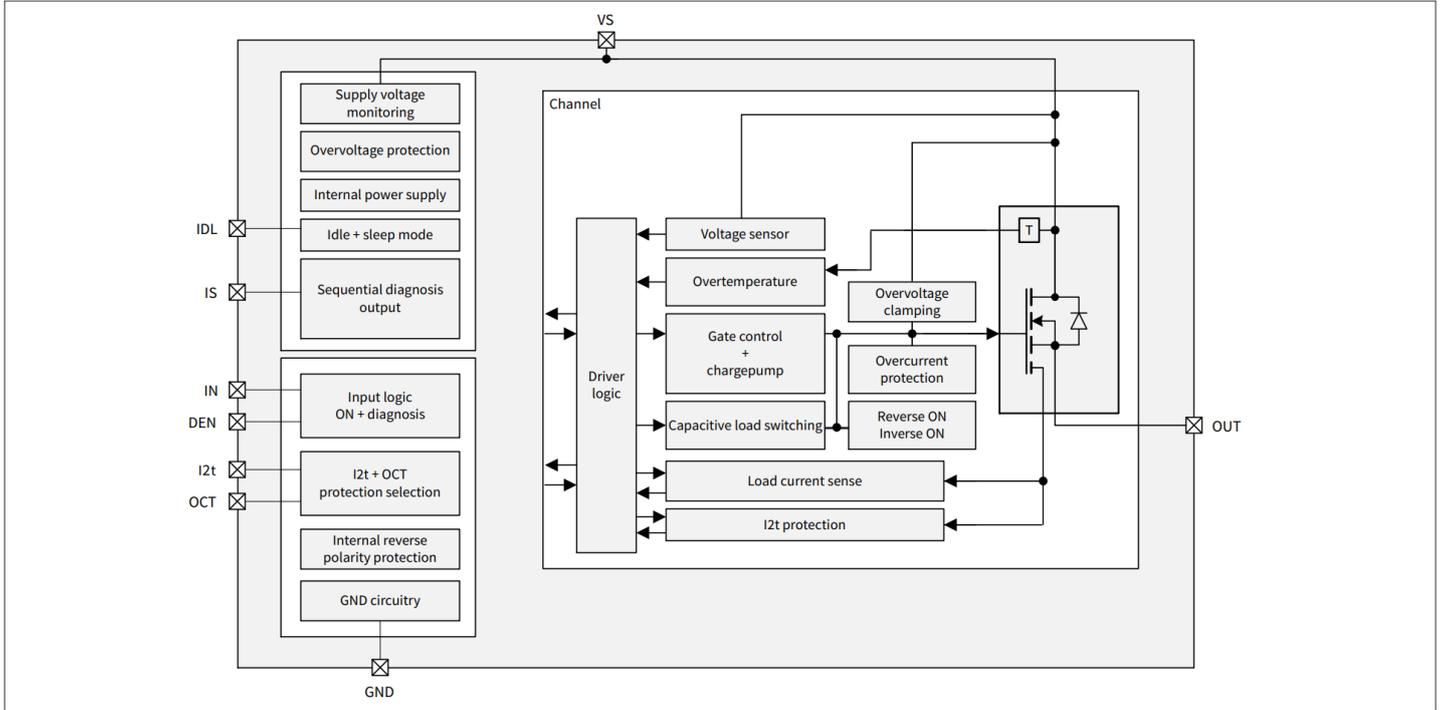


Figure 1 Block diagram

2.2 术语

图 2 显示本数据手册中使用的所有术语以及与正值约定。

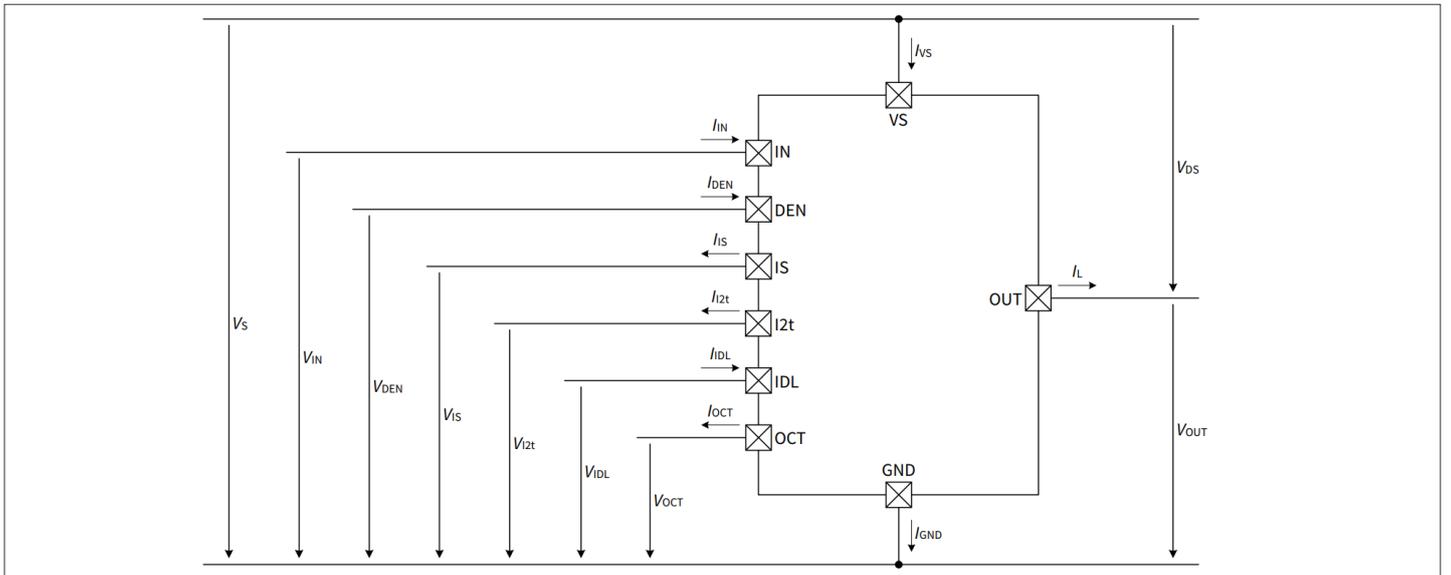


Figure 2 Voltage and current convention

3 引脚配置

3.1 引脚分配

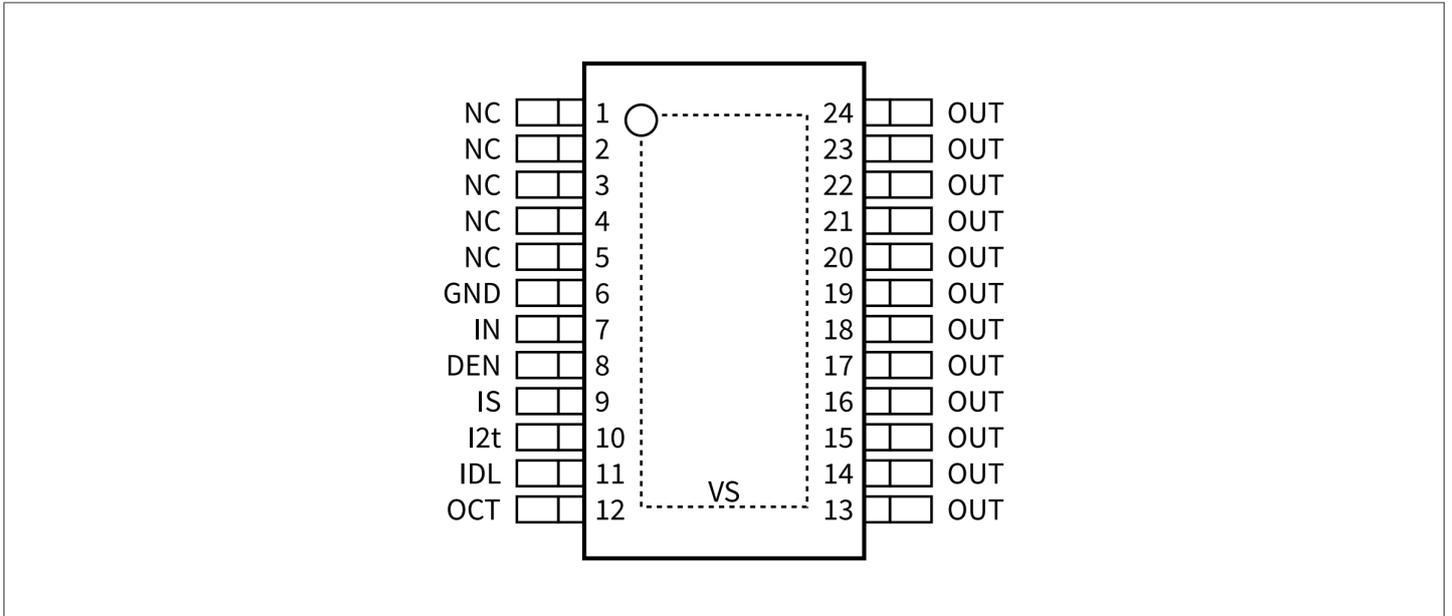


Figure 3 Pin configuration

3.2 引脚定义和功能

Pin	Symbol	Function
EP	VS (exposed pad)	Supply voltage Battery voltage
6	GND	Ground Ground connection for the internal logic
7	IN	Input channel Digital signal to switch ON the channel (“high” active) If not used: connect with a 10 kΩ resistor either to GND pin or to module ground
8	DEN	Diagnostic enable Digital signal to enable device diagnosis (“high” active) and to clear the protection latch of channel If not used: connect with a 10 kΩ resistor either to GND pin or to module ground
9	IS	SENSE current output Analog/digital signal for diagnosis If not used: left open
10	I2t	Selectable I2t protection curve A resistor R_{I2t} needs to be connected between I2t pin and GND pin to select one of the available I2t protection curves If not used: left open. Curve selection as described in Chapter 9.1

3 引脚配置

Pin	Symbol	Function
11	IDL	Idle mode open drain output Digital signal to inform / wake-up the microcontroller in case of idle mode ("high impedance" in idle/sleep mode; "low" in all other modes). If not used: left open
12	OCT	Adjustable overcurrent threshold A resistor R_{OCT} needs to be connected between OCT pin and GND pin to adjust the overcurrent threshold If not used: left open. Threshold selection as described in Figure 27
1-5	NC	Not connected, internally not bonded
13-24	OUT	Output Protected high-side power output channel ¹⁾

1) 通道的所有输出引脚必须在PCB上连接在一起。通道的所有输出引脚均在内部连接在一起。PCB走线必须设计成能够承受最大电流。

4 产品一般特性

4.1 绝对最大额定值

Table 2 Absolute maximum ratings

$T_J = -40^\circ\text{C}$ 至 $+150^\circ\text{C}$; 所有电压和电流均按照第 2.2 章规定的电压和电流惯例 (除非另有规定)

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition	P-Number
		Min.	Typ.	Max.			

Supply pins

Power supply voltage	V_S	-0.3	-	28	V	1)	PRQ-128
Load dump voltage	$V_{BAT(LD)}$	-	-	35	V	1) Suppressed load dump acc. to ISO16750-2 (2012) $R_i = 2 \Omega$	PRQ-130
Supply voltage for short circuit protection	$V_{BAT(SC)}$	0	-	24	V	1) Setup acc. to AEC- Q100-012	PRQ-132
Reverse polarity voltage	$V_{BAT(REV)}$	-18	-	-	V	1) $t \leq 5 \text{ min}$ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Setup as described in Figure 54	PRQ-134
Current through GND pin	I_{GND}	-50	-	50	mA	1) R_{GND} according to Chapter 11	PRQ-138

Logic & control pins (digital input = DI) DI = IN, DEN

Current through DI pin	I_{DI}	-1	-	2	mA	1) 2)	PRQ-141
Current through DI pin - reverse battery condition	$I_{DI(REV)}$	-1	-	10	mA	1) 2) $t \leq 5 \text{ min}$	PRQ-142

Analog & control pins (analog input = AI)

AI = I2t, OCT

Current through AI pin	I_{AI}	-2	-	1	mA	1) 2)	PRQ-359
Current through AI pin - reverse battery condition	$I_{AI(REV)}$	-10	-	1	mA	1) 2) $t \leq 5 \text{ min}$	PRQ-362

(表格续下页.....)

4 产品一般特性

Table 2 (continued) Absolute maximum ratings

$T_J = -40^{\circ}\text{C}$ 至 $+150^{\circ}\text{C}$ ；所有电压和电流均按照 第 2.2 章 规定的电压和电流惯例（除非另有规定）

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition	P-Number
		Min.	Typ.	Max.			

Logic & control pins (digital output = DO)

DO = IDL

Voltage at DO pin	V_{DO}	-0.3	-	5.5	V	1) 2)	PRQ-828
Current through DO pin	I_{DO}	-1	-	2	mA	1) 2)	PRQ-360
Current through DO pin - reverse battery condition	$I_{DO(REV)}$	-1	-	10	mA	1) 2) $t \leq 5 \text{ min}$	PRQ-361

IS pin

Voltage at IS pin	V_{IS}	-1.5	-	V_S	V	1) $I_{IS} < I_{IS(OFF)}$	PRQ-144
Current through IS pin	I_{IS}	-25	-	$I_{IS(SAT), MAX}$	mA	1)	PRQ-146

Temperatures

Junction temperature	T_J	-40	-	150	$^{\circ}\text{C}$	1)	PRQ-147
Storage temperature	T_{STG}	-55	-	150	$^{\circ}\text{C}$	1)	PRQ-148

ESD robustness

ESD robustness all pins (HBM)	V_{ESD_HBM1}	-2	-	2	kV	1) HBM ³⁾	PRQ-149
ESD robustness OUT vs. GND and VS connected (HBM)	V_{ESD_HBM2}	-4	-	4	kV	1) HBM ³⁾	PRQ-150
ESD robustness all pins (CDM)	V_{ESD_CDM1}	-500	-	500	V	1) CDM ⁴⁾	PRQ-151
ESD robustness corner pins (CDM) - (pins 1, 12, 13, 24)	V_{ESD_CDM2}	-750	-	750	V	1) CDM ⁴⁾	PRQ-1178

1) 未经过生产测试，由设计指定。

2) 最大允许的VDI/VDO/VAI用于latch-up测试：5.5 V。

3) 静电放电ESD，人体模型 (HBM) 按照AEC - Q100-002标准。

4) 静电放电ESD，充电模型 (CDM) 按照AEC - Q100-011 Rev-D标准；电压等级是指标准中提到的测试条件（TC）。

4 产品一般特性

注释:

1. 超过此处所列的应力可能会对器件造成永久性损坏。长时间在绝对最大额定值条件下工作可能会影响器件的可靠性。
2. 集成的保护功能旨在防止 IC 在数据手册所述故障条件下被毁坏。故障情况被认为超出了正常工作范围。保护功能不是为了连续重复的操作而设计的。

Table 3 Absolute maximum ratings - power stages

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition	P-Number
		Min.	Typ.	Max.			
Load current	$ I_L $	–	–	$I_{L(HOCT),MAX}$	A	1)	PRQ-157
Maximum energy dissipation - single pulse	E_{AS}	–	–	415	mJ	1) $I_L = 2 \cdot I_{L(NOM),85}$ $T_{J(0)} = 150^\circ\text{C}$ $V_S = 28\text{ V}$	PRQ-959
Maximum energy dissipation - repetitive pulse	E_{AR}	–	–	120	mJ	1) $I_L = I_{L(NOM),85}$ $T_{J(0)} = 85^\circ\text{C}$ $V_S = 13.5\text{ V}$ 1M cycles	PRQ-1064

1) 未经过生产测试，由设计指定。

4 产品一般特性

4.2 工作范围

Table 4 Functional range

$V_S = 5\text{ V}$ 至 20 V , $T_J = -40^\circ\text{C}$ 至 $+150^\circ\text{C}$

除非另有规定, 否则典型值为: $V_S = 13.5\text{ V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$

典型的阻性负载连接到输出端进行测试(除非另有说明): $R_L = 2.1\ \Omega$

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition	P-Number
		Min.	Typ.	Max.			
Supply voltage range for normal operation	$V_{S(NOR)}$	5	13.5	20	V	1)	PRQ-158
Lower extended supply voltage range for operation (normal)	$V_{S(EXT,LOW)}$	2.75	-	5	V	1) 2) 3) 4) (Parameter deviations possible)	PRQ-159
Upper extended supply voltage range for operation	$V_{S(EXT,UP)}$	20	-	28	V	1) 4) (Parameter deviations possible)	PRQ-160
Junction temperature	T_J	-40	-	150	$^\circ\text{C}$	1)	PRQ-161

- 1) 未经过生产测试, 由设计指定。
- 2) 如果 V_S 电压降低, 请参考 $V_{S(UV)}$ 的最大电压。如果 V_S 电压升高, 请参考 $V_{S(OP)}$ 的最大电压。
- 3) 当 $V_S < 2.75\text{ V}$ 时, 使用 $I_L = 0\text{ A}$ 的 I_2t 保护曲线 (不包括接地电阻压降)。
- 4) 器件保护功能仍然有效。

4.3 热阻

Table 5 Thermal resistance

此热学数据是根据JEDEC JESD51 标准生成的。如需更多信息, 请访问www.jedec.org

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition	P-Number
		Min.	Typ.	Max.			
Thermal characterization parameter junction to top	ψ_{JTOP}	-	0.4	0.7	K/W	1) 2)	PRQ-1066
Thermal resistance junction to case	R_{thJC}	-	0.7	1.1	K/W	1) 2) Simulated at exposed pad	PRQ-1067
Thermal resistance junction to ambient	R_{thJA}	-	24.1	-	K/W	1) 2)	PRQ-1068

- 1) 未经过生产测试, 由设计指定。
- 2) 根据标准JEDEC JESD51-2,-5,-7 在FR4 2s2p板自然对流条件;产品 (芯片 + 封装) 在 $76.2 \times 114.3 \times 1.5\text{ mm}$ 板上进行仿真, 内部有2个铜层 ($2 \times 70\ \mu\text{m Cu}$, $2 \times 35\ \mu\text{m Cu}$)。在适用的情况下, 裸露的散热焊盘下方的热通孔阵列与第一个内层铜层接触。仿真是在 $T_A = 105^\circ\text{C}$, $P_{DISSIPATION} = 1\text{ W}$ 条件下进行的。

4.4 PCB 设置

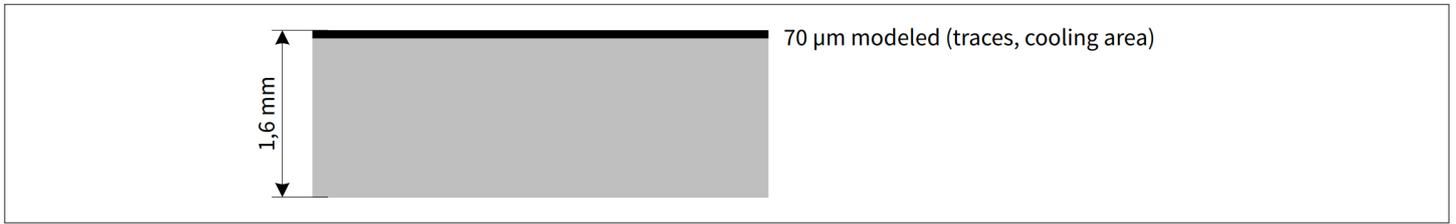


Figure 4 1s0p PCB cross section

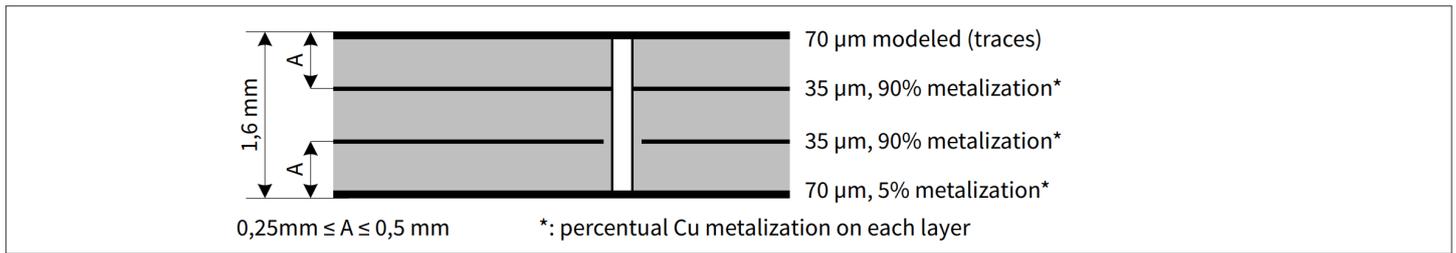


Figure 5 2s2p PCB cross section

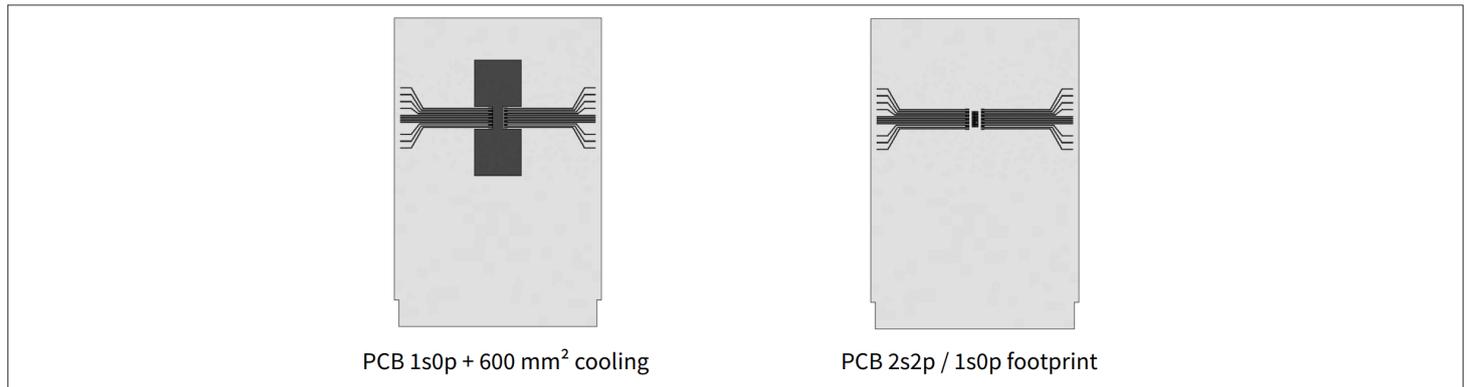


Figure 6 PCB setup for thermal simulations

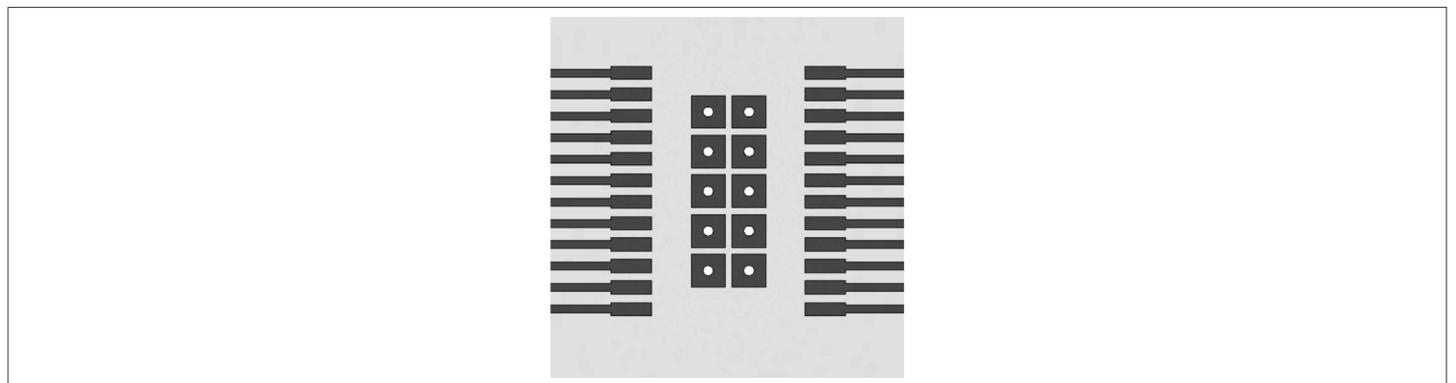


Figure 7 Thermal vias on PCB for 2s2p PCB setup

4.5 热阻抗

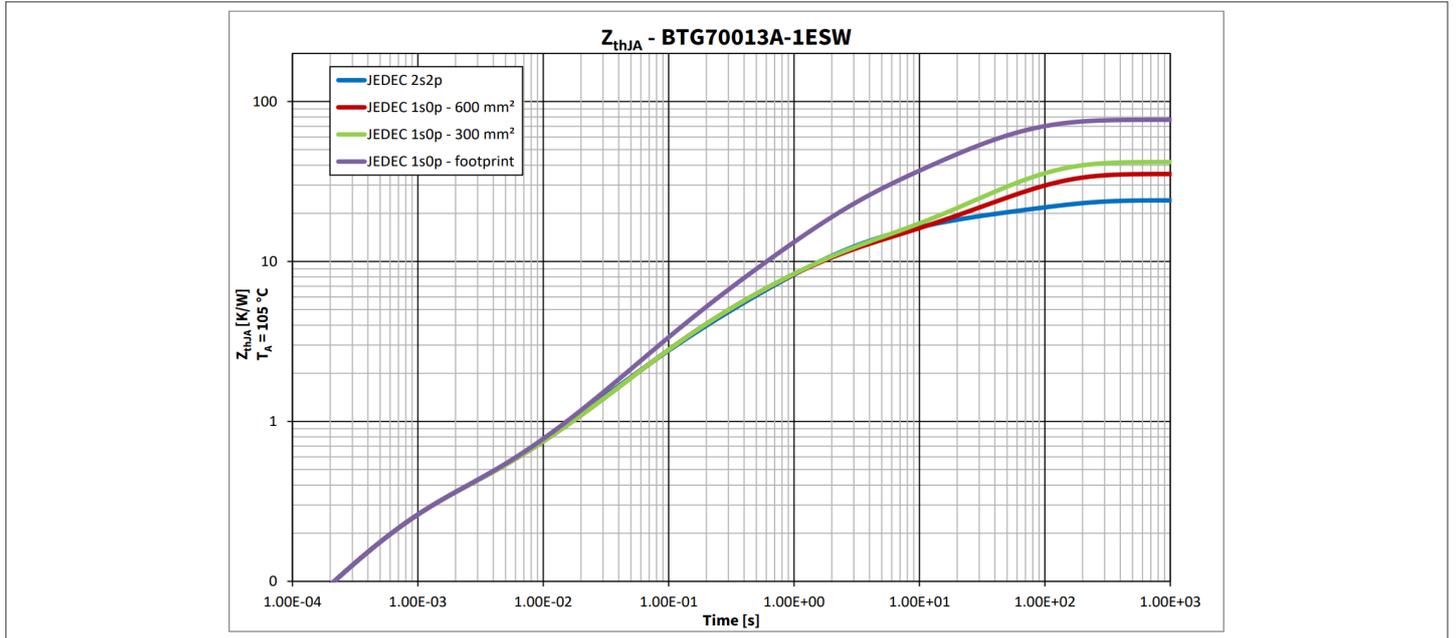


Figure 8 Typical thermal impedance

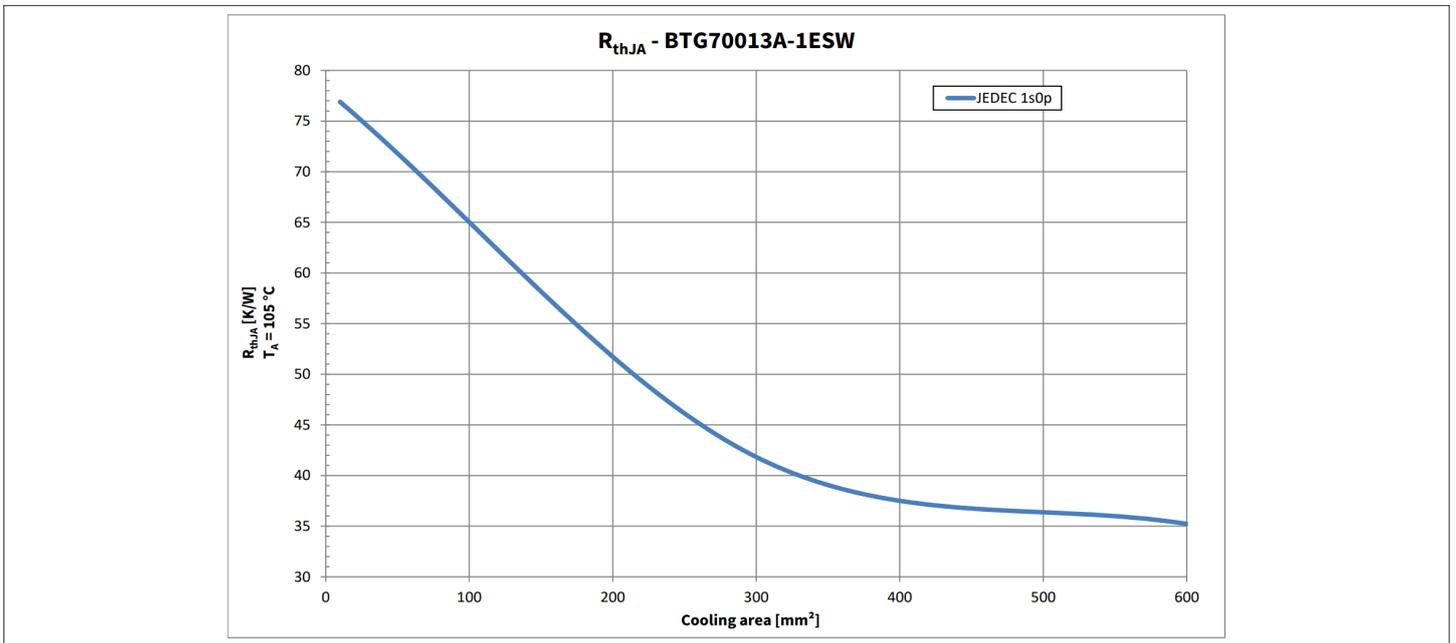


Figure 9 Typical thermal resistance

5 逻辑引脚

该器件有两个数字引脚：一个控制输出级，另一个控制诊断。此外，还有两个模拟输入引脚，用于选择通用 I2t 保护曲线或调整过流阈值。有一个开漏输出引脚用于指示空闲模式。

5.1 锁存输入引脚 (IN)

输入引脚 IN 激活输出通道。输入电路与 3.3 V MCU 和 5 V MCU 兼容。锁存输入的特点是激活内部上拉电流源，以便在激活后保持输入为高电平。当 DEN 引脚置位为高电平时，该特性被禁用。输入电路的电气等效如图 10 所示，通过 DEN 引脚和输入引脚的变化指示输入引脚 $I_{IN(H)}$ 处的数字输入电流的行为。如果不使用该引脚，则必须使用 10kΩ 电阻将其连接到 GND 引脚或模块接地引脚。

锁存输入特性允许将控制输入引脚的 GPIO 口输出切换为高阻状态，同时保持输入状态模式不变。

输入锁存器保持输入状态的最后模式，只要：

- 输入引脚未主动驱动至输入阈值之上或之下
- DEN 引脚保持低电平

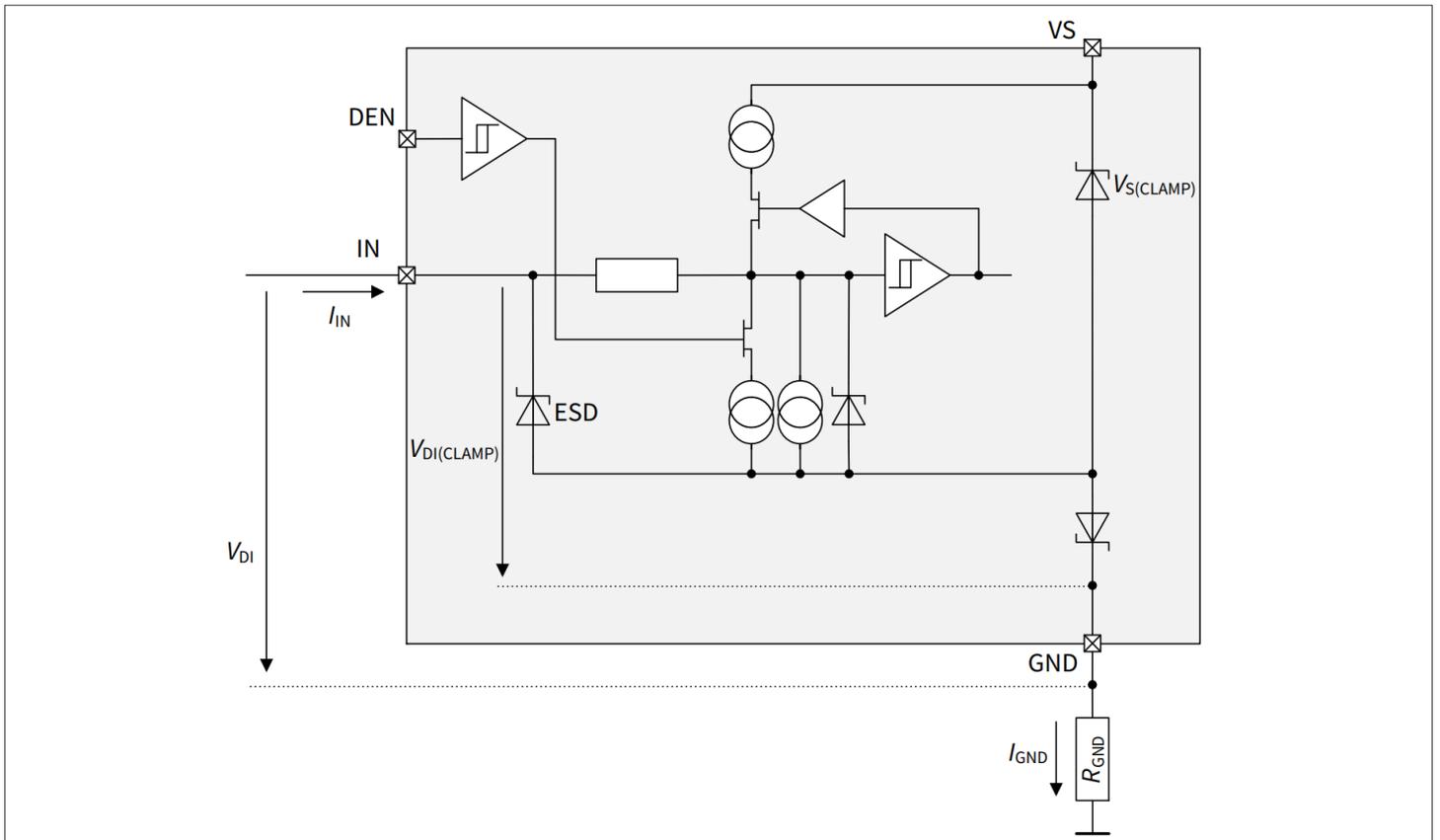


Figure 10 IN pin circuitry

“低”和“高”状态的逻辑阈值由参数 $V_{DI(TH)}$ 和 $V_{IN(HYS)}$ 定义。

这两个值之间的关系如图 11 所示。确保“高”状态所需的电压 V_{IN} 始终高于确保“低”状态所需的电压。

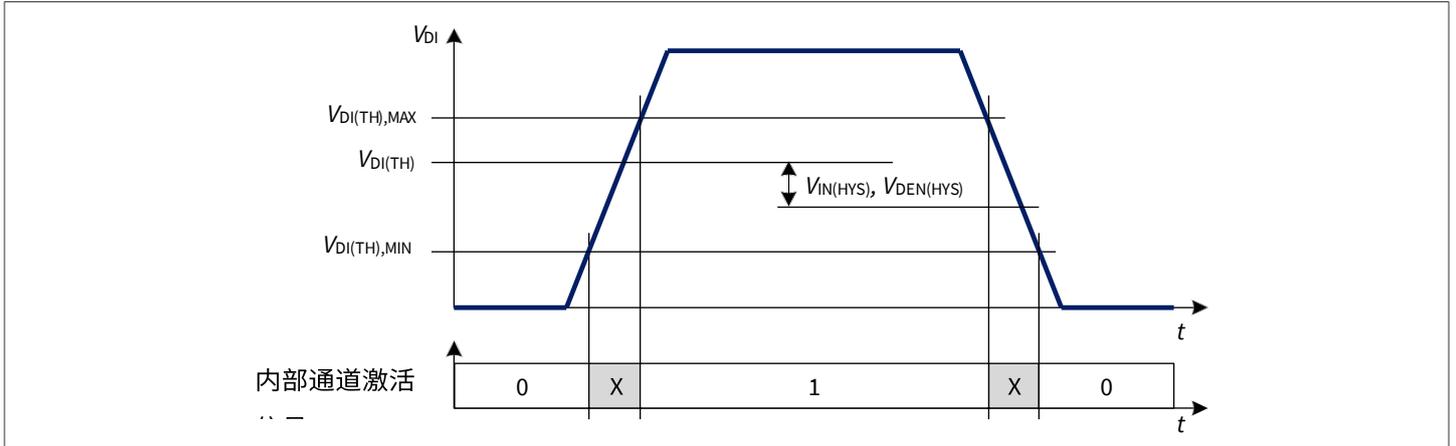


Figure 11 Input threshold voltages and hysteresis

5.2 诊断引脚 (DEN)

诊断使能 (DEN) 引脚控制诊断电路，可用于复位锁存保护。保护电路不会被 DEN 引脚禁用。当 DEN 引脚置位为“高”时，诊断被启用（见第 10.1.1 章了解更多详情），同时也可通过应用专用 DEN“低”脉冲进行顺序诊断（参见图 42 了解更多详情）。当置位为“低”时，诊断被禁用，IS 引脚置位为高阻态。锁存保护通过专用 DEN“高”脉冲进行复位（参见图 32）。

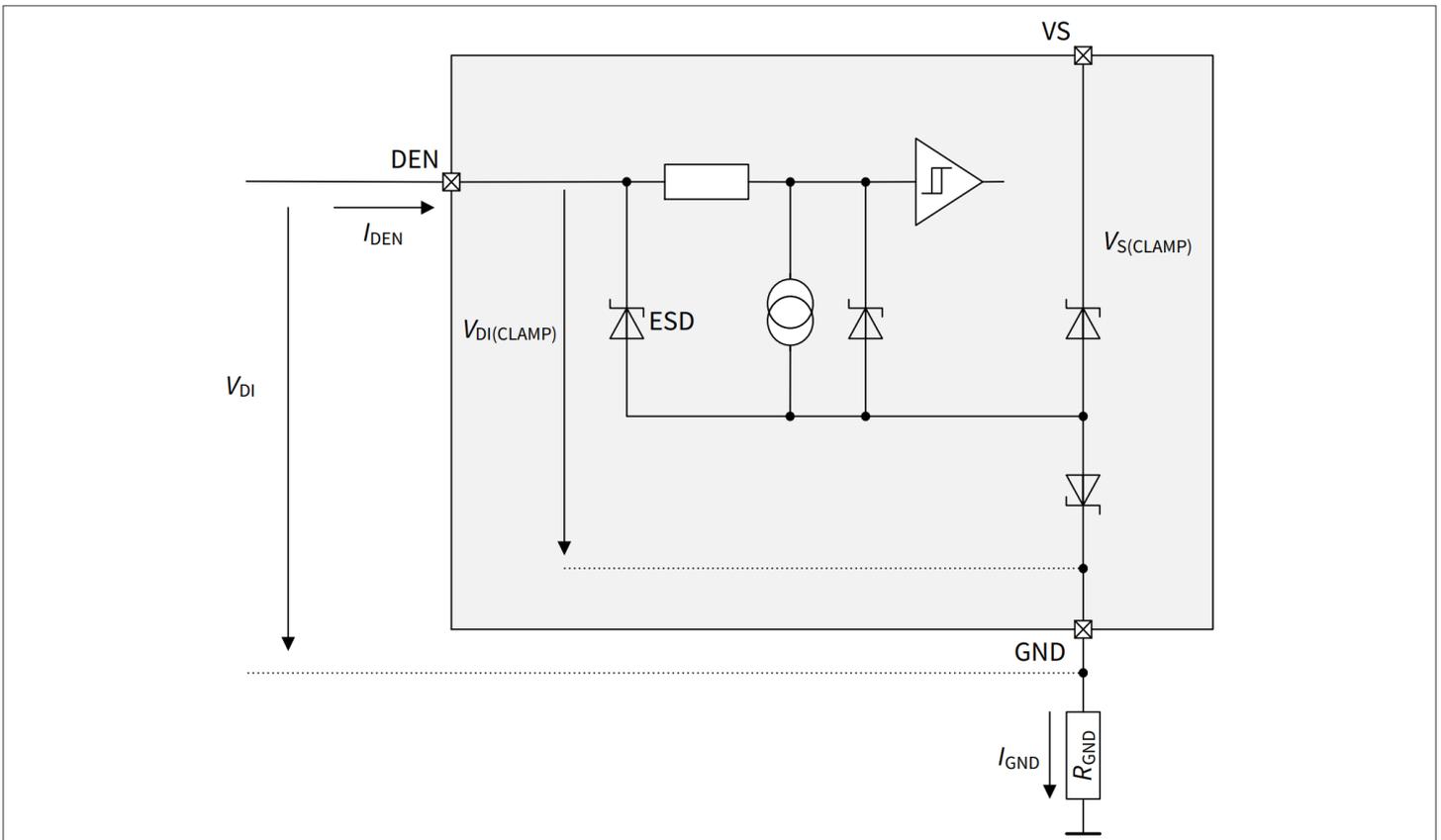


Figure 12 DEN pin circuitry

当器件处于空闲模式且 DEN 引脚置位为“高”时，诊断是启用的（从空闲模式更改为带诊断模式的 I2t 或带诊断模式的激活）。当 DEN 引脚置位为“低”并且满足所有空闲模式条件时，器件将更改为空闲模式。

当输入引脚为“低”时，保护锁存器通过在 DEN 引脚上施加一个脉冲（上升沿，然后下降沿）来复位（参见章节 8.3 和图 32 了解更多详情）。

5.3 I2t选择引脚 (I2t)

I2t 选择引脚 (I2t) 用于选择六种可用 I2t 保护曲线中的一种。根据连接在 I2t 引脚和GND引脚之间的电阻值来选择。

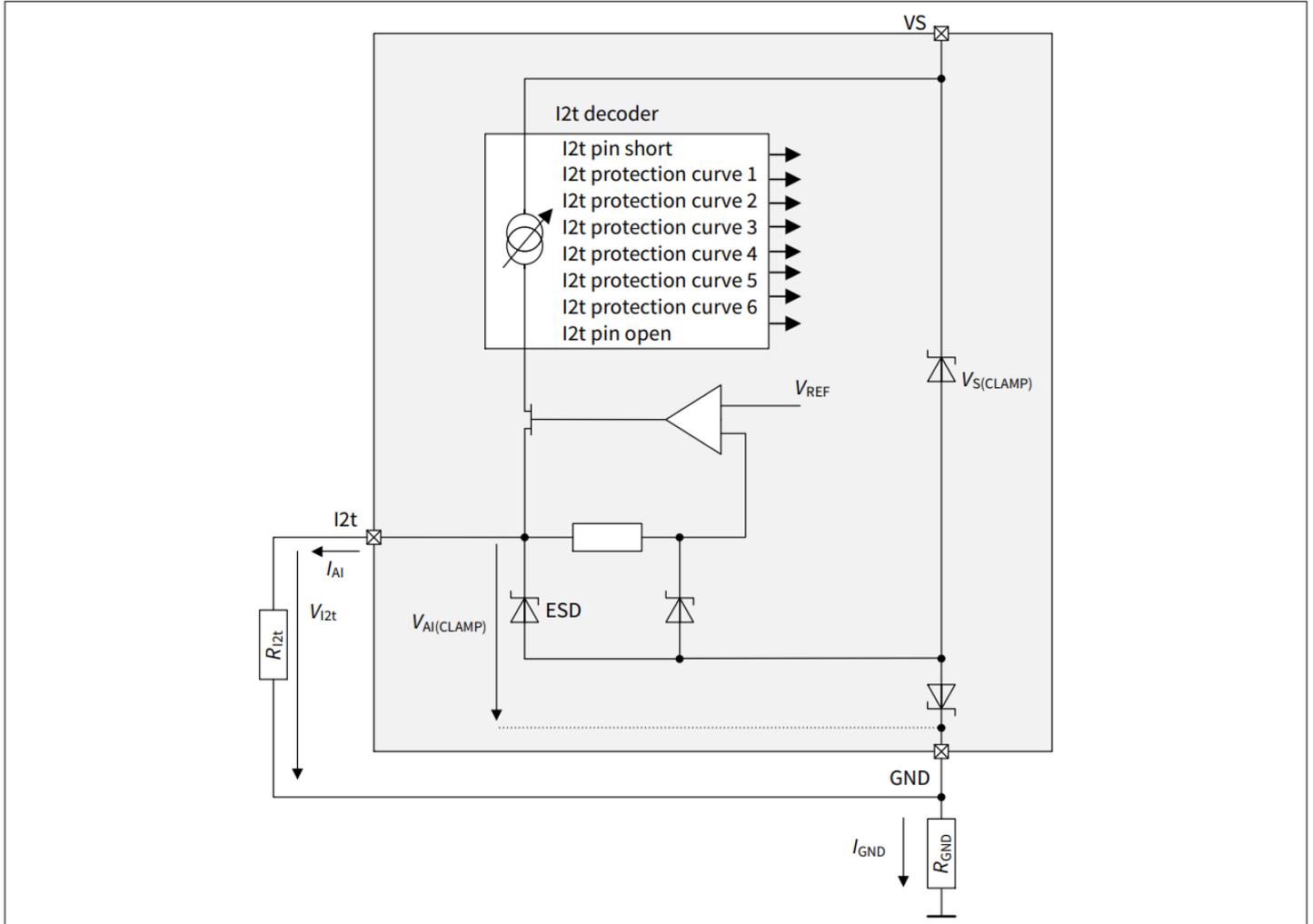


Figure 13 I2t selection circuitry

如果 I2t 引脚和接地点之间的阻抗低于 R_{I2t_SHORT} ，则器件识别为 I2t 引脚短路。在这种情况下，I2t 保护更改为 I2t 保护曲线 1。此外，当选择顺序诊断地址 #2 时，IS 引脚会发出 $I_{IS(I2t_SHORT)}$ 的检测电流。

如果 I2t 引脚和接地点之间的阻抗高于 R_{I2t_OPEN} ，器件会检测到 I2t 引脚开路。在这种情况下，内部会选择 I2t 保护曲线 1，并且当选择顺序诊断地址 #2 时，在 IS 处额外发出 $I_{IS(I2t_OPEN)}$ 的检测电流。

5.4 过流阈值引脚 (OCT)

过流阈值 (OCT) 引脚用于通过在 OCT 引脚和 GND 引脚之间连接一个电阻来模拟调节过流阈值。

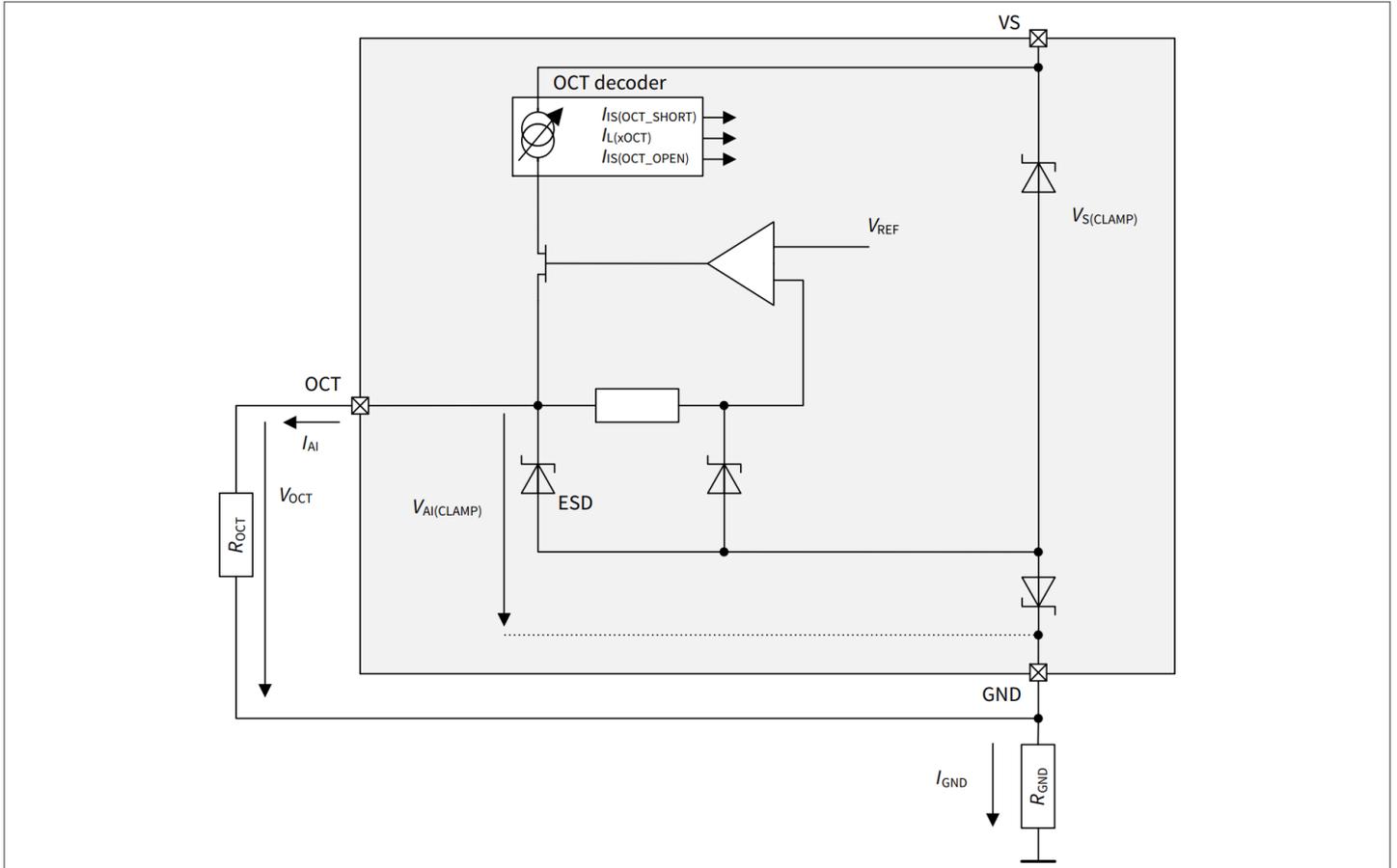


Figure 14 OCT adjustment circuitry

如果 OCT 引脚和接地之间的电流高于 I_{OCT_SHORT} ，则器件识别 OCT 引脚短路。在这种情况下，过流阈值在内部设置为最高可配置过流阈值 $I_{L(HOCT)}$ 。另外，当选择顺序诊断地址#4 时， $I_{IS(OCT_SHORT)}$ 的检测电流会在 IS 引脚处发出。

如果 OCT 引脚和 GND 引脚之间的电流低于 I_{OCT_OPEN} ，则器件检测到 OCT 引脚开路。

在这种情况下，过流阈值在内部设置为最高可配置过流阈值 $I_{L(HOCT)}$ 。另外，当选择顺序诊断地址#4 时，IS 引脚会发出 $I_{IS(OCT_OPEN)}$ 的检测电流。

5.5 空闲模式引脚 (IDL)

空闲模式输出引脚 (IDL) 是开漏输出。空闲模式和睡眠模式下置为高阻态，其他模式下均下拉。

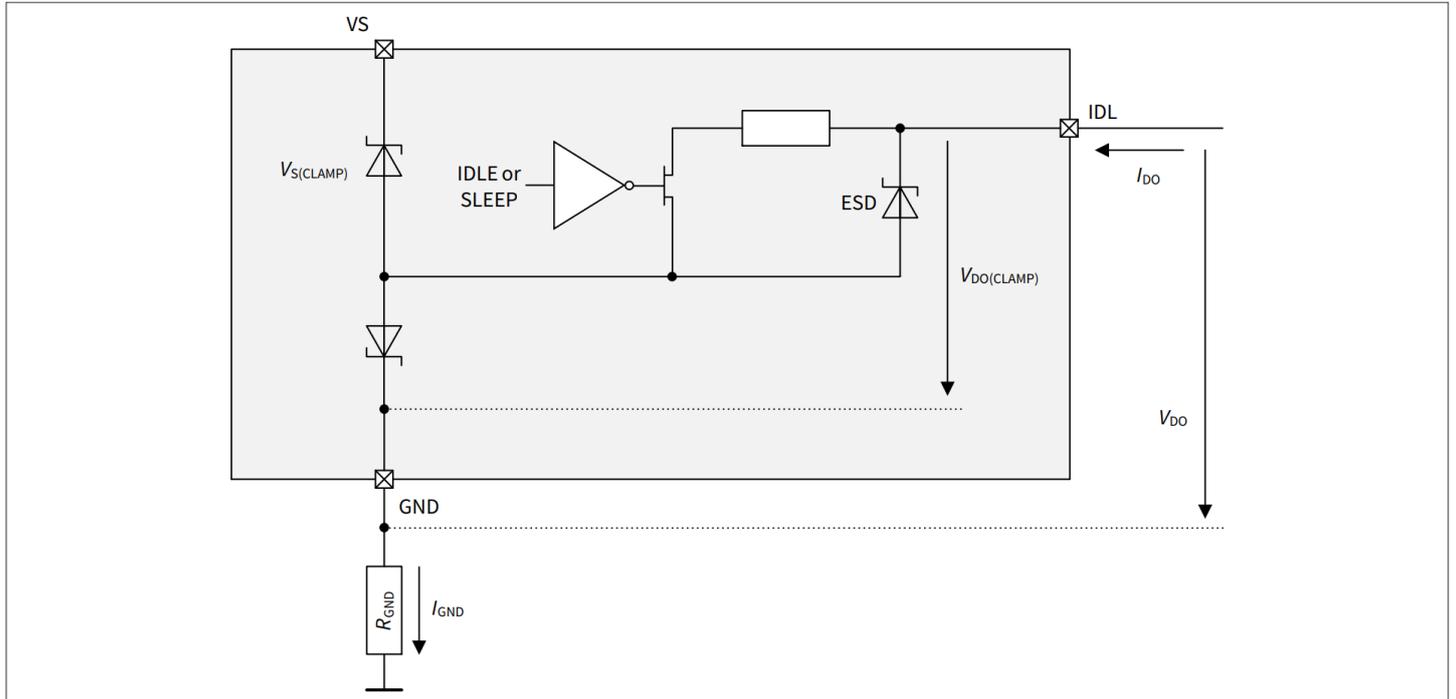


Figure 15 Idle mode pin circuitry

5.6 逻辑引脚电气特性

Table 6 Electrical characteristics - logic pins

$V_S = 5\text{ V}$ 至 20 V , $T_J = -40^\circ\text{C}$ 至 $+150^\circ\text{C}$

除非另有规定，否则典型值为: $V_S = 13.5\text{ V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition	P-Number
		Min.	Typ.	Max.			
Digital input (DI) pins: IN, DEN							
Digital input voltage threshold	$V_{DI(TH)}$	0.8	1.3	2	V	See Figure 10 , Figure 11 and Figure 12	PRQ-168
Digital input clamping voltage	$V_{DI(CLAMP1)}$	–	7	–	V	¹⁾ $I_{DI} = 1\text{ mA}$ See Figure 10 and Figure 12	PRQ-169
Digital input clamping voltage	$V_{DI(CLAMP2)}$	6.5	7.5	8.5	V	$I_{DI} = 2\text{ mA}$ See Figure 10 and Figure 12	PRQ-170
Digital input hysteresis at IN pin	$V_{IN(HYS)}$	0.30	0.45	–	V	¹⁾ See Figure 10 and Figure 11	PRQ-172

(表格续下页.....)

Table 6 (continued) Electrical characteristics - logic pins

$V_S = 5\text{ V}$ 至 20 V , $T_J = -40^\circ\text{C}$ 至 $+150^\circ\text{C}$

除非另有规定, 否则典型值为: $V_S = 13.5\text{ V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition	P-Number
		Min.	Typ.	Max.			
Digital input hysteresis at DEN pin	$V_{\text{DEN(HYS)}}$	0.20	0.35	–	V	¹⁾ See Figure 10 , Figure 11 and Figure 12	PRQ-1244
Digital input current at IN pin ("high")	$I_{\text{IN(H)}}$	1	10	25	μA	$V_{\text{DI}} = 2\text{ V}$ DEN = "high" See Figure 10	PRQ-173
Digital input current at IN pin ("high")	$I_{\text{IN(H)}}$	-25	-8	-1	μA	$V_{\text{DI}} = 1.4\text{ V}$ DEN = "low" See Figure 10	PRQ-930
Digital input current at IN pin ("low")	$I_{\text{IN(L)}}$	1	10	25	μA	$V_{\text{DI}} = 0.8\text{ V}$ DEN = "high" See Figure 10	PRQ-174
Digital input current at DEN pin ("high")	$I_{\text{DEN(H)}}$	1	10	25	μA	$V_{\text{DI}} = 2\text{ V}$ See Figure 12	PRQ-931
Digital input current at DEN pin ("low")	$I_{\text{DEN(L)}}$	1	10	25	μA	$V_{\text{DI}} = 0.8\text{ V}$ See Figure 12	PRQ-932

Digital output (DO) pin: IDL

Digital output clamping voltage	$V_{\text{DO(CLAMP1)}}$	–	7	–	V	¹⁾ $I_{\text{DO}} = 1\text{ mA}$ Sleep or idle mode (where IDL is high ohmic) See Figure 15	PRQ-880
Digital output voltage ("low")	$V_{\text{DO(L)}}$	0	–	0.4	V	$I_{\text{DO}} = 0.2\text{ mA}$ Not in sleep or idle mode (then IDL is low ohmic)	PRQ-367

Analog input (AI) pin: I2t, OCT

Analog input clamping voltage	$V_{\text{AI(CLAMP1)}}$	–	6.5	–	V	¹⁾ $I_{\text{AI}} = -1\text{ mA}$ See Figure 13 and Figure 14	PRQ-881
Maximum analog input current	$I_{\text{AI_MAX}}$	100	300	500	μA	–	PRQ-371

(表格续下页.....)

Table 6 (continued) Electrical characteristics - logic pins

$V_S = 5\text{ V}$ 至 20 V , $T_J = -40^\circ\text{C}$ 至 $+150^\circ\text{C}$

除非另有规定, 否则典型值为: $V_S = 13.5\text{ V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition	P-Number
		Min.	Typ.	Max.			
OCT pin reference voltage	V_{OCT}	0.46	0.50	0.54	V	$I_{\text{OCT_MIN}} \leq I_{\text{OCT}} \leq I_{\text{OCT_MAX}}$	PRQ-891
I2t pin reference voltage	V_{I2t}	0.54	0.59	0.64	V	$R_{\text{I2t_MIN}} \leq R_{\text{I2t}} \leq R_{\text{I2t_MAX}}$	PRQ-892

1) 未经过生产测试, 由设计指定。

6 电源

6 电源

该器件由 V_S 提供，用于内部逻辑以及功率输出级的供电。 V_S 具有欠电压检测电路，如果施加的电压低于欠压阈值 ($V_S < V_{S(UV)}$)，则会阻止功率输出级的激活和诊断。上电期间，当供电电压 (V_S) 超过最低工作电压 ($V_S > V_{S(OP)}$) 时，内部上电信号置位。

6.1 操作模式

当 $V_S > V_{S(OP)}$ 时，器件具有以下运行模式：

- 休眠模式
- I2t 模式
- 带诊断模式的 I2t
- 诊断模式，输出未激活
- 空闲模式
- 诊断模式，输出激活
- 电容负载开关模式
- 诊断激活，电容负载开关模式
- 非激活模式

操作模式之间的转换根据以下变量确定：

- IN 引脚的逻辑电平
- IN 引脚上的 PWM 信号
- DEN 引脚的逻辑电平
- 内部保护锁存
- 负载电流 I_L 水平
- V_{DS} 电压电平
- 结温
- 所选 I2t 保护曲线的状态

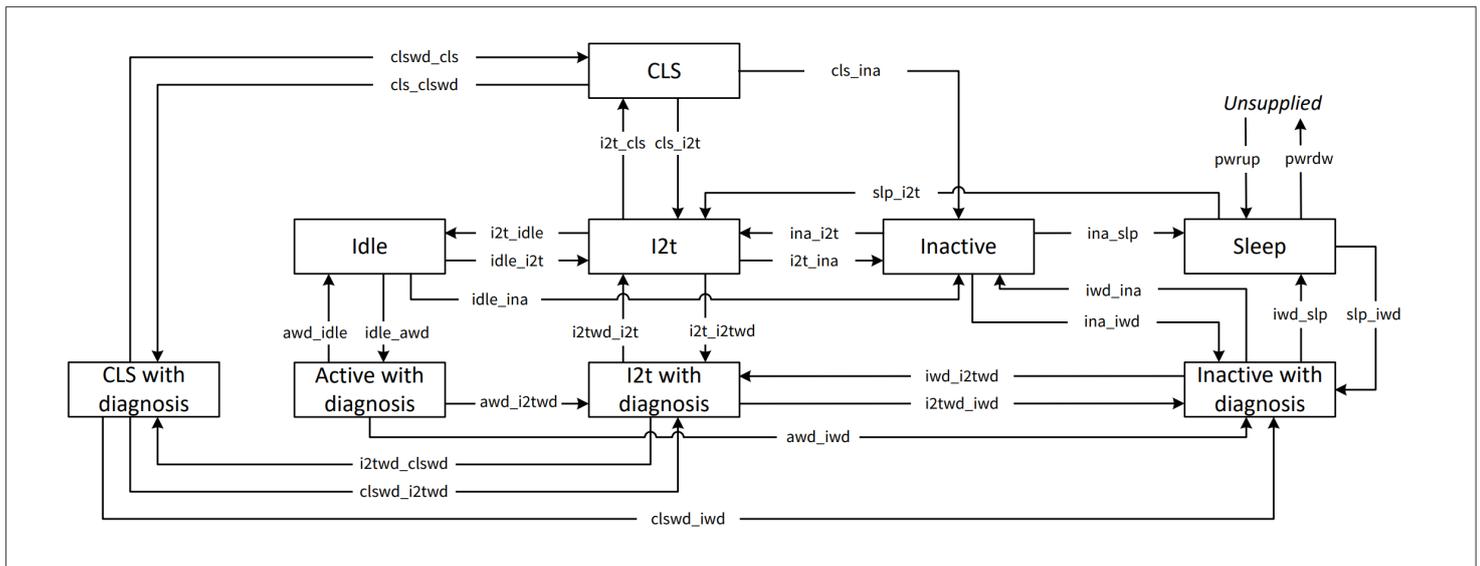


Figure 16 Operation mode state diagram

下表提供了转换的更详细描述，包括转换条件和持续时间。

Table 7 Transition descriptions

Name	Start state	End state	Transition condition	Duration time
pwr _{dw}	Sleep	Unsupplied	$V_{VS} < V_{VS(UV)}$	n.a.
pwr _{up}	Unsupplied	Sleep	$V_{VS} > V_{VS(UV)}$	n.a.
iwd _{slp}	Inactive with diagnosis	Sleep	DEN = "low" AND $S_{I2t_A} < (S_{I2t_I} - S_{I2t_HYST})$	$t_{T(iwd_slp)}$
ina _{slp}	Inactive	Sleep	$S_{I2t_A} < (S_{I2t_I} - S_{I2t_HYST})$	$t_{T(iwd_slp)}$
slp _{i2t}	Sleep	I2t	IN = "high"	t_{ON}
cls _{i2t}	CLS	I2t	(IN = "high" OR $V_{DS} < V_{DS(OLOFF)}$) AND DEN = "low"	$t_{T(CLS_I2t)}$
idle _{I2t}	Idle	I2t	$I_L > I_{L(IDLE)}$	$t_{T(IDLE_I2t)}$
i2twd _{i2t}	I2t with diagnosis	I2t	DEN = "low"	$t_{T(F10u)}$
ina _{i2t}	Inactive	I2t	IN = "high"	t_{ON}
i2t _{cls}	I2t	CLS	IN = "pwm" AND $V_{DS} > V_{DS(OLOFF)}$	$t_{T(I2t_CLS)}$
clswd _{cls}	CLS with diagnosis	CLS	DEN = "low"	$t_{T(F10u)}$
i2t _{idle}	I2t	Idle	$I_L < (I_{L(IDLE)} - I_{L(IDLE_HYST)})$ AND $S_{I2t_A} < (S_{I2t_I} - S_{I2t_HYST})$	$t_{T(I2t_IDLE)}$
awd _{idle}	Active with diagnosis	Idle	DEN = "low"	$t_{T(AWD_IDLE)}$
idle _{awd}	Idle	Active with diagnosis	DEN = "high"	$t_{T(F10u)}$
i2t _{i2twd}	I2t	I2t with diagnosis	DEN = "high"	$t_{SIS(ON15)}$
awd _{i2twd}	Active with diagnosis	I2t with diagnosis	$I_L > I_{L(IDLE)}$	$t_{SIS(ON15)}$
clswd _{i2twd}	CLS with diagnosis	I2t with diagnosis	IN = "high" OR $V_{DS} < V_{DS(OLOFF)}$	$t_{T(CLS_I2t)}$
iwd _{i2twd}	Inactive with diagnosis	I2t with diagnosis	IN = "high"	t_{ON}
cls _{clswd}	CLS	CLS with diagnosis	DEN = "high"	$t_{SIS(ON234)}$
i2twd _{clswd}	I2t with diagnosis	CLS with diagnosis	IN = "pwm" AND $V_{DS} > V_{DS(OLOFF)}$	$t_{T(I2t_CLS)}$
slp _{iwd}	Sleep	Inactive with diagnosis	DEN = "high"	$t_{SIS(ON234)}$
awd _{iwd}	Active with diagnosis	Inactive with diagnosis	IN = "low"	t_{OFF}
i2twd _{iwd}	I2t with diagnosis	Inactive with diagnosis	IN = "low"	t_{OFF}

(表格续下页.....)

Table 7 (continued) Transition descriptions

Name	Start state	End state	Transition condition	Duration time
clswd_iwd	CLS with diagnosis	Inactive with diagnosis	IN = "low"	t_{OFF}
ina_iwd	Inactive	Inactive with diagnosis	DEN = "high"	$t_{SIS(ON234)}$
i2t_ina	I2t	Inactive	IN = "low"	t_{OFF}
cls_ina	CLS	Inactive	IN = "low"	t_{OFF}
idle_ina	Idle	Inactive	IN = "low"	t_{OFF}
iwd_ina	Inactive with diagnosis	Inactive	DEN = "low" AND $S_{I2t_A} > (S_{I2t_I} - S_{I2t_HYST})$	$t_{T(F10u)}$

6.1.1 未上电

在此状态下，器件要么未供电（没有电压施加到VS引脚），要么供电电压低于欠压阈值。

6.1.2 上电

当供电电压 (V_S) 加到器件上时，进入上电状态。电源电压不断上升，直到高于最小工作电压 $V_{S(OP)}$ ，因此内部上电信号置位。

6.1.3 休眠模式

当所有数字输入引脚 (IN、DEN) 均置位为“低”且 I2t 状态计算低于初始状态 S_{I2t_I} 减去 I2t 状态迟滞 S_{I2t_HYST} 时，器件处于睡眠模式。当器件处于休眠模式时，输出为 OFF。消耗电流最小（参见参数 $I_{VS(SLEEP)}$ ）。当器件处于休眠模式时，不会激活过温或过流保护机制。如果先前已触发保护且尚未复位，则器件不会进入休眠模式（请参见第 8.3.1 章了解详情）。

6.1.4 I2t 模式

一旦输入引脚置位为“高”，就会进入 I2t 模式。器件计算 I2t 状态 S_{I2t} ，并在触发 I2t 保护功能（所选曲线）后立即关闭通道。I2t 状态计算的详细说明可以在第 9.1 章中找到。消耗电流由 $I_{GND(I2t_D)}$ 指定（在 GND 引脚处测量，因为 VS 引脚处的电流包括负载电流）。过流、过温和过压保护已激活。由于 DEN 引脚设置为“低”，因此诊断不可用。

6.1.5 诊断模式，输出未激活

只要 DEN 引脚置位为“高”，而输入引脚置位为“低”，器件就处于非激活状态和诊断模式。通道已关闭。用于计算 I2t 状态的初始 I2t 状态值取决于实际 I2t 状态。I2t 状态计算的详细说明可以在第 9.1 章中找到。消耗电流由诊断模式输出未激活 $I_{GND(INACT_D)}$ 参数指定。此外，顺序诊断是启用的，并且根据地址，所选设置存在于 IS 引脚上（更多信息请参见图 42）。

6.1.6 带诊断模式的 I2t

一旦输入引脚和 DEN 引脚置位为“高”，器件就会进入带诊断的 I2t 模式。与 I2t 模式类似，器件计算 I2t 状态 S_{I2t} ，并在 I2t 保护功能(保护曲线)触发后立即关闭通道。I2t 状态计算的详细说明可以在第 9.1 章中找到。消耗电流由

6 电源

$I_{GND(I2t_D)}$ 指定（在GND引脚处测量，因为VS引脚处的电流包括负载电流）。过流、过温和过压保护已激活。此外，顺序诊断是启用的，并且根据地址，所选设置出现在IS引脚上（请参阅图42）。

6.1.7 空闲模式

空闲模式是器件的低功耗模式，其中消耗电流减少到 $I_{GND(IDLE)}$ ，同时输出通道保持ON。当器件满足以下空闲模式项条件时，自动进入空闲模式：

- 输入引脚置位为“高”
- 负载电流电压低于 $I_{L(IDL)} - I_{L(IDLE_HYST)}$
- DEN 引脚置位为“低”
- I2t 保护状态计算 $S_{I2t_A} < (S_{I2t_I} - S_{I2t_HYST})$
- 无反向电流

当器件满足以下空闲模式退出条件之一时，将保留空闲模式：

- 输入引脚置位为“低”
- 负载电流电平高于 $I_{L(IDLE)}$
- DEN 引脚置位为“高”

在空闲模式下，过流保护、I2t 保护、过温保护和顺序诊断功能不起作用。

6.1.8 诊断模式，输出激活

当DEN引脚置位为“高”且 $I_L < I_{L(IDLE)}$ 时，从空闲模式进入主动诊断模式。从主动诊断模式到空闲模式的转换时间定义为 $t_{T(awd_idle)}$ 。在此转换过程中，由于 $I_L < I_{L(IDLE)}$ 且未应用 $I_{L(I2t_I)}$ ，因此I2t计算处于非激活状态。消耗电流定义为带 $I_{GND(I2t_D)}$ （在GND引脚处测量，因为VS引脚上的电流包括负载电流）。过流、过温和过压保护处于激活状态。此外，顺序诊断是启用的，并且根据地址，所选设置出现在IS引脚上（参见图42）。

6.1.9 CLS模式

该器件具有容性负载开关 (CLS) 模式，用于为容性负载充电。要进入CLS模式，必须在输入引脚上应用 $f_{VIN(CLS)}$ 的输入频率以及 $DC_{VIN(CLS)}$ 的占空比（更多详细信息，请参阅第7.2.3章）。CLS模式下的器件消耗电流由参数 $I_{GND(I2t_D)}$ 指定。

6.1.10 带有诊断模式的CLS

一旦CLS模式的pwm信号（ $f_{VIN(CLS)}$ 和 $DC_{VIN(CLS)}$ ）应用于输入引脚并且DEN引脚置位为“高”，就会进入具有诊断模式的CLS。器件计算I2t状态 S_{I2t} ($I_L=0A$)。过流、过温和过压保护已激活。此外，顺序诊断是启用的。根据地址，IS引脚上存在多种设置（参见图42）。器件消耗电流由参数 $I_{GND(I2t_D)}$ 指定。

6.1.11 非激活模式

非激活模式是I2t模式到睡眠模式或空闲模式到睡眠模式之间的过渡模式。一旦输入引脚置位为“低”且DEN引脚为“低”，器件就会进入非激活模式。器件将保持此模式，直到I2t状态计算达到低于I2t迟滞曲线的值。通道关闭，消耗电流由参数 $I_{GND(I2t_D)}$ 指定。

6.1.12 故障模式

一旦发生器件保护或I2t保护事件，器件将立即进入故障模式。然后输出关闭。在故障模式下，当IN=“高”且DEN=“高”时， $I_{IS(FAULT)}$ 有效，IS引脚上不提供顺序诊断。当IN=“低”且DEN=“高”时，IS引脚上提供顺序诊断（详情请参阅第10章）。

6 电源

6.2 VS 欠压

低于 $V_{S(UV)}$ 或 $V_{S(UV_IDLE)}$ 时触发欠压机制。

如果器件工作 (I2t 模式、I2t 带诊断模式、CLS 模式、CLS 带诊断模式、非激活模式或非激活诊断模式、激活诊断模式) 并且供电电压低于欠压阈值 $V_{S(UV)}$ ，内部逻辑将关闭输出通道，I2t 计算复位。

当供电电压低于 $V_{S(UV_IDLE)}$ 时，空闲模式下的电源欠压关断被触发，导致输出通道的关闭。

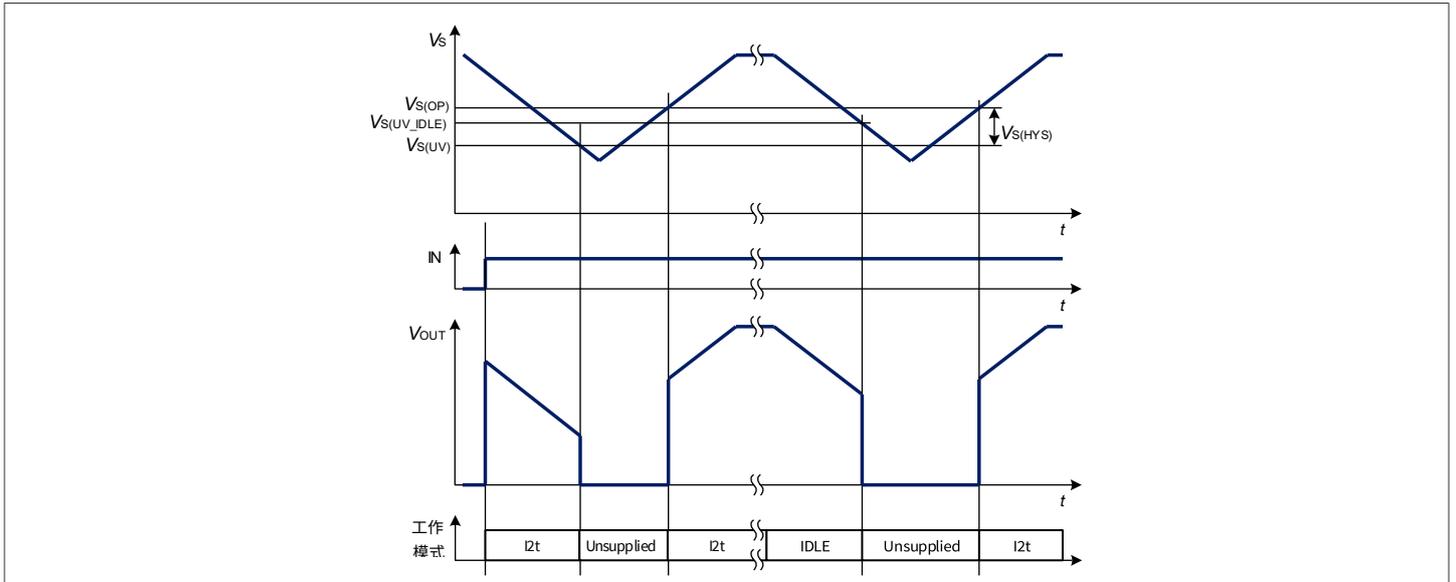


Figure 17 VS undervoltage behavior

6.3 电源电气特性

Table 8 Electrical characteristics - power supply

$T_J = -40^\circ\text{C}$ 至 $+150^\circ\text{C}$

除非另有说明，否则均为典型值： $T_J = 25^\circ\text{C}$

典型的阻性负载连接到输出端进行测试(除非另有说明): $R_L = 2.1 \Omega$

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition	P-Number
		Min.	Typ.	Max.			
VS pin							
Power supply undervoltage shutdown (normal)	$V_{S(UV)}$	2.0	2.4	2.75	V	V_S decreasing IN = "high" From $V_{DS} \leq 0.5 \text{ V}$ to $V_{DS} = V_S$	PRQ-186
Power supply undervoltage shutdown in idle	$V_{S(UV_IDLE)}$	2.3	2.6	2.9	V	V_S decreasing Idle mode IN = "high" From $V_{DS} \leq 0.5 \text{ V}$ to $V_{DS} = V_S$	PRQ-1434

(表格续下页.....)

6 电源

Table 8 (continued) Electrical characteristics - power supply

$T_J = -40^\circ\text{C}$ 至 $+150^\circ\text{C}$

除非另有说明，否则均为典型值： $T_J = 25^\circ\text{C}$

典型的阻性负载连接到输出端进行测试(除非另有说明): $R_L = 2.1 \Omega$

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition	P-Number
		Min.	Typ.	Max.			
Power supply minimum operating voltage	$V_{S(OP)}$	2.2	3.1	4.1	V	V_S increasing IN = "high" From $V_{DS} = V_S$ to $V_{DS} \leq 0.5 \text{ V}$	PRQ-188
Power supply undervoltage shutdown hysteresis	$V_{S(HYS)}$	–	0.75	–	V	¹⁾ $V_{S(OP)} - V_{S(UV)}$	PRQ-190

¹⁾ 未经过生产测试，由设计指定。

6.3.1 电气特性 - 电源

Table 9 Power supply

$V_S = 5 \text{ V}$ 至 20 V , $T_J = -40^\circ\text{C}$ 至 $+150^\circ\text{C}$

除非另有规定，否则典型值为： $V_S = 13.5 \text{ V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$

典型的阻性负载连接到输出端进行测试(除非另有说明): $R_L = 2.1 \Omega$

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition	P-Number
		Min.	Typ.	Max.			
Transition times							
Transition time for fast transition	$t_{T(F10u)}$	–	15	25	μs	¹⁾	PRQ-1377
Transition time cls mode to I2t mode	$t_{T(CLS_I2t)}$	–	40	80	μs	¹⁾	PRQ-1376
Transition time idle mode to I2t mode	$t_{T(IDLE_I2t)}$	9	15.5	24	μs	¹⁾	PRQ-1378
Transition time active with diagnosis mode to idle mode	$t_{T(AWD_IDLE)}$	210	280	350	μs	¹⁾	PRQ-1379
Transition time I2t mode to cls mode	$t_{T(I2t_CLS)}$	30	70	140	μs	¹⁾	PRQ-1380
Transition time inactive with diagnosis mode to sleep mode	$t_{T(iwd_slp)}$	150	210	300	μs	¹⁾	PRQ-1410

(表格续下页.....)

6 电源

Table 9 (continued) Power supply

$V_S = 5\text{ V}$ 至 20 V , $T_J = -40^\circ\text{C}$ 至 $+150^\circ\text{C}$

除非另有规定, 否则典型值为: $V_S = 13.5\text{ V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$

典型的阻性负载连接到输出端进行测试(除非另有说明): $R_L = 2.1\ \Omega$

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition	P-Number
		Min.	Typ.	Max.			
Current consumption							
Supply current consumption in sleep mode with loads at $T_J \leq 85^\circ\text{C}$	$I_{VS(\text{SLEEP})_{85}}$	–	0.2	1.9	μA	¹⁾ $V_S = 20\text{ V}$ $V_{\text{OUT}} = V_{\text{I2t}} = V_{\text{OCT}} = 0\text{ V}$ IN = DEN = “low” $T_J \leq 85^\circ\text{C}$	PRQ-1069
Supply current consumption in sleep mode with loads at $T_J = 150^\circ\text{C}$	$I_{VS(\text{SLEEP})_{150}}$	–	2.1	56	μA	$V_S = 20\text{ V}$ $V_{\text{OUT}} = V_{\text{I2t}} = V_{\text{OCT}} = 0\text{ V}$ IN = DEN = “low” $T_J = 150^\circ\text{C}$	PRQ-1078
Operating current in inactive with diagnosis mode	$I_{\text{GND}(\text{INACT_D})}$	–	1.5	2.3	mA	$V_S = 20\text{ V}$ IN = “low” DEN = “high”	PRQ-197
Operating current in I2t with diagnosis mode (channel ON)	$I_{\text{GND}(\text{I2t_D})}$	–	5	7.4	mA	$V_S = 20\text{ V}$ IN = DEN = “high”	PRQ-195
Operating current in idle mode (channel ON)	$I_{\text{GND}(\text{IDLE})}$	–	50	60	μA	$V_S = 20\text{ V}$ IN = “high” DEN = “low” $I_L < I_{L(\text{IDLE})}$	PRQ-355
Idle currents							
Load current hysteresis for idle mode entry	$I_{L(\text{IDLE_HYST})}$	–	0.055	–	A	¹⁾ See Chapter 6.1.7	PRQ-1461
Load current threshold for idle mode exit	$I_{L(\text{IDLE})}$	3.4	5.2	7.3	A	See Chapter 6.1.7	PRQ-1080

¹⁾ 未经过生产测试, 由设计指定。

7 功率级

高边开关采用的是集成电荷泵方式的N-Channel MOSFET。

7.1 输出导通电阻

导通电阻 $R_{DS(ON)}$ 主要取决于结温 T_J 。图 18 显示 $R_{DS(ON)}$ 的变化。在整个 T_J 范围内的变化。y 轴上的值“2”对应于在 $T_J = 150\text{ }^\circ\text{C}$ 时测得的最大 $R_{DS(ON)}$ 。

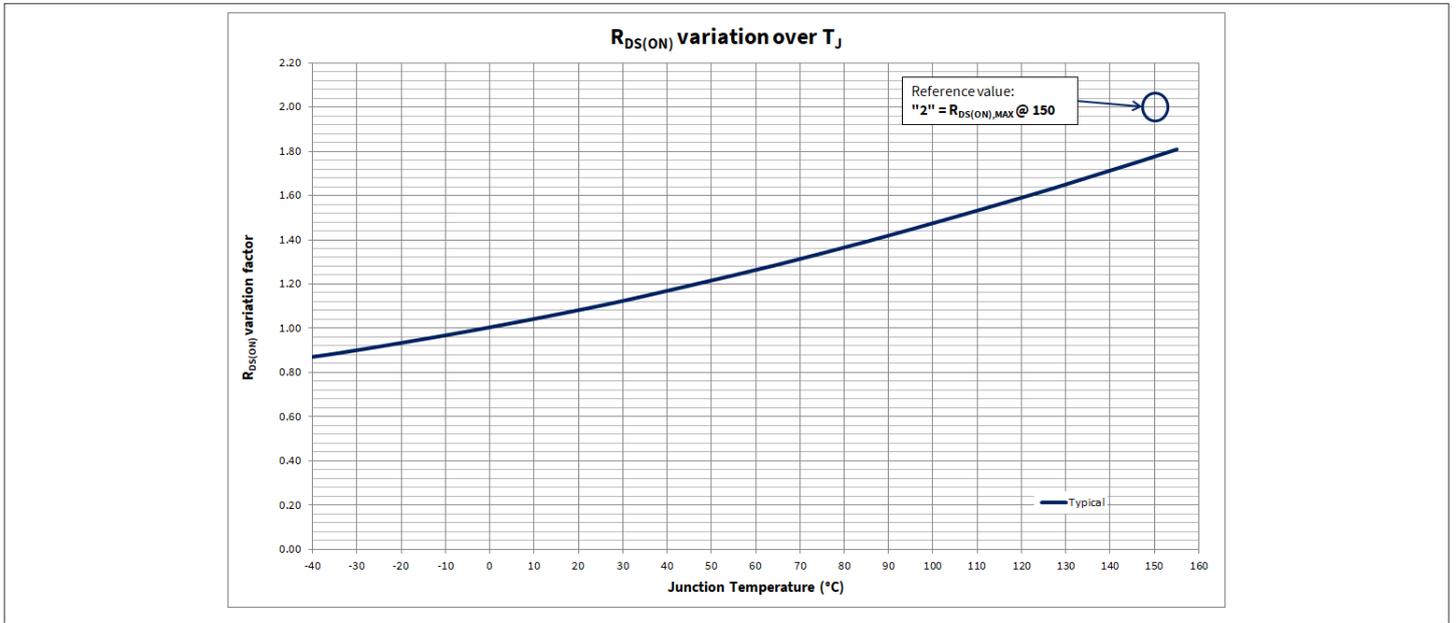


Figure 18 $R_{DS(ON)}$ variation factor

反接应用中对应的参数特性在[章节 8.4.1](#)。

7.2 驱动负载

7.2.1 驱动阻性负载

切换电阻负载时，切换时间和转换速率如[图 19](#)所示可以考虑。切换热值 E_{ON} 和 E_{OFF} 与负载阻抗和时间 t_{ON} 和 t_{OFF} 成正比。

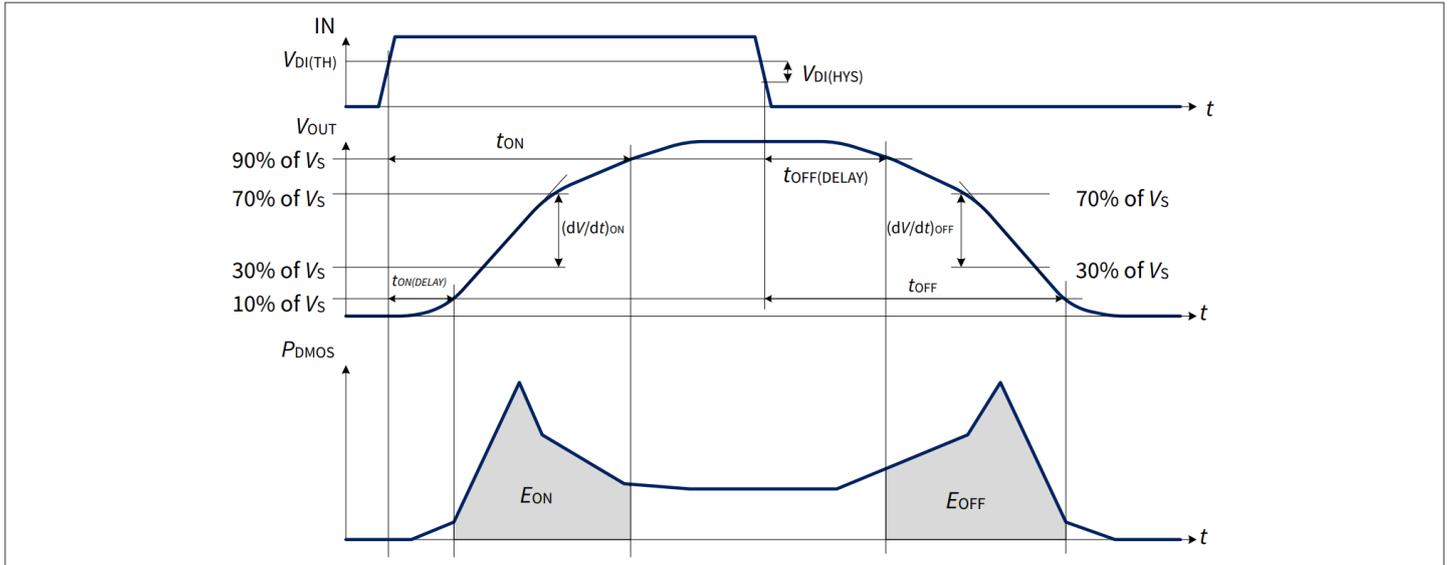


Figure 19 Switching a resistive load

7.2.2 驱动感性负载

当用高边开关关闭感性负载时，电压 V_{OUT} 降至地电位以下，因为电感继续驱动电流。为了防止器件因过压而损坏，采用了电压钳位机制。钳位结构限制负输出电压，使得 $V_{DS} = V_{DS(CLAMP)}$ 。图 20 展示了实现的概念图。

在所有工作模式下如章节 6.1 定义，钳位结构都起作用。

所有钳位结构 ($V_{SIS(CLAMP)}$ 、 $V_{S(CLAMP)}$ 、 $V_{DS(CLAMP)}$) 均根据 V_S 电源实现。

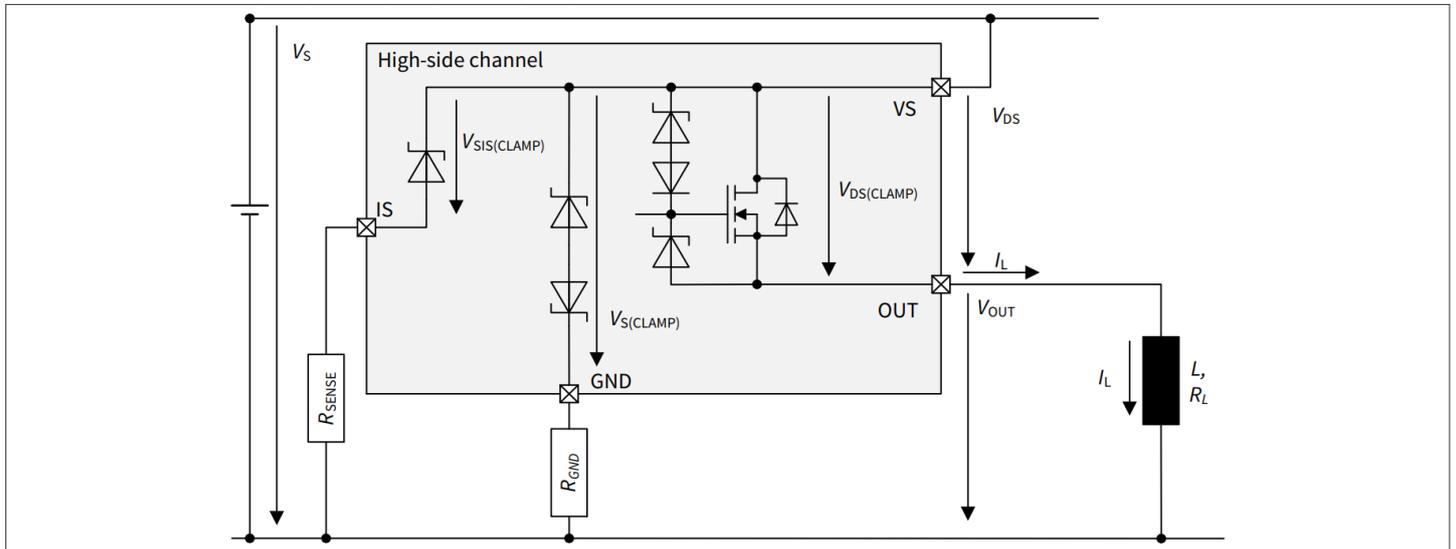


Figure 20 Output clamp concept

在感性负载退磁过程中，能量在器件中耗散。热量计算公式如下：

$$E = V_{DS(CLAMP)} \cdot \left[\frac{V_S - V_{DS(CLAMP)}}{R_L} \cdot \ln\left(1 - \frac{R_L \cdot I_L}{V_S - V_{DS(CLAMP)}}\right) + I_L \right] \cdot \frac{L}{R_L} \quad (1)$$

最大能量，即给定电流的最大电感，受到元器件热设计的限制。参见表 3 为 E_{AS} （单脉冲热量）和 E_{AR} （重复的热量）的最大允许值。

7.2.3 容性负载切换

当在容性负载切换 (CLS) 模式下驱动阻性负载时, 切换时间以及斜率将变为 t_{ON_CLS} 、 $t_{ON_CLS(Delay)}$ 、 $(dV/dt)_{ON_CLS}$, 如图 21 所示。通过在输入引脚处应用频率 $f_{VIN(CLS)}$ 且占空比为 $DC_{VIN(CLS)}$ 的 PWM 信号来进入 CLS 模式。

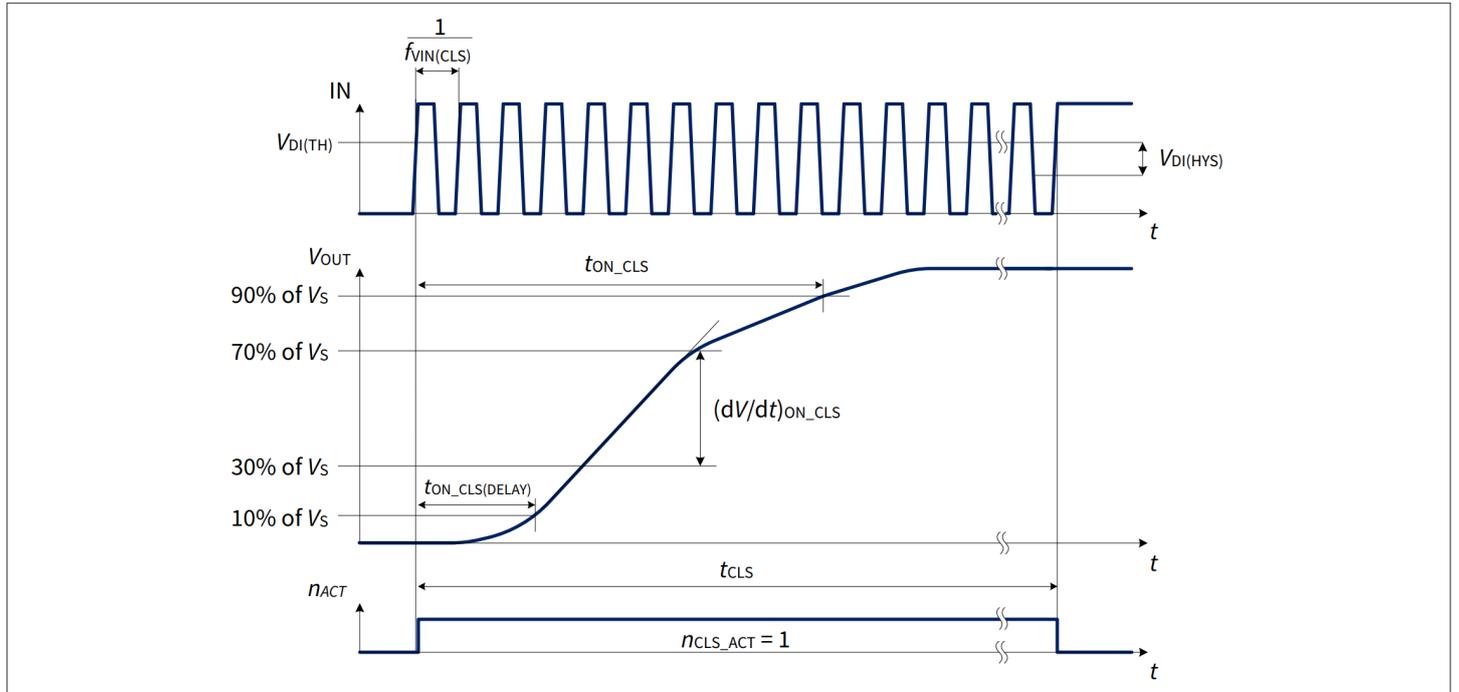


Figure 21 Capacitive load switching timings

在此模式下, 动态过温关断温度降低至 $T_{J_CLS(DYN)}$, 并且器件被置位以自动重启。

通过将输入设置为“高”或“低”状态, 最长 t_{CLS} 时间后, 必须退出 CLS 模式和带诊断的 CLS 模式。最高可配置过流检测阈值 $I_{L(HOCT)}$ (对于 $I_{OCT} = 50 \mu A$) 已启用, 过温保护功能处于激活状态 (参见图 29)。

该器件计算 I2t 状态 S_{I2t} ($I_L = 0 A$)。

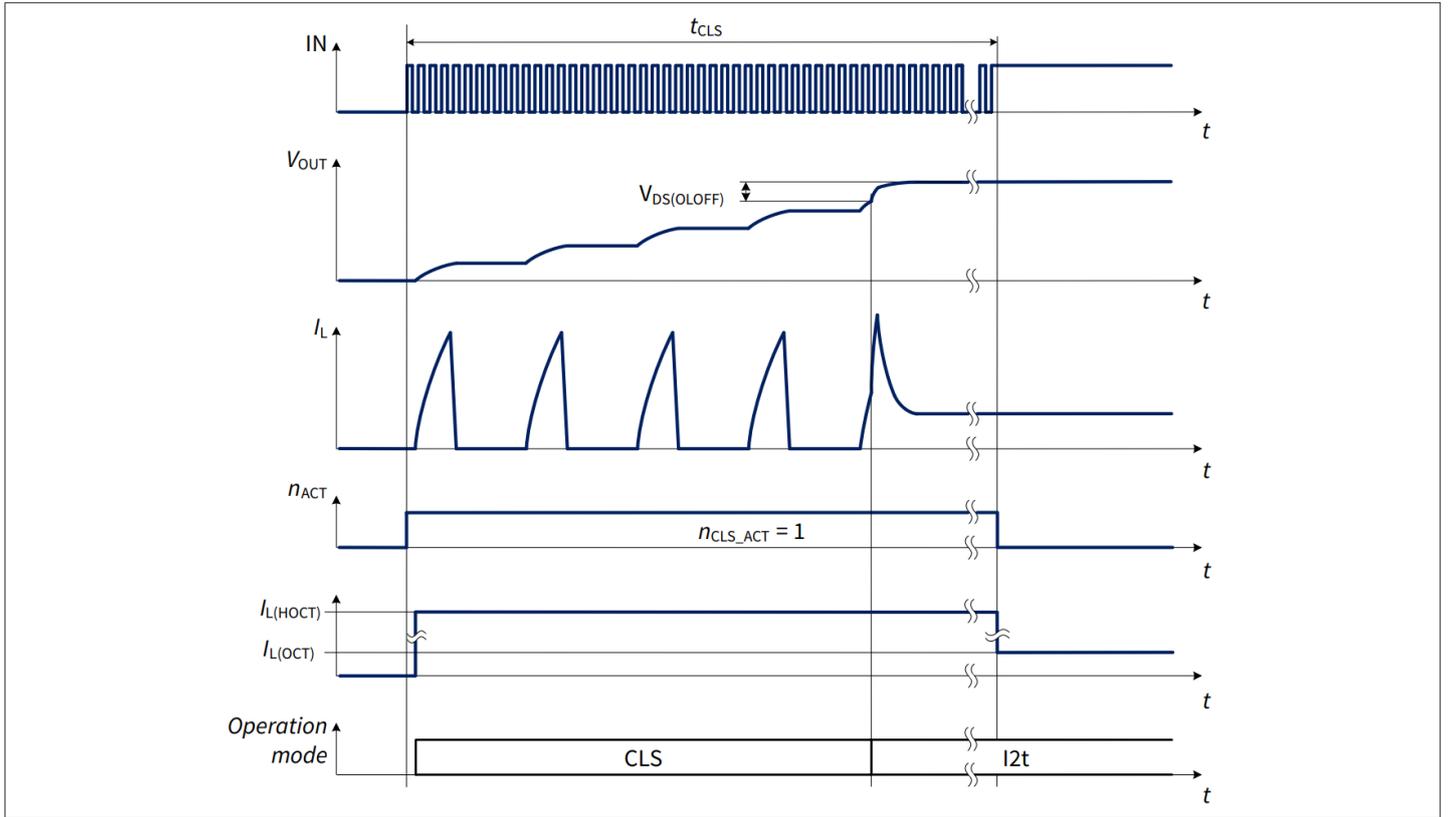


Figure 22 Capacitive load switching activations

当 $V_{DS} < V_{DS(OLOFF)}$ 时，会自动从 CLS 模式转换到 ON 模式。从 CLS 模式 (IN = "pwm") 转换为 I2t 模式 (IN = "high") 之前，必须确保输出端没有短路。为了区分短路和正常负载，必须在离开 CLS 模式之前执行电流检测测量。如果电流测量结果为预期值，则可以从 CLS 模式转换到正常模式。如果电流测量结果为负载开路值 (无输出电流)，则必须假设输出端有负载开路或短路。此外，可以通过在输出端进行外部电压测量来排除短路条件。

7.3 高级开关特性

7.3.1 反向电流特性

如果 $V_{OUT} > V_S$ ，则电流 $I_{L(INV)}$ 流入功率输出晶体管 (参见图 23)。这种条件被称为“反向电流”。

如果通道处于关闭状态，电流流经体二极管，产生高功率损耗。总体器件温度升高。如果通道处于开启状态，则可以预期 $R_{DS(INV)}$ 且输出级中的功率耗散与 $R_{DS(ON)}$ 中的正常运行相当。

在逆向开启条件下，只要 $|I_L| < |I_{L(INV)}|$ ，通道就会保持开启或关闭状态。在反向电流条件下，只要 $|I_L| < |I_{L(INV)}|$ ，就可以打开通道 (参见图 24)。

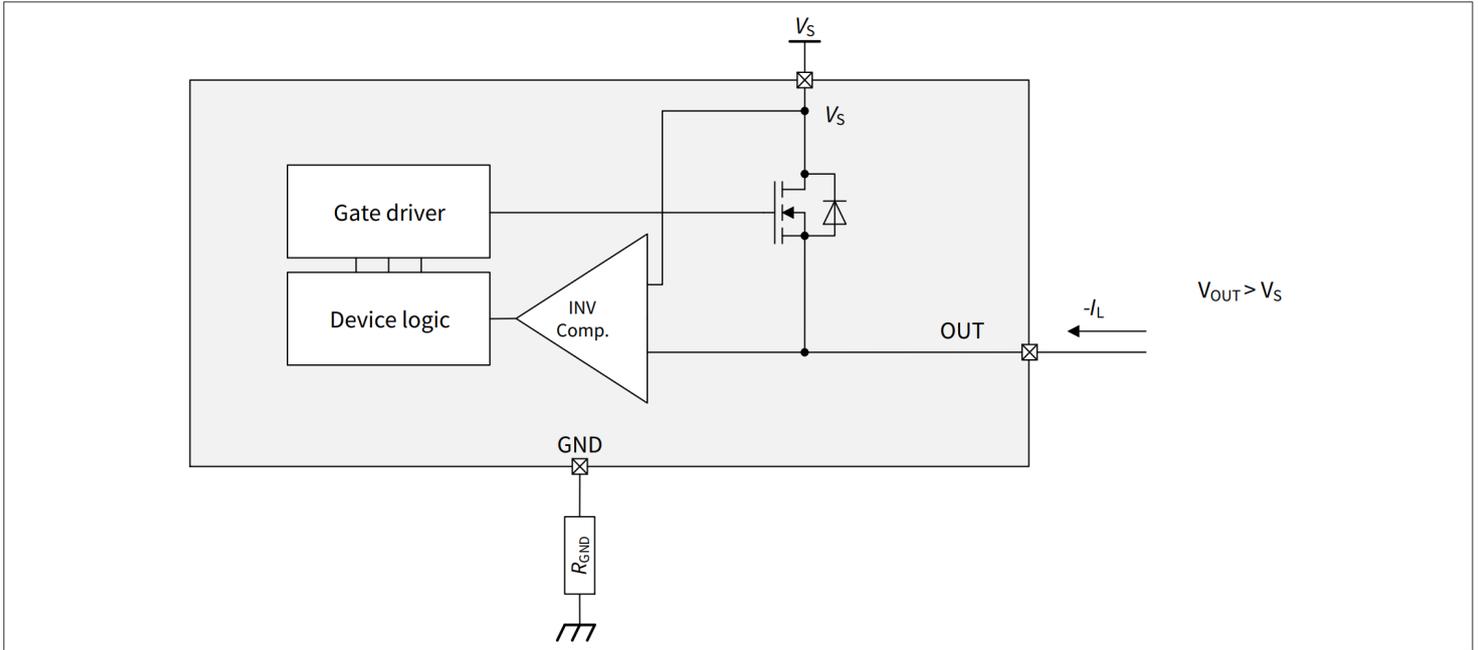


Figure 23 Inverse current circuitry

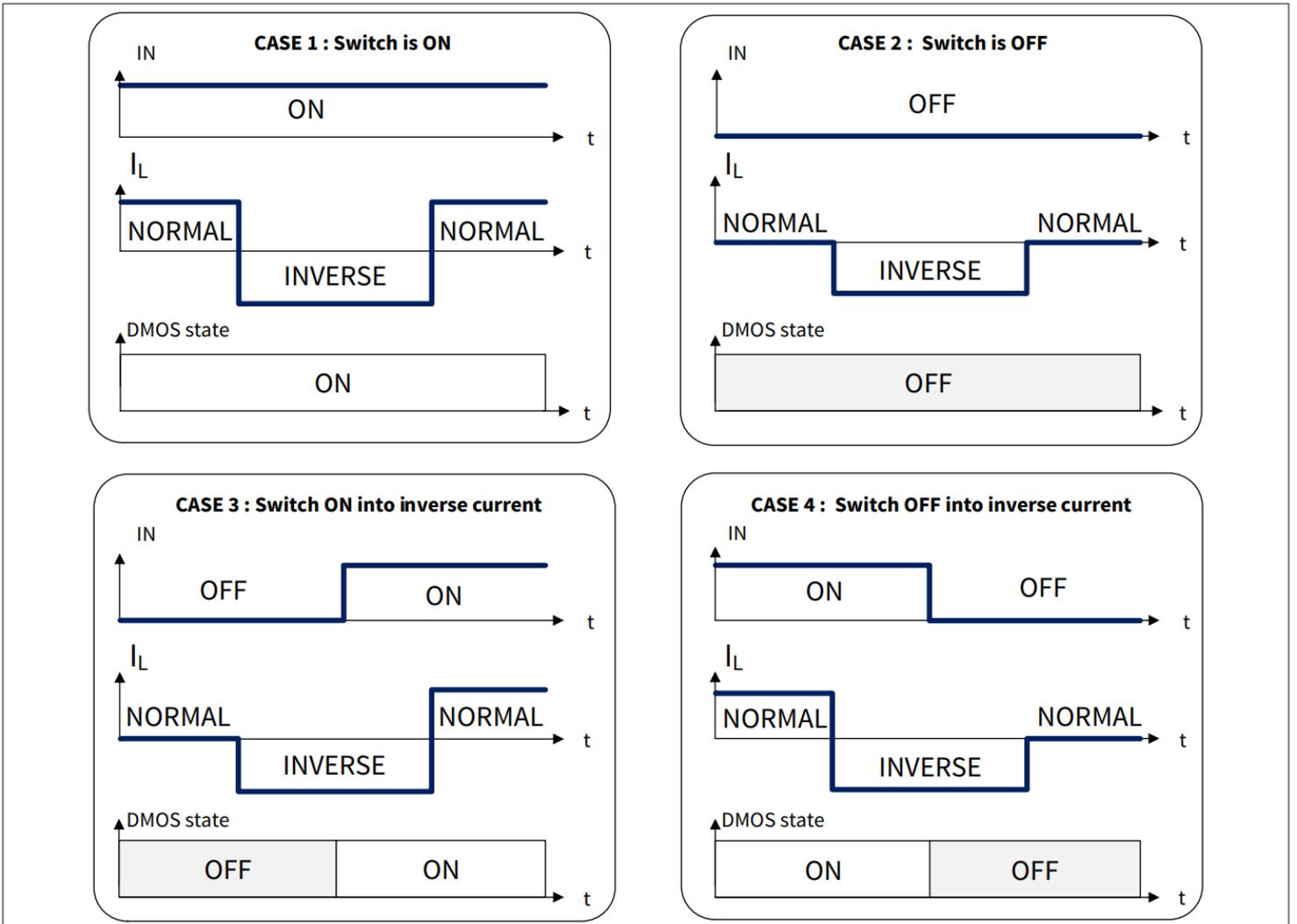


Figure 24 Inverse ON - channel behavior in case of applied inverse current

反向电流期间，保护机制比如过温保护和过流保护机制是禁用的。

7.4 功率级电气特性

Table 10 Electrical characteristics power stages

$V_S = 5\text{ V}$ 至 20 V , $T_J = -40^\circ\text{C}$ 至 $+150^\circ\text{C}$

除非另有规定，否则典型值为: $V_S = 13.5\text{ V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$

典型的阻性负载连接到输出端进行测试(除非另有说明): $R_L = 2.1\ \Omega$

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition	P-Number
		Min.	Typ.	Max.			

Voltages

Drain to source clamping voltage at $T_J = -40^\circ\text{C}$	$V_{DS(\text{CLAMP})_{-40}}$	33	36.5	42	V	$I_L = 5\text{ mA}$ $T_J = -40^\circ\text{C}$ See Figure 20	PRQ-203
Drain to source clamping voltage at $T_J \geq 25^\circ\text{C}$	$V_{DS(\text{CLAMP})_{25}}$	35	38	44	V	¹⁾ $I_L = 5\text{ mA}$ $T_J \geq 25^\circ\text{C}$ See Figure 20	PRQ-204

Timings

Switch-ON delay	$t_{\text{ON}(\text{DELAY})}$	10	50	90	μs	$V_S = 13.5\text{ V}$ $V_{\text{OUT}} = 10\% V_S$ See Figure 19	PRQ-205
Switch-ON delay in CLS	$t_{\text{ON_CLS}(\text{DELAY})}$	150	500	850	μs	$V_S = 13.5\text{ V}$ $V_{\text{OUT}} = 10\% V_S$ See Figure 21	PRQ-591
Switch-OFF delay	$t_{\text{OFF}(\text{DELAY})}$	10	75	140	μs	$V_S = 13.5\text{ V}$ $V_{\text{OUT}} = 90\% V_S$ See Figure 19	PRQ-206
Switch-ON time	t_{ON}	40	100	160	μs	$V_S = 13.5\text{ V}$ $V_{\text{OUT}} = 90\% V_S$ See Figure 19	PRQ-207
Switch-ON time in CLS	$t_{\text{ON_CLS}}$	350	1075	1800	μs	$V_S = 13.5\text{ V}$ $V_{\text{OUT}} = 90\% V_S$ See Figure 21	PRQ-592
Switch-OFF time	t_{OFF}	50	120	190	μs	$V_S = 13.5\text{ V}$ $V_{\text{OUT}} = 10\% V_S$ See Figure 19	PRQ-208
Switch-ON/OFF matching ($t_{\text{ON}} - t_{\text{OFF}}$)	Δt_{sw}	-90	-20	50	μs	$V_S = 13.5\text{ V}$	PRQ-209

(表格续下页.....)

7 功率级

Table 10 (continued) Electrical characteristics power stages

$V_S = 5\text{ V}$ 至 20 V , $T_J = -40^\circ\text{C}$ 至 $+150^\circ\text{C}$

除非另有规定, 否则典型值为: $V_S = 13.5\text{ V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$

典型的阻性负载连接到输出端进行测试(除非另有说明): $R_L = 2.1\ \Omega$

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition	P-Number
		Min.	Typ.	Max.			
Input frequency for capacitive load switching mode	$f_{VIN(CLS)}$	22	30	38	kHz	²⁾ $DC_{VIN(CLS)} = 50\%$	PRQ-588
Duty cycle for capacitive load switching	$DC_{VIN(CLS)}$	30%	50%	70%	–	²⁾ $f_{VIN(CLS)} = 30\text{ kHz}$	PRQ-589

Voltage slope

Switch-ON slew rate	$(dV/dt)_{ON}$	0.16	0.27	0.39	V/ μs	$V_S = 13.5\text{ V}$ $V_{OUT} = 30\% V_S$ to $70\% V_S$ See Figure 19	PRQ-210
Switch-ON slew rate in CLS	$(dV/dt)_{ON_CLS}$	0.012	0.023	0.037	V/ μs	$V_S = 13.5\text{ V}$ $V_{OUT} = 30\% V_S$ to $70\% V_S$ See Figure 21	PRQ-590
Switch-OFF slew rate	$(dV/dt)_{OFF}$	-0.39	-0.27	-0.16	V/ μs	$V_S = 13.5\text{ V}$ $V_{OUT} = 70\% V_S$ to $30\% V_S$ See Figure 19	PRQ-211
Slew rate matching (dV/dt) _{ON} - (dV/dt) _{OFF}	$\Delta(dV/dt)_{SW}$	-0.15	0	0.15	V/ μs	$V_S = 13.5\text{ V}$	PRQ-212

CLS

Maximum time in CLS mode	t_{CLS}	–	–	100	ms	²⁾ $V_S = 14\text{ V}$ $T_{J(0)} = 85^\circ\text{C}$ See Figure 21	PRQ-872
Maximum number of CLS mode activations	n_{CLS_ACT}	–	–	50	kcycles	²⁾ $V_S = 14\text{ V}$ $T_{J(0)} = 85^\circ\text{C}$ See Figure 21	PRQ-873
Thermal shut down temperature in CLS (dynamic)	$T_{J_CLS(DYN)}$	–	20	–	K	²⁾	PRQ-874

Output characteristics

ON-state resistance at $T_J = 25^\circ\text{C}$	$R_{DS(ON)_25}$	–	1.5	–	m Ω	²⁾ $T_J = 25^\circ\text{C}$	PRQ-1081
---	-----------------	---	-----	---	------------	---	----------

(表格续下页.....)

Table 10 (continued) Electrical characteristics power stages

$V_S = 5\text{ V}$ 至 20 V , $T_J = -40^\circ\text{C}$ 至 $+150^\circ\text{C}$

除非另有规定, 否则典型值为: $V_S = 13.5\text{ V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$

典型的阻性负载连接到输出端进行测试(除非另有说明): $R_L = 2.1\ \Omega$

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition	P-Number
		Min.	Typ.	Max.			
ON-state resistance at $T_J = 150^\circ\text{C}$	$R_{DS(ON)_150}$	-	-	2.8	m Ω	$T_J = 150^\circ\text{C}$	PRQ-1082
ON-state resistance in cranking	$R_{DS(ON)_CRANK}$	-	-	3.2	m Ω	$T_J = 150^\circ\text{C}$ $V_S = 3.1\text{ V}$	PRQ-1083
ON-state resistance in idle mode at $T_J = 150^\circ\text{C}$	$R_{DS(ON)_IDLE}$	-	3.2	-	m Ω	$T_J = 150^\circ\text{C}$	PRQ-1084
ON-state resistance in inverse current at $T_J = 25^\circ\text{C}$	$R_{DS(INV)_25}$	-	1.6	-	m Ω	²⁾ $T_J = 25^\circ\text{C}$ $V_S = 13.5\text{ V}$ $I_L = -10\text{ A}$ DEN = "low" See Figure 24	PRQ-1085
ON-state resistance in inverse current at $T_J = 150^\circ\text{C}$	$R_{DS(INV)_150}$	-	-	3.2	m Ω	$T_J = 150^\circ\text{C}$ $V_S = 13.5\text{ V}$ $I_L = -10\text{ A}$ DEN = "low" See Figure 24	PRQ-1086
ON-state resistance in reverse polarity at $T_J = 25^\circ\text{C}$	$R_{DS(REV)_25}$	-	3.2	-	m Ω	²⁾ $T_J = 25^\circ\text{C}$ $V_S = -13.5\text{ V}$ $I_L = -10\text{ A}$ See Figure 34	PRQ-1087
ON-state resistance in reverse polarity at $T_J = 150^\circ\text{C}$	$R_{DS(REV)_150}$	-	-	4.3	m Ω	²⁾ $T_J = 150^\circ\text{C}$ $V_S = -13.5\text{ V}$ $I_L = -10\text{ A}$	PRQ-1088
Nominal load current	$I_{L(NOM)_85}$	-	26.6	-	A	²⁾ $T_A = 85^\circ\text{C}$ $T_J \leq 150^\circ\text{C}$	PRQ-1089
Output leakage current at $T_J \leq 85^\circ\text{C}$	$I_{L(OFF)_85}$	-	0.2	1.9	μA	²⁾ $V_{OUT} = 0\text{ V}$ $V_{IN} = \text{"low"}$ $T_J \leq 85^\circ\text{C}$	PRQ-1090

(表格续下页.....)

Table 10 (continued) Electrical characteristics power stages

$V_S = 5\text{ V}$ 至 20 V , $T_J = -40^\circ\text{C}$ 至 $+150^\circ\text{C}$

除非另有规定, 否则典型值为: $V_S = 13.5\text{ V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$

典型的阻性负载连接到输出端进行测试(除非另有说明): $R_L = 2.1\ \Omega$

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition	P-Number
		Min.	Typ.	Max.			
Output leakage current at $T_J = 150^\circ\text{C}$	$I_{L(OFF)_150}$	-	-	56	μA	$V_{OUT} = 0\text{ V}$ $V_{IN} = \text{"low"}$ $T_J = 150^\circ\text{C}$	PRQ-1091
Inverse current capability	$I_{L(INV)}$	-	-26.6	-	A	²⁾ $V_S < V_{OUT}$ IN = "high" See Figure 24	PRQ-1092

Voltages

Drain source diode voltage	$ V_{DS(DIODE)} $	-	550	700	mV	$I_L = -190\text{ mA}$ $T_J = 150^\circ\text{C}$	PRQ-224
----------------------------	-------------------	---	-----	-----	----	---	---------

Switching energy

Switch-ON energy	E_{ON}	-	1.5	-	mJ	²⁾ $V_S = 20\text{ V}$ See Figure 19	PRQ-225
Switch-OFF energy	E_{OFF}	-	1.65	-	mJ	²⁾ $V_S = 20\text{ V}$ See Figure 19	PRQ-226

- 1) 测试温度 $T_J = 150^\circ\text{C}$ 。
 2) 未经过生产测试, 由设计指定。

8 器件保护

该器件具有过温、过流、反向电池（反向开启）和过压的保护。当器件处于睡眠模式时，过温和过流保护被禁用。

当器件处于空闲模式时，过温保护和过流检测阈值被禁用。退出空闲模式后（考虑转换时间 $t_{T(IDLE_I2t)}$ ），所有保护功能均激活。

在反向电流和反向电池条件下，过温和过流保护不起作用。过压保护在所有操作模式下都激活。

当 GND 和 VS 引脚反接时，电池防反接保护起作用。

8.1 过温保护

该器件结合了通道的绝对 ($T_{J(ABS)}$) 和动态 ($T_{J(DYN)}$) 温度保护电路。

当结温 T_J 超过两个阈值 ($T_{J(ABS)}$ 或 $T_{J(DYN)}$) 之一时，过热通道将关闭，以防止损坏。通道保持关闭状态，直到结温达到“重新激活”条件，并按表 11 所述应用复位。该行为如图 25 和 图 26 所示。 $T_{J(REF)}$ 是动态温度保护的基准温度。

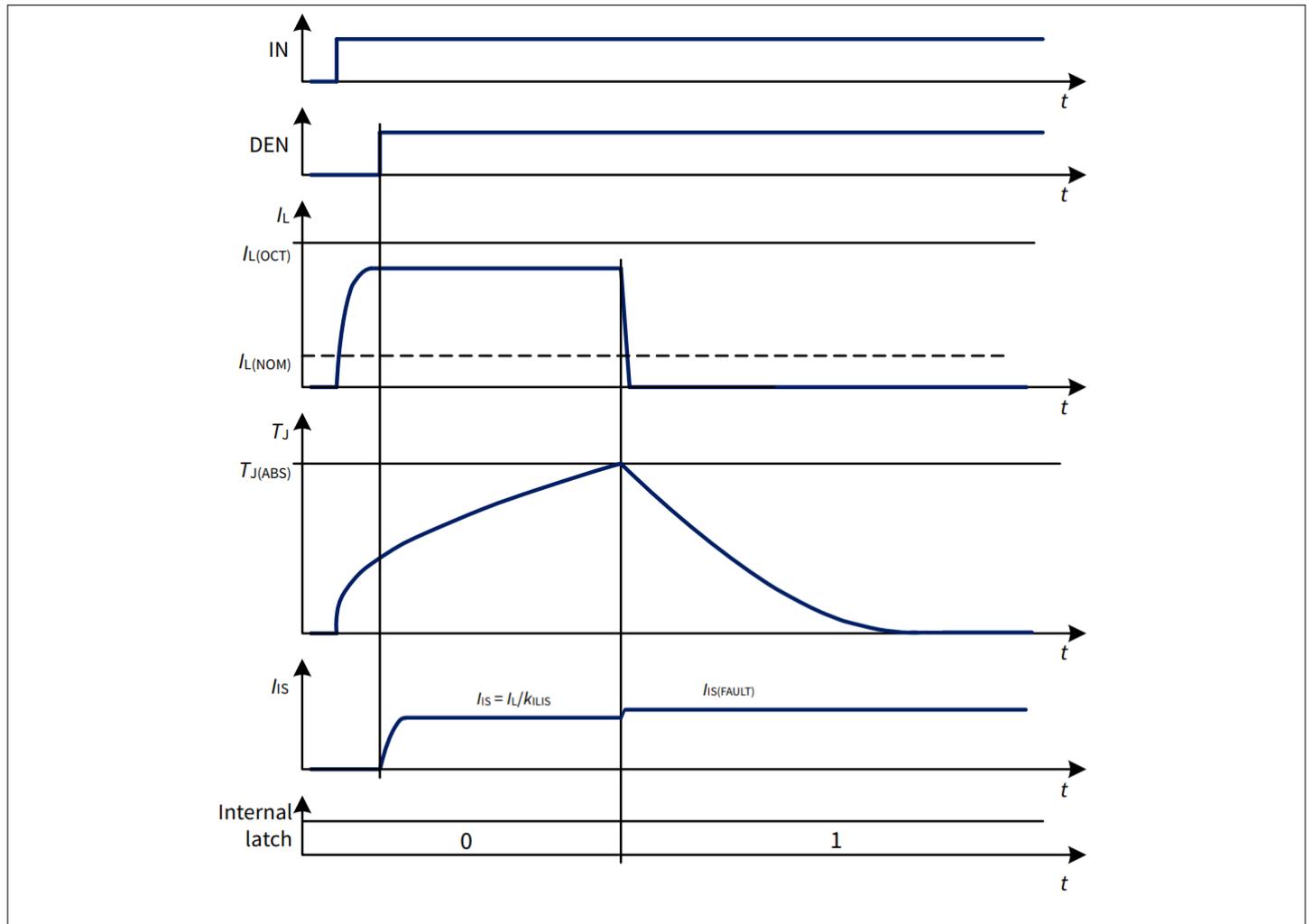


Figure 25 Overtemperature protection (absolute)

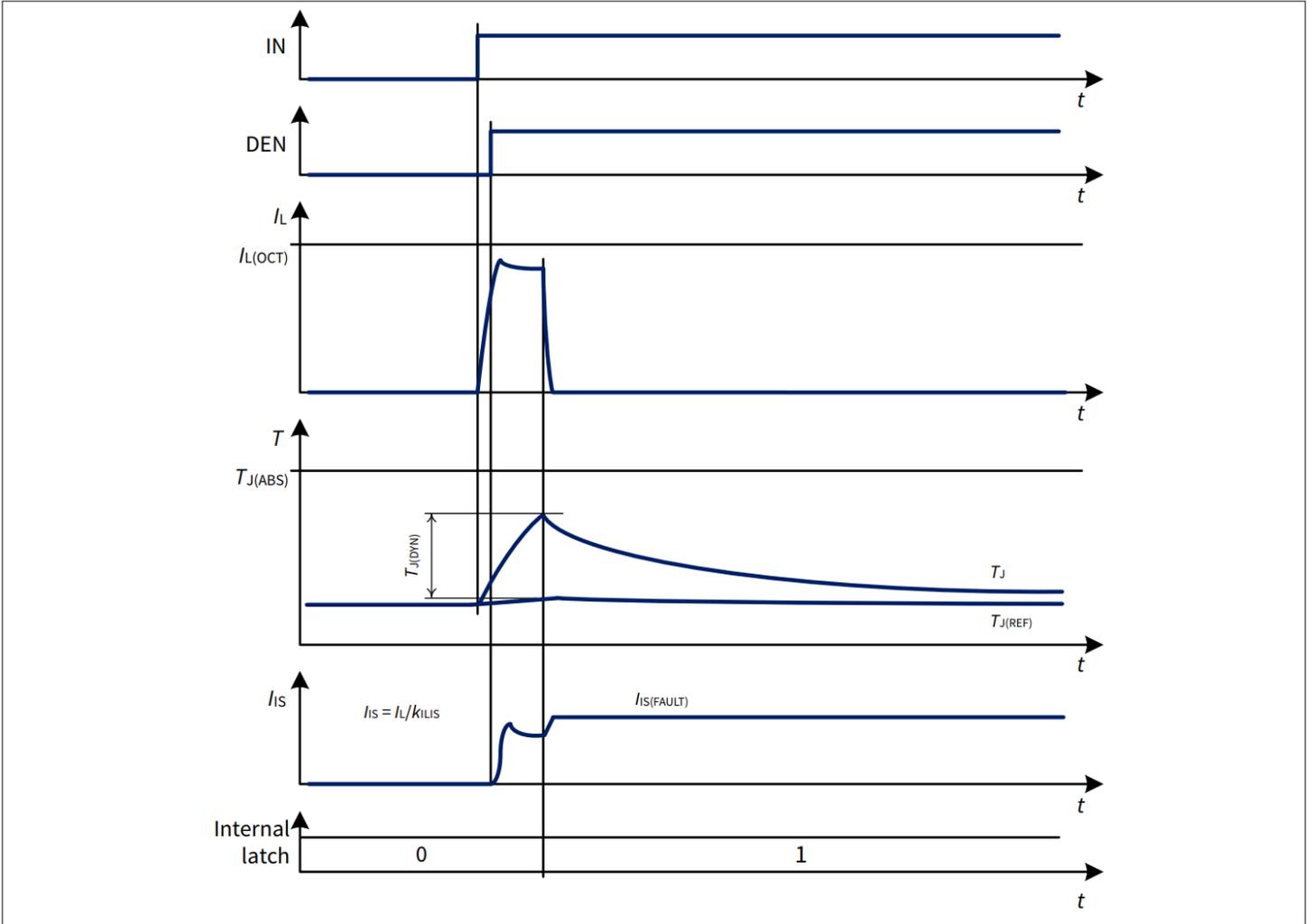


Figure 26 **Overtemperature protection (dynamic)**

当过温保护电路允许通道再次开启时，将执行第 8.3 章 中描述的重启策略。

8.2 过流阈值保护

在发生过流或接地短路时，器件通过过流保护 $I_{L(OCT)}$ 进行保护。

另外，通过在器件的 OCT 引脚和 GND 引脚之间连接电阻，可以将过流阈值 $I_{L(OCT)}$ 从最低的可配置过流检测阈值 $I_{L(LOCT)}$ 调整到最高的可配置过流检测阈值 $I_{L(HOCT)}$ 。

过流阈值（不考虑 V_{DS} 降低）可按如下方式调整。对于过流阈值（ $t \geq t_{sIS(DIAG)}$ ）：

$$I_{L(OCT_TJ)}[A] = \left[(I_{OCT}[\mu A] - 7.5[\mu A]) \cdot k_{OCT} + I_{L(LOCT)} - 40[A] \right] \cdot \left[1 - (T_J[^\circ C] + 40[^\circ C]) \cdot k_{TJ_IL(OCT)} \cdot 10^{-3} \right] \quad (2)$$

对于开启期间的过流阈值（ $t < t_{sIS(DIAG)}$ ）：

$$I_{L(OCT_SW)}[A] = (I_{OCT}[\mu A] - 7.5[\mu A]) \cdot k_{OCT_SW}[A/\mu A] + I_{L(LOCT_SW)}[A] \quad (3)$$

要选择连接在 OCT 引脚和器件接地之间的合适电阻值 R_{OCT} ，可以考虑以下方程：

$$I_{OCT} = \frac{V_{OCT}}{R_{OCT}} \quad (4)$$

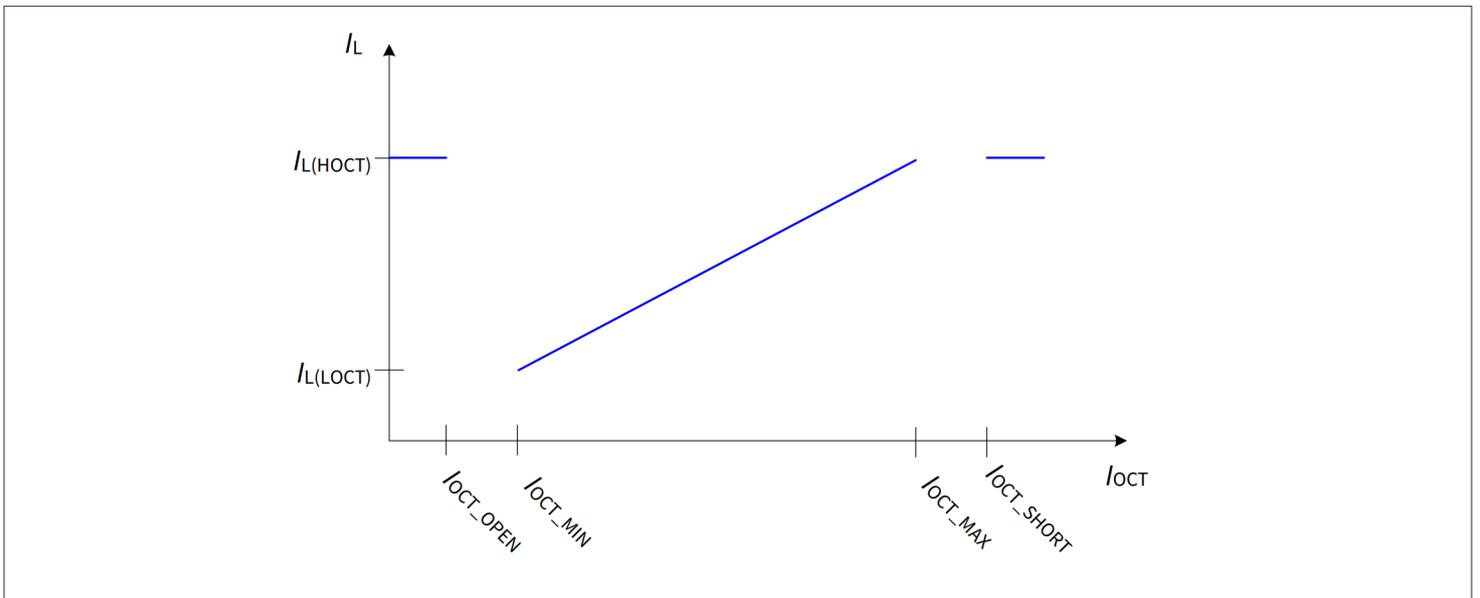


Figure 27 Overcurrent threshold adjustment by I_{OCT}

如果在引脚上检测到 OCT 调整电流 I_{OCT} 是开路或短路，则器件将变为最高可配置过流检测阈值 $I_{L(HOCT)}$ 。

过流阈值取决于功率 DMOS 两端的电压 V_{DS} 。

如果选择过流阈值调整电流 $I_{OCT} < 30 \mu A$ （典型值），则 $I_{L(OCT)}$ 在 V_{DS} 范围内不会降低（见[图 28](#)）。

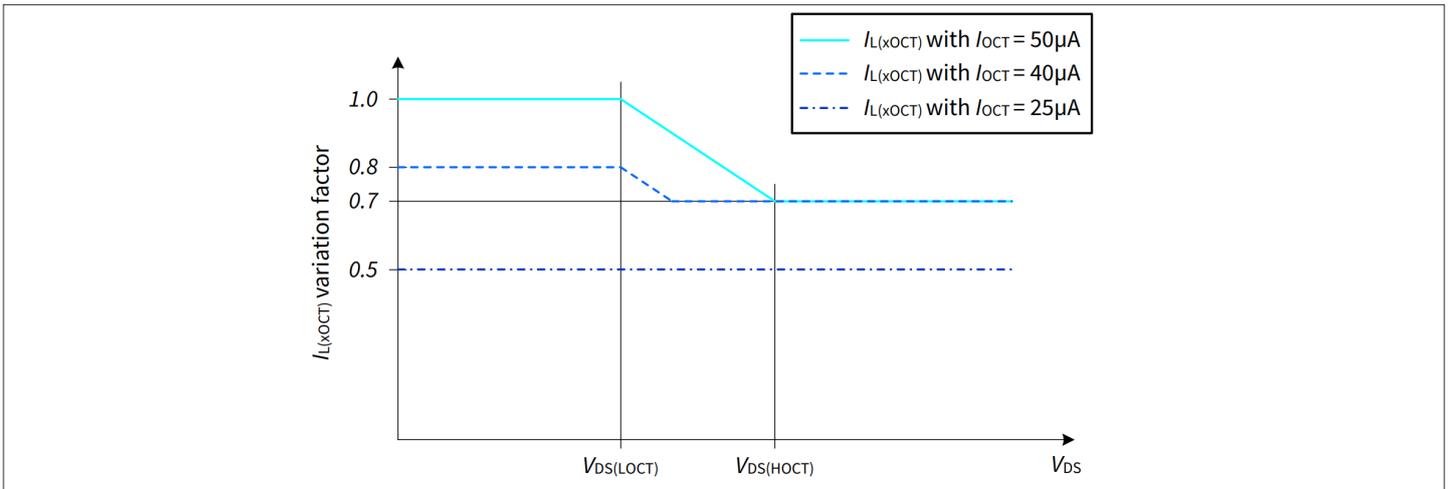


Figure 28 Adjustable overcurrent threshold variation with V_{DS}

为了允许在低环境温度下有更高的负载浪涌电流，过流阈值在低温时达到最大值，并随着 T_J 的增加而降低（见图29）。

过流检测阈值随温度升高而线性下降。

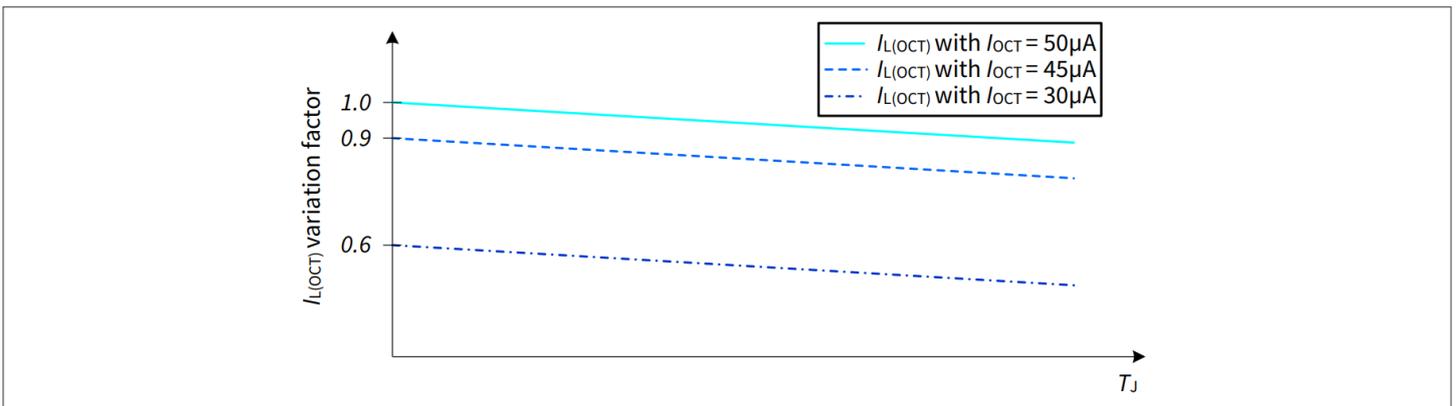


Figure 29 Adjustable overcurrent threshold variation with T_J

电源供电电压 V_S 可以短时间升至18 V以上，例如在抛负载或搭电启动条件下。当导通期间 $V_S \geq V_{S(JS)}$ 时，过流检测电流置位至 $I_{L(OCT_JS)}$ 。

如果选择过流阈值调节电流 $I_{OCT} < 30 \mu A$ （典型值），则 $I_{L(OCT)}$ 在 V_S 上的降低不会发生（见图30）。

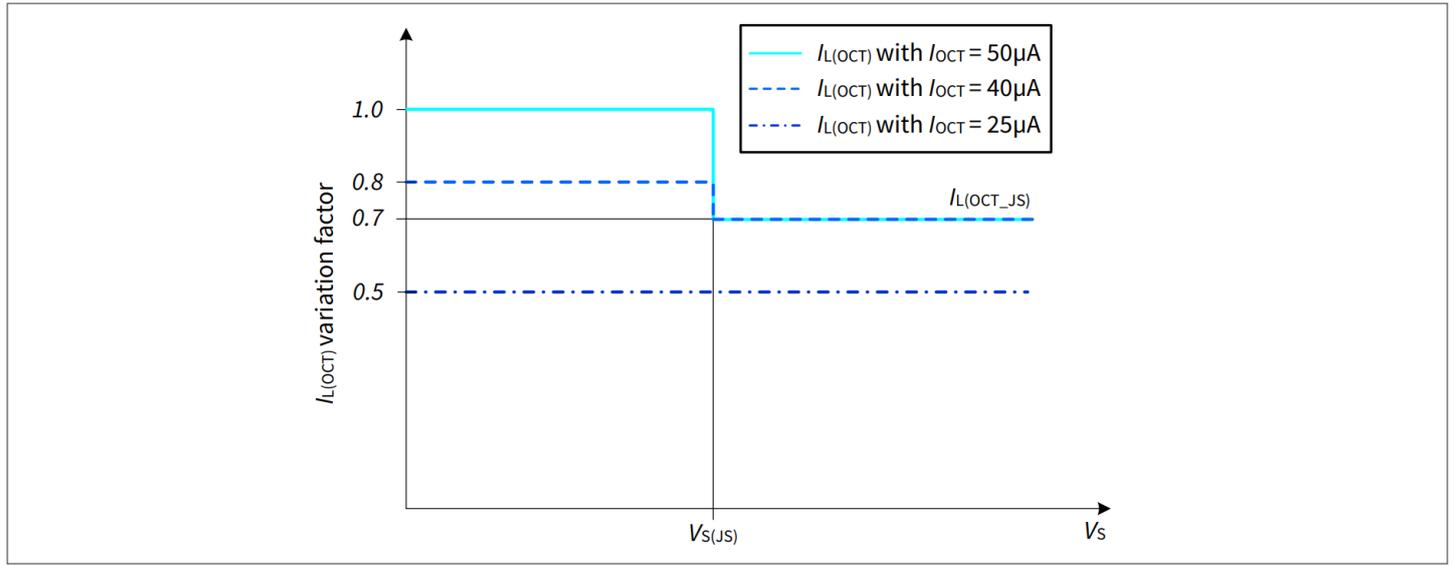


Figure 30 Adjustable overcurrent with V_s voltage

当 $I_L \geq I_{L(OCT)}$ 时，通道关闭。通道可根据[章节 8.3](#) 中描述的智能锁存策略重新激活。

8.3 器件保护及故障诊断

任何触发器件保护机制的故障事件（过温或过流）都会产生两个响应：

- 通道关闭并保持锁定状态（内部锁定置位为“1”）
- 如果通道的顺序诊断处于激活状态，则在 IN = “高” 的情况下提供电流 $I_{IS(FAULT)}$ （参见[章节 10.1.1](#)），当 IN = “低” 时，电流 $I_{IS(DEVOFF)}$ 在地址 #1 处提供（参见[章节 10.1.2](#) 了解更多详情）

如果所有保护机制都满足[表 11](#) 中描述的“重新激活”条件，通道可以再次开启，并通过 DEN 引脚或输入引脚应用复位。

此外，器件具有智能锁存器，可保护自身免受故障条件下不必要的重复重新激活。

Table 11 Protection "reactivation" condition

Fault condition	Switch OFF event	“Reactivation” condition
Overtemperature	$T_J \geq T_{J(ABS)}$ or $(T_J - T_{J(REF)}) \geq T_{J(DYN)}$	$T_J < T_{J(ABS)}$ and $(T_J - T_{J(REF)}) < T_{J(DYN)}$ (including hysteresis)
Overcurrent	$I_L \geq I_{L(OCT)}$	

8.3.1 器件保护触发后智能锁存复位策略

在正常条件下，当 IN 置位为“高”时，通道打开。如果器件保护被触发，输出级将关闭。它保持关闭状态，直到通道复位。解读通道有两种方法：

使用输入引脚：通过将输入引脚设置为“低”持续时间长于 $t_{DELAY(LR)}$ （“锁存复位延迟”时间），如果满足保护机制的“重新激活”条件，通道将被复位（见[表 11](#)）。如果在“锁存复位延迟”时间内输入置位为“高”，则通道保持关闭状态，并且复位 $t_{DELAY(LR)}$ 被复位。一旦输入引脚再次置位为“低”， $t_{DELAY(LR)}$ 就会重新启动。

当输入引脚为“低电平”时，通过向 DEN 引脚施加脉冲（上升沿，然后下降沿），可以“强制”内部计数器复位，而无需等待 $t_{DELAY(CR)}$ 。施加到 DEN 引脚的脉冲的持续时间大于 $t_{DEN(CR)}$ 以确保内部计数器复位。

器件保护触发后智能锁存复位策略如[图 31](#)、[图 32](#) 和 [图 33](#) 所示。

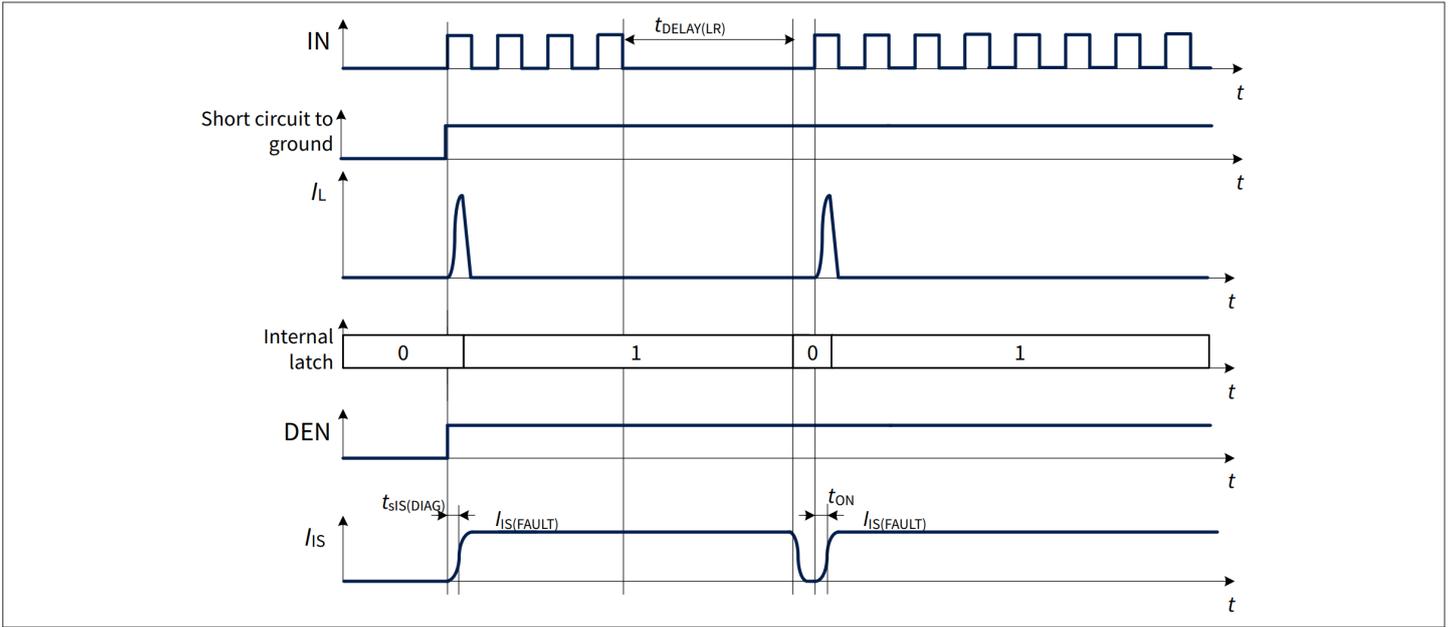


Figure 31 Intelligent latch timing diagram for IN reset in case of triggered device protection

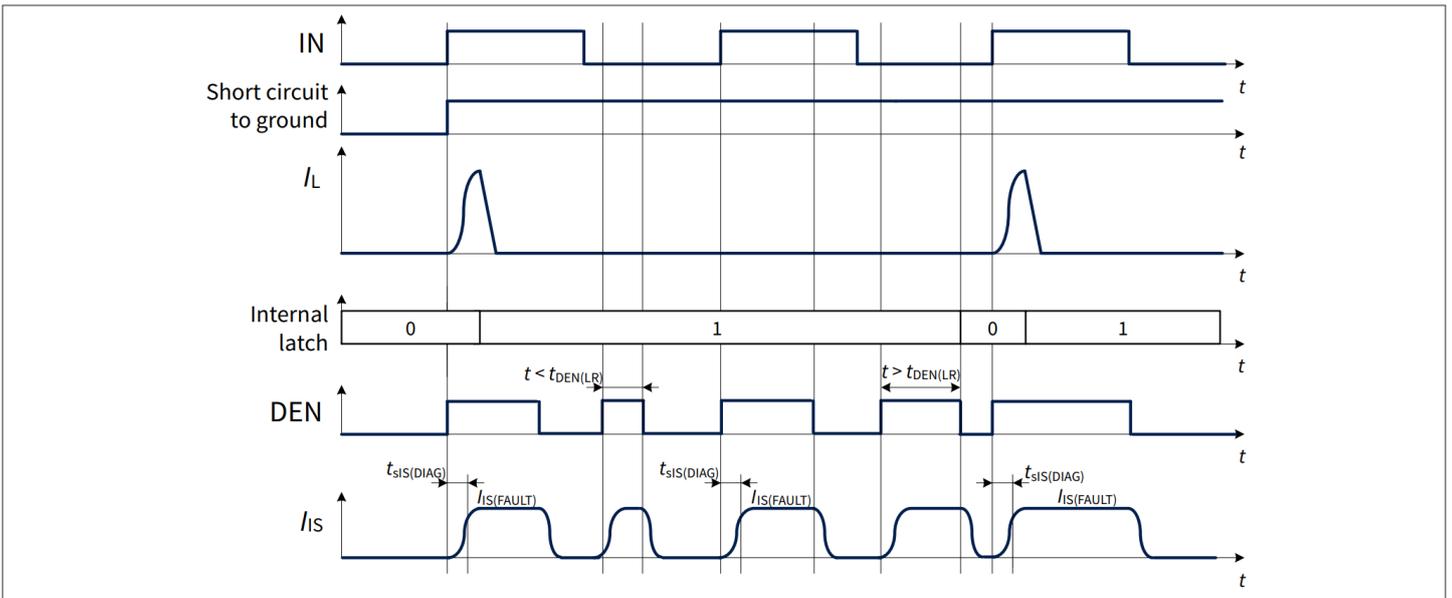


Figure 32 Intelligent latch timing diagram for DEN reset in case of triggered device protection

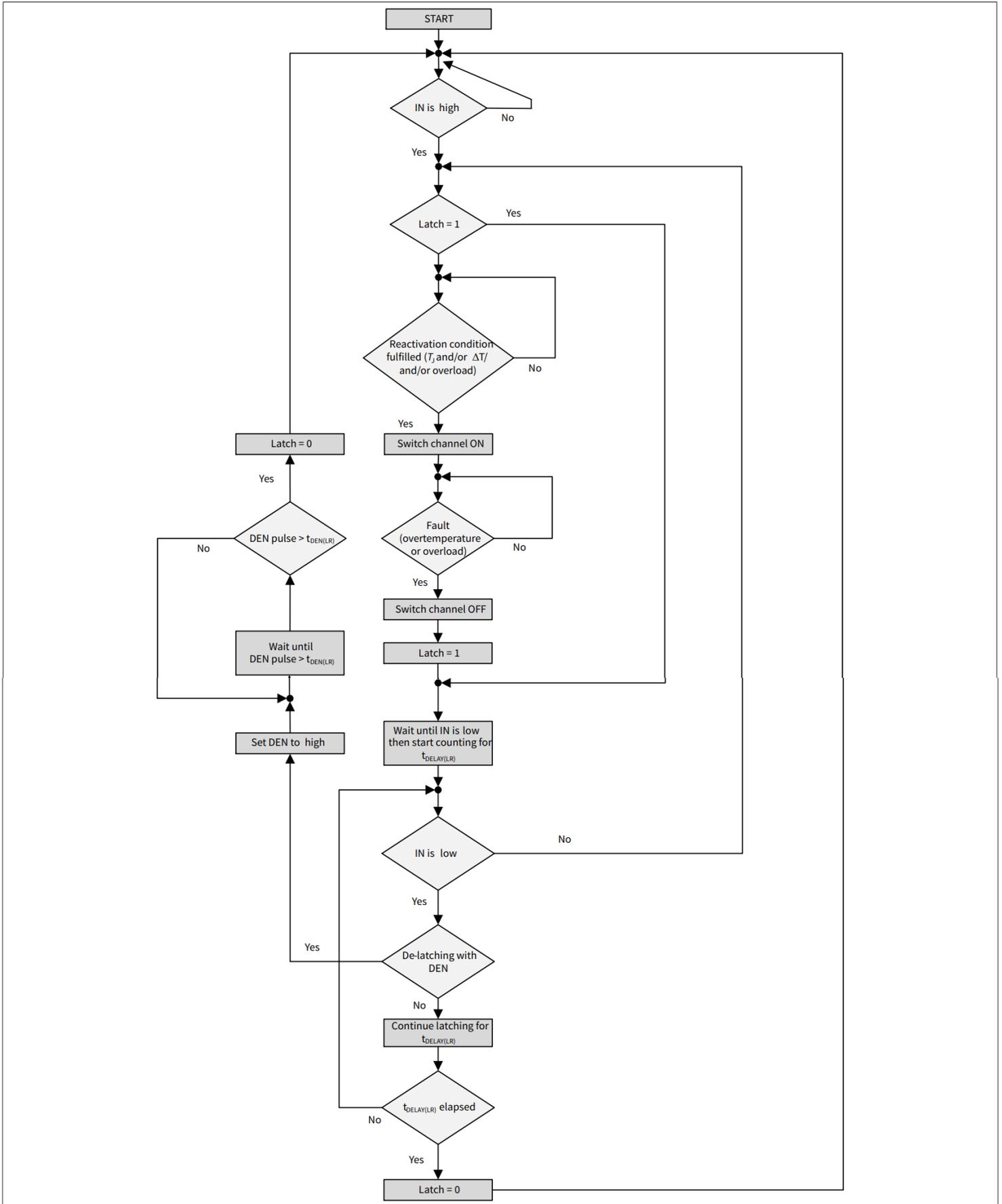


Figure 33 Intelligent latch flowchart in case of triggered device protection

8.4 其他保护

8.4.1 反接保护

在反向连接情况（也称为反向电池）中，由于反向ON特性，输出级被切换为ON（参见参数 $R_{DS(REV)}$ ），这限制了输出级中的功率耗散。逻辑域的每个静电防护二极管都会贡献总耗散功率。通过输出级的反向电流必须受到所连接负载的限制。通过数字输入引脚的电流还必须受到外部电阻的限制（请参阅表2中列出的绝对最大额定值）以及章节11中的应用信息）。图34显示了一个典型应用，包括具有反向ON的器件。在反主板条件期间，电流流入GND引脚（ $-I_{GND}$ ）是激活反向ON所必需的，因此模块GND引脚和器件接地GND引脚之间必须存在电阻路径。

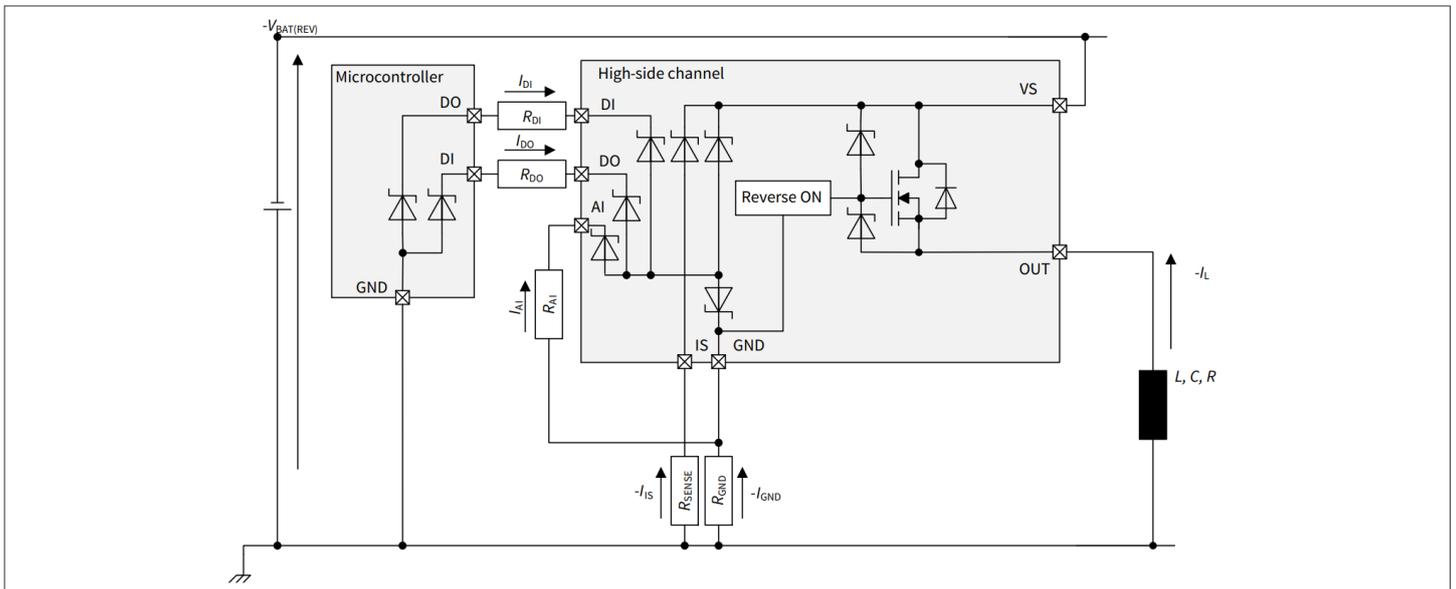


Figure 34 Reverse battery protection (application example)

8.4.2 过压保护

当电源电压介于 $V_{S(EXT,UP)}$ 和 $V_{BAT(LD)}$ 之间时，输出晶体管仍可运行并跟随输入引脚的指令。

除了输出钳位电感负载如章节7.2.2、设有钳位机制，对逻辑电路及输出通道进行过压保护，监测VS与GND引脚之间的电压（ $V_{S(CLAMP)}$ ）。

8.5 防止连接丢失

8.5.1 掉电和负载连接断开

只要负载和线束是纯电阻的，掉电或负载连接断开是不会影响器件的鲁棒性。如果驱动感性负载，掉电或者负载连接断开时，感抗中的能量需要处理。

PROFET™ Wire Guard 器件可处理高达 $10 \mu\text{H}$ 的线束电感， $I_{L(NOM)_85}$ 。

如果应用中负载电流和/或感抗值超过上述定义，则外部的抑制二极管（比如第11章中所示的二极管 D_{Z2} ）需要增加，并且需要注意定义合适的负载电流路径。

8.5.2 地线丢失

如果器件接地丢失，建议在任何数字输入引脚和MCU之间连接一个电阻，以确保通道关断（如[章节11](#)中所述）。

注释： 如果数字输入引脚被拉至地（通过电阻或激活），当器件地丢失时，有一个寄生回地路径，使得芯片仍可以操作。

8.6 器件保护电气特性

Table 12 Electrical characteristics device protection

$V_S = 5\text{ V}$ 至 20 V , $T_J = -40^\circ\text{C}$ 至 $+150^\circ\text{C}$

除非另有规定，否则典型值为: $V_S = 13.5\text{ V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$

典型的阻性负载连接到输出端进行测试(除非另有说明): $R_L = 2.1\ \Omega$

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition	P-Number
		Min.	Typ.	Max.			
Thermal							
Thermal shutdown temperature (absolute)	$T_{J(ABS)}$	150	175	200	$^\circ\text{C}$	^{1) 2)} See Figure 25	PRQ-246
Thermal shutdown hysteresis (absolute)	$T_{HYS(ABS)}$	–	30	–	K	³⁾	PRQ-247
Thermal shutdown temperature (dynamic)	$T_{J(DYN)}$	–	80	–	K	³⁾ See Figure 26	PRQ-248
Voltages							
Power supply clamping voltage at $T_J = -40^\circ\text{C}$	$V_{S(CLAMP)_{-40}}$	33	36.5	42	V	$I_{VS} = 10\text{ mA}$ $T_J = -40^\circ\text{C}$ See Figure 20	PRQ-251
Power supply clamping voltage at $T_J \geq 25^\circ\text{C}$	$V_{S(CLAMP)_{25}}$	35	38	44	V	²⁾ $I_{VS} = 10\text{ mA}$ $T_J \geq 25^\circ\text{C}$ See Figure 20	PRQ-252
Low level of overcurrent threshold depending on drain source voltage	$V_{DS(LOCT)}$	13.5	15.0	16.5	V	³⁾	PRQ-1248
High level of overcurrent threshold depending on drain source voltage	$V_{DS(HOCT)}$	18	20	22	V	³⁾	PRQ-1249

(表格续下页.....)

Table 12 (continued) Electrical characteristics device protection

$V_S = 5\text{ V}$ 至 20 V , $T_J = -40^\circ\text{C}$ 至 $+150^\circ\text{C}$

除非另有规定, 否则典型值为: $V_S = 13.5\text{ V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$

典型的阻性负载连接到输出端进行测试(除非另有说明): $R_L = 2.1\ \Omega$

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition	P-Number
		Min.	Typ.	Max.			
Power supply voltage threshold for overcurrent threshold reduction in case of short circuit	$V_{S(JS)}$	20.5	22.5	24.5	V	³⁾ Setup acc. to AEC- Q100-012	PRQ-253

Timings

Latch reset delay time after fault condition	$t_{\text{DELAY(LR)}}$	40	70	100	ms	¹⁾ See Figure 31	PRQ-254
Minimum DEN pulse duration for latch reset	$t_{\text{DEN(LR)}}$	50	100	150	μs	³⁾ See Figure 32	PRQ-255

- 1) 仅功能测试。
- 2) 仅在 $T_J = 150^\circ\text{C}$ 时测试。
- 3) 未经过生产测试, 由设计指定。

Table 13 Electrical characteristics protection - power output stages

$V_S = 5\text{ V}$ 至 20 V , $T_J = -40^\circ\text{C}$ 至 $+150^\circ\text{C}$

除非另有规定, 否则典型值为: $V_S = 13.5\text{ V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$

典型的阻性负载连接到输出端进行测试(除非另有说明): $R_L = 2.1\ \Omega$

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition	P-Number
		Min.	Typ.	Max.			
Highest configurable overcurrent detection threshold at $T_J = -40^\circ\text{C}$	$I_{L(\text{HOCT})_{-40}}$	184.0	216.5	249.0	A	¹⁾ $T_J = -40^\circ\text{C}$ $dI/dt = 0.4\text{ A}/\mu\text{s}$ $I_{\text{OCT}} = 50\ \mu\text{A}$ $t \geq t_{\text{SIS(DIAG)}}$	PRQ-1093
Highest configurable overcurrent detection threshold at $T_J = 25^\circ\text{C}$	$I_{L(\text{HOCT})_{25}}$	169.0	199.5	230.0	A	^{1) 2)} $T_J = 25^\circ\text{C}$ $dI/dt = 0.4\text{ A}/\mu\text{s}$ $I_{\text{OCT}} = 50\ \mu\text{A}$ $t \geq t_{\text{SIS(DIAG)}}$	PRQ-1094

(表格续下页.....)

Table 13 (continued) Electrical characteristics protection - power output stages

$V_S = 5\text{ V}$ 至 20 V , $T_J = -40^\circ\text{C}$ 至 $+150^\circ\text{C}$

除非另有规定, 否则典型值为: $V_S = 13.5\text{ V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$

典型的阻性负载连接到输出端进行测试(除非另有说明): $R_L = 2.1\ \Omega$

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition	P-Number
		Min.	Typ.	Max.			
Highest configurable overcurrent detection threshold at $T_J = 150^\circ\text{C}$	$I_{L(\text{HOCT})_{150}}$	142.0	166.5	191.0	A	1) 2) $T_J = 150^\circ\text{C}$ $dI/dt = 0.4\text{ A}/\mu\text{s}$ $I_{\text{OCT}} = 50\ \mu\text{A}$ $t \geq t_{\text{SIS(DIAG)}}$	PRQ-1095
Highest configurable overcurrent detection threshold during switch-ON	$I_{L(\text{HOCT}_{\text{SW}})}$	142.0	-	-	A	1) 2) $I_{\text{OCT}} = 50\ \mu\text{A}$ $t < t_{\text{SIS(DIAG)}}$	PRQ-1534
Overcurrent detection at high VDS	$I_{L(\text{OCT}_{\text{VDS}})}$	-	108.5	-	A	1) 2) $I_{\text{OCT}} = 50\ \mu\text{A}$ $V_{\text{DS}} > V_{\text{DS}(\text{HOCT})}$ See Figure 28	PRQ-1096
Overcurrent detection - jump start condition	$I_{L(\text{OCT}_{\text{JS}})}$	-	108.5	-	A	1) 2) $V_S > V_{\text{S(JS)}}$ $I_{\text{OCT}} = 50\ \mu\text{A}$ See Figure 30	PRQ-1097
Lowest configurable overcurrent detection threshold at $T_J = -40^\circ\text{C}$	$I_{L(\text{LOCT})_{-40}}$	26.0	40.0	54.0	A	1) $T_J = -40^\circ\text{C}$ $dI/dt = 0.2\text{ A}/\mu\text{s}$ $I_{\text{OCT}} = 7.5\ \mu\text{A}$ $t \geq t_{\text{SIS(DIAG)}}$	PRQ-1099
Lowest configurable overcurrent detection threshold at $T_J = 150^\circ\text{C}$	$I_{L(\text{LOCT})_{150}}$	20.0	31.0	42.0	A	1) 2) $T_J = 150^\circ\text{C}$ $dI/dt = 0.2\text{ A}/\mu\text{s}$ $I_{\text{OCT}} = 7.5\ \mu\text{A}$ $t \geq t_{\text{SIS(DIAG)}}$	PRQ-1511
Lowest configurable overcurrent detection threshold during switch-ON	$I_{L(\text{LOCT}_{\text{SW}})}$	12.0	-	-	A	1) 2) $I_{\text{OCT}} = 7.5\ \mu\text{A}$ $t < t_{\text{SIS(DIAG)}}$	PRQ-1541
Overcurrent threshold ratio at $T_J = -40^\circ\text{C}$	k_{OCT}	3.718	4.153	4.588	-	2) $T_J = -40^\circ\text{C}$	PRQ-1318
Overcurrent threshold ratio during switch-ON	$k_{\text{OCT}_{\text{SW}}}$	3.059	-	-	-	2)	PRQ-1516

(表格续下页.....)

Table 13 (continued) Electrical characteristics protection - power output stages

$V_S = 5\text{ V}$ 至 20 V , $T_J = -40^\circ\text{C}$ 至 $+150^\circ\text{C}$

除非另有规定, 否则典型值为: $V_S = 13.5\text{ V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$

典型的阻性负载连接到输出端进行测试(除非另有说明): $R_L = 2.1\ \Omega$

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition	P-Number
		Min.	Typ.	Max.			
OCT current threshold for short detection	$I_{\text{OCT_SHORT}}$	83.3	-	-	μA	-	PRQ-885
OCT adjustment current	I_{OCT}	6.5	-	55.6	μA	-	PRQ-599
OCT current threshold for open detection	$I_{\text{OCT_OPEN}}$	-	-	3.8	μA	-	PRQ-886
Temperature coefficient for maximum overcurrent threshold calculation	$k_{TJ_IL(\text{OCT}),\text{MAX}}$	-	1.226	-	-	2)	PRQ-1499
Temperature coefficient for typical overcurrent threshold calculation	$k_{TJ_IL(\text{OCT}),\text{TYP}}$	-	1.216	-	-	2)	PRQ-1588
Temperature coefficient for minimum overcurrent threshold calculation	$k_{TJ_IL(\text{OCT}),\text{MIN}}$	-	1.201	-	-	2)	PRQ-1594

1) 仅功能测试。

2) 未经过生产测试, 由设计指定。

9 系统保护

9.1 I2t 保护

集成的 I2t 保护支持包括线束和 PCB 走线在内的系统保护。

I2t 保护功能在 I2t 模式和带诊断功能的 I2t 模式下处于激活状态，而 I2t 状态计算 ($I_L = 0\text{ A}$) 在非激活模式、带诊断功能的非激活模式、CLS 模式和带诊断功能的 CLS 模式下同样存在。

I2t 保护特性根据负载电流 I_L 、所有 I2t 保护曲线的时间常数 τ_{I2t} 和 I2t 保护曲线的专用 IDC 的 $I_{L(I2t_x)}$ 计算出 I2t 状态 S_{I2t} 。

一旦 I2t 状态 S_{I2t} 计算达到 100%，通道就会关闭（见图 35）。

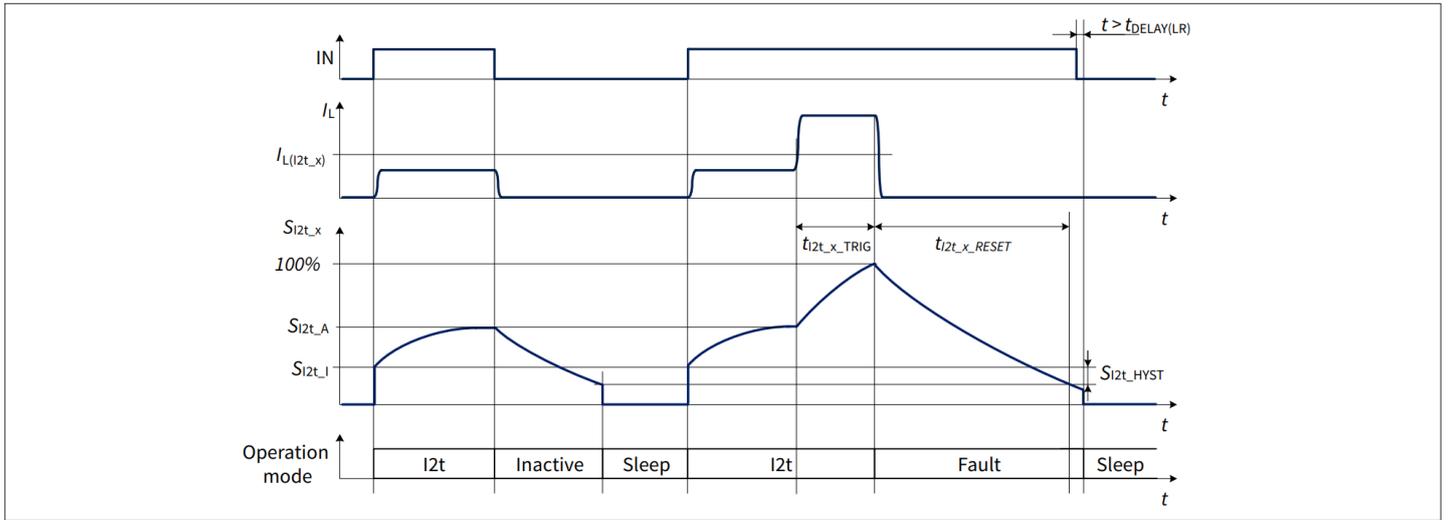


Figure 35 I2t protection timing

当功率级由于 I2t 保护事件而关闭时，通道将被锁存，并且 I2t 状态将进一步计算，其中 $I_L = 0\text{ A}$ 。

I2t 保护曲线的触发时间取决于实际 I2t 状态 S_{I2t_A} ，并且可以通过以下方式计算恒定负载电流：

$$t_{I2t_x_TRIG} = \begin{cases} \infty & \text{for } I_L \leq I_{L(I2t_x)} \\ \tau_{I2t} \cdot \ln \left(\frac{I_L^2 - I_{L(I2t_x)}^2 \cdot S_{I2t_A}}{I_L^2 - I_{L(I2t_x)}^2} \right) & \text{for constant } I_L > I_{L(I2t_x)} \end{cases} \quad (5)$$

实际 I2t 状态的稳态值 S_{I2t_A} 可以通过实际稳态电流 I_{L_A} 计算得出：

$$S_{I2t_A} = \frac{I_{L_A}^2}{I_{L(I2t_x)}^2} \quad (6)$$

I2t 状态计算的初始值取决于模式转换和实际 I2t 状态 S_{I2t_A} 。如果从低于初始状态 S_{I2t_I} 减去 I2t 状态迟滞的值重新开始 I2t 状态计算

S_{I2t_HYST} （例如首次进入 I2t 模式）时，I2t 计算会预载入初始状态值 S_{I2t_I} 。若从大于初始状态值 S_{I2t_I} 减去 I2t 状态值 S_{I2t_HYST} 的值恢复 I2t 状态计算，则从实际 I2t 状态值 S_{I2t_A} 恢复 I2t 状态计算。

初始状态值 S_{I2t_I} 已预加载，用于从以下转换条件跳转：slp_i2t、slp_iwd、idle_i2t、idle_ina、awd_i2twd 和 awd_iwd（参见图 16）。在所有其他转换条件下，I2t 状态计算均从实际的 S_{I2t_A} 值开始。

如果实际 I2t 状态 S_{I2t_A} 由初始 I2t 状态 S_{I2t_I} 预加载，则必须在方程式 3 中将其替换（专用于 I2t 保护曲线的触发时间）由初始 I2t 状态 S_{I2t_I} 计算得出：

$$S_{I2t_I} = \frac{I_{L(I2t_I)}^2}{I_{L(I2t_x)}^2} \quad (7)$$

要在 I2t 保护特性触发后进入睡眠模式，I2t 状态计算值必须低于初始状态 S_{I2t_I} 减去 I2t 状态迟滞 S_{I2t_HYST} （参见图 35）。此转换时间 $t_{I2t_x_RESET}$ 由以下公式给出（假设 $I_L = 0 A$ ）：

$$t_{I2t_x_RESET} = \tau_{I2t} \cdot \ln \left(\frac{I_{L(I2t_x)}^2}{(I_{L(I2t_I)} - I_{L(I2t_HYST)})^2} \right) \quad (8)$$

由于环境温度和 PCB 布局会影响器件的热行为，过温保护可能在达到 $t_{I2t_x_TRIG}$ 之前触发（参见图 36）。因此，给定电流的最大时间可能会受到元器件热设计的限制。更多信息，请参阅表 5。

该器件具有六种不同的 I2t 保护曲线 $I_{L(I2t_x)}$ （见图 36）。I2t 保护曲线 $I_{L(I2t_x)}$ 可以通过放置相应的选择电阻 R_{I2t_x} 来选择。该电阻必须连接在器件的 I2t 引脚和接地引脚之间。参见表 14 详细信息。如果选择电阻开路或短路，器件将选择 I2t 保护曲线 1。

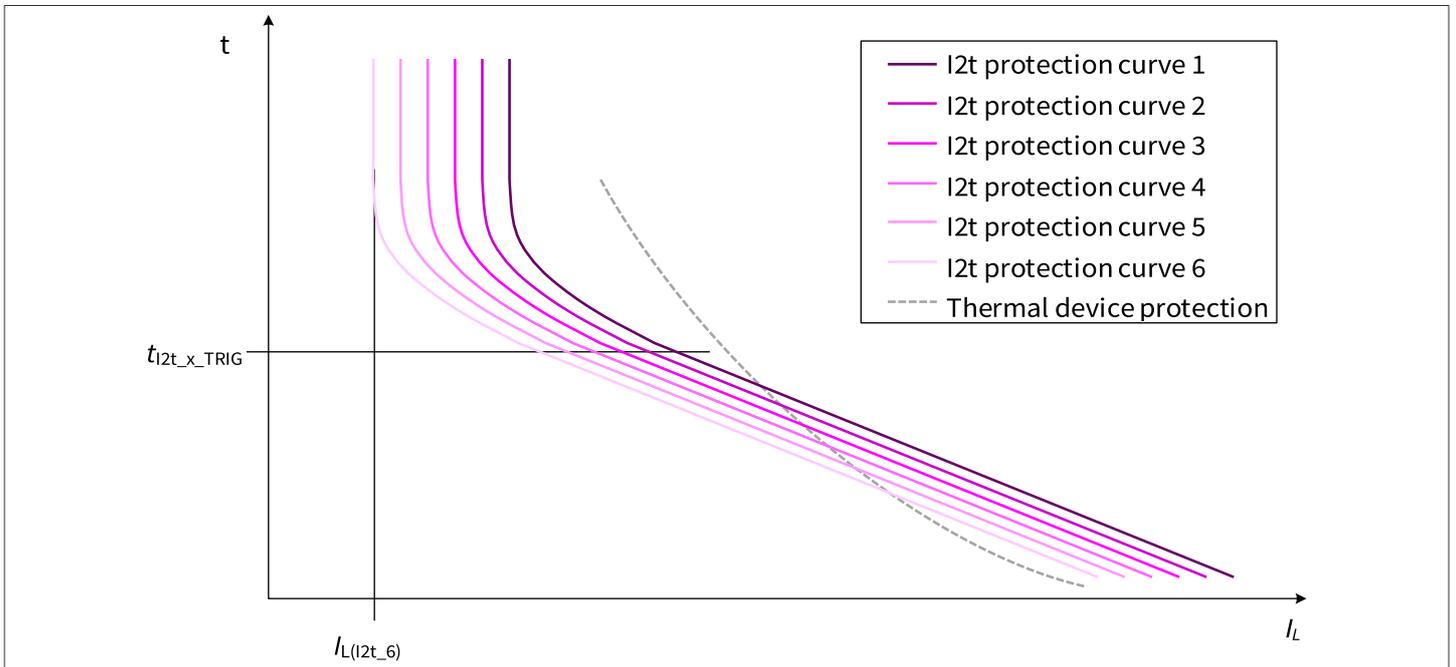


Figure 36 Energy graph of I2t protection curves

注释： 这是已实现的系统保护功能的简化概述。有关详细的触发行为，请参阅表 14。

I2t 编程电阻设置的同步时间 $t_{SYNC(RI2t)}$ 是器件内部更新 I2t 保护曲线设置的时间。

在反向电流操作期间，I2t 计算假设没有负载电流流动。

在反向电池条件下，I2t 计算被复位并禁用。

9.1.1 I2t保护和空闲模式

在空闲模式以及带诊断的激活模式下，I2t 保护计算被禁用。

要从 I2t 模式更改为空闲模式，必须满足空闲模式项条件（参见第 6.1.7 章）。当 $I_L = 0$ A 时，从 I2t 模式到空闲模式的最短转换时间可以通过以下公式计算：

$$t_{T(I2t_IDLE)} = \tau_{I2t} \cdot \ln \left(\frac{I_{L(I2t_I)}^2}{(I_{L(I2t_I)} - I_{L(I2t_HYST)})^2} \right) \quad (9)$$

当器件从空闲模式变为 I2t 模式、I2t 带诊断模式（过流带诊断模式）和非激活模式时，I2t 状态计算的初始值再次预加载 I2t 保护值 $I_{L(I2t_I)}$ 的初始电流（见图 37）。

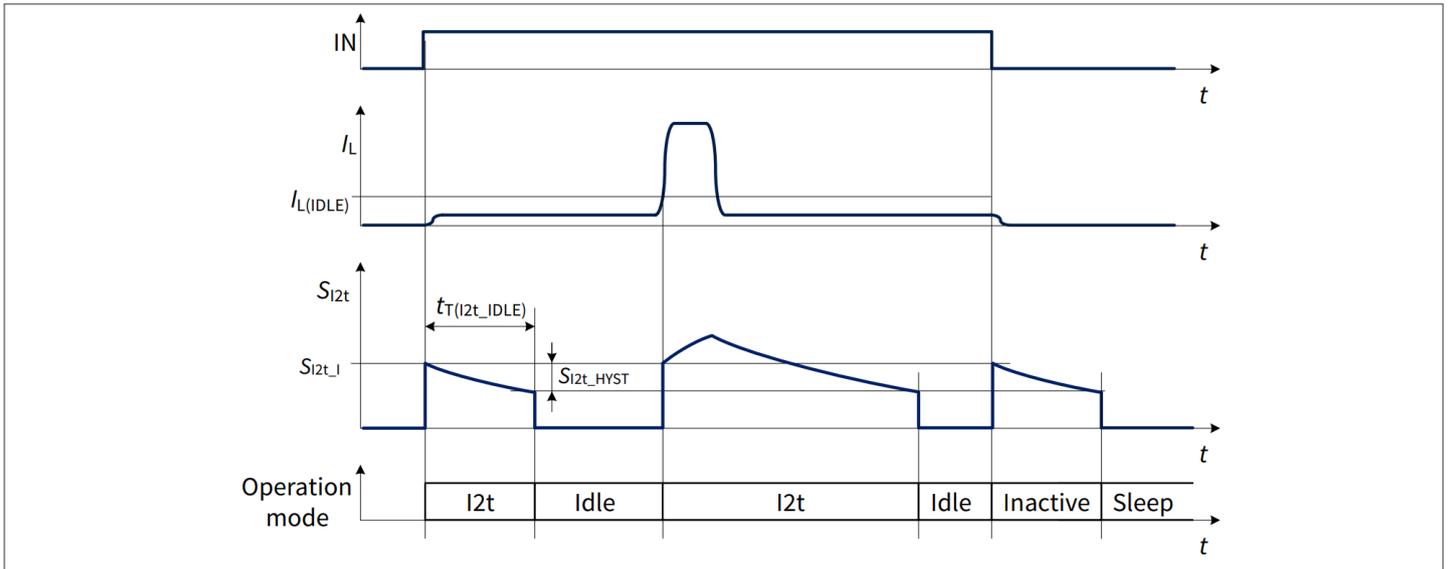


Figure 37 Idle mode timing

9.1.2 I2t保护触发后智能锁存复位策略

任何触发 I2t 保护机制的故障事件都会产生以下响应：

- 通道关闭并保持锁定状态（内部锁定置位为“1”）
- 继续计算 I2t 保护曲线
- 如果通道诊断处于激活状态，则根据顺序诊断地址和 IN 状态，在 IS 引脚上提供不同的 I_{IS} 电流（有关更多详细信息，请参见图 44）
 - 地址 #1 & IN = “高” - 提供 $I_{IS(FAULT)}$ 电流，表明通道已关闭
 - 地址 #1 & IN = “低” - 提供 $I_{IS(I2tOFF)}$ 电流，表明由于触发 I2t 保护，通道已关闭
 - 地址 #2 - #5 & IN = “低” - I_{IS} 电流按图 44 所示提供

智能锁存器可以在 I2t 状态计算的任何时间通过输入引脚或 DEN 引脚复位。复位后，通道可以再次打开，并继续进行 I2t 状态计算。

使用输入引脚：通过将输入引脚设置为“低”持续时间长于 $t_{DELAY(LR)}$ （“锁存器复位延迟”时间），通道将被复位。如果在“latch 复位延迟”时间内输入置位为“高”，通道将保持关闭状态，并且设置 $t_{DELAY(LR)}$ 会被复位。一旦输入引脚再次置位为“低”，延迟（LR）就会重新启动（参见图 38）。

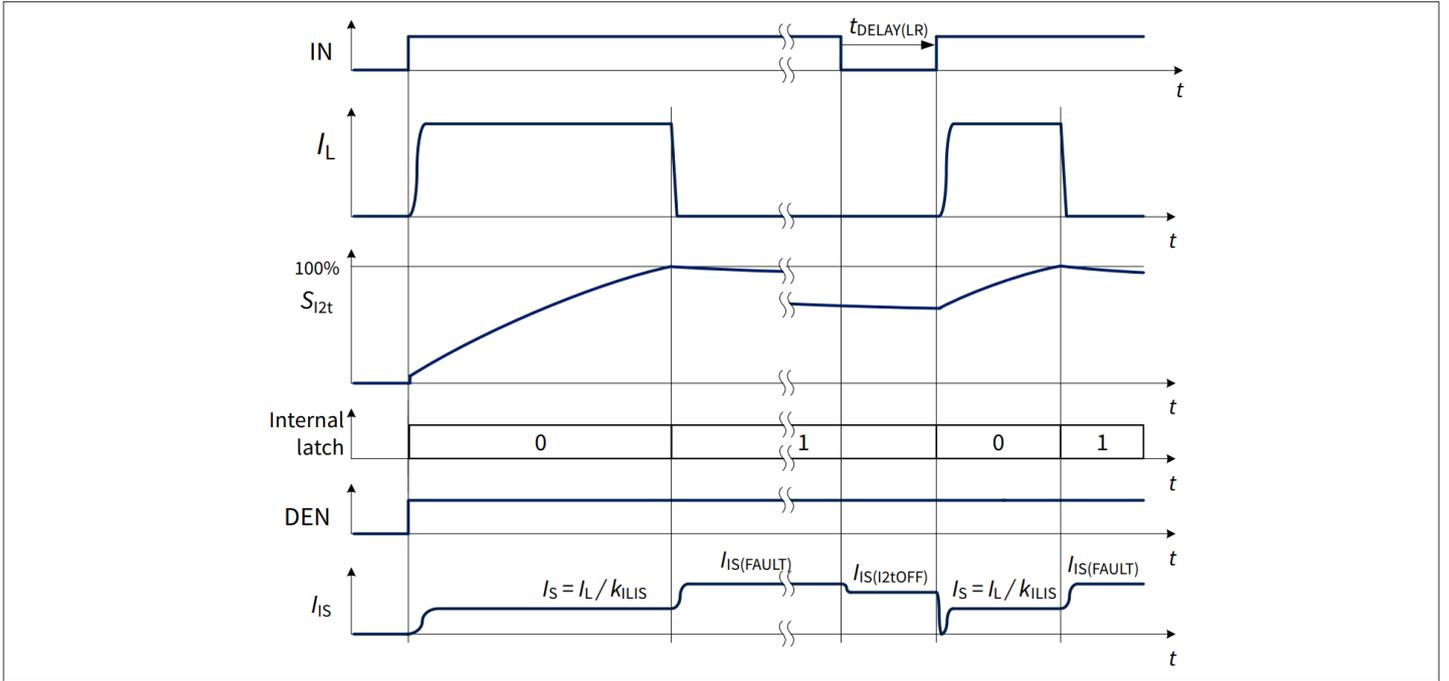


Figure 38 Intelligent latch timing diagram for IN reset in case of triggered I2t protection

使用 DEN 引脚：当输入引脚为“低”时，通过向 DEN 引脚施加脉冲（上升沿，然后下降沿），可以“强制”内部锁存器复位，而无需等待 $t_{DELAY(LR)}$ 。施加到 DEN 引脚的脉冲持续时间必须长于 $t_{DEN(LR)}$ ，以确保内部锁存器复位（参见图 39）。

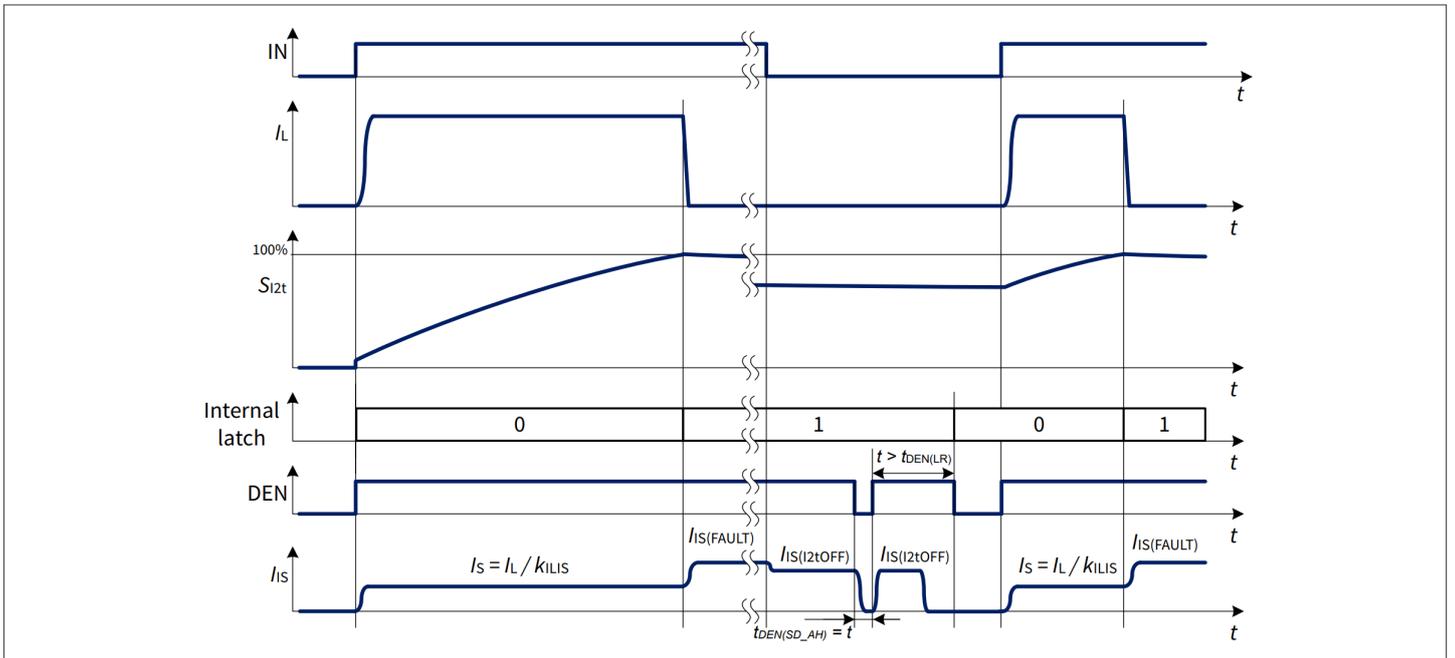


Figure 39 Intelligent latch timing diagram for DEN reset in case of triggered I2t protection

器件保护触发时的智能锁存策略如图 40 所示。

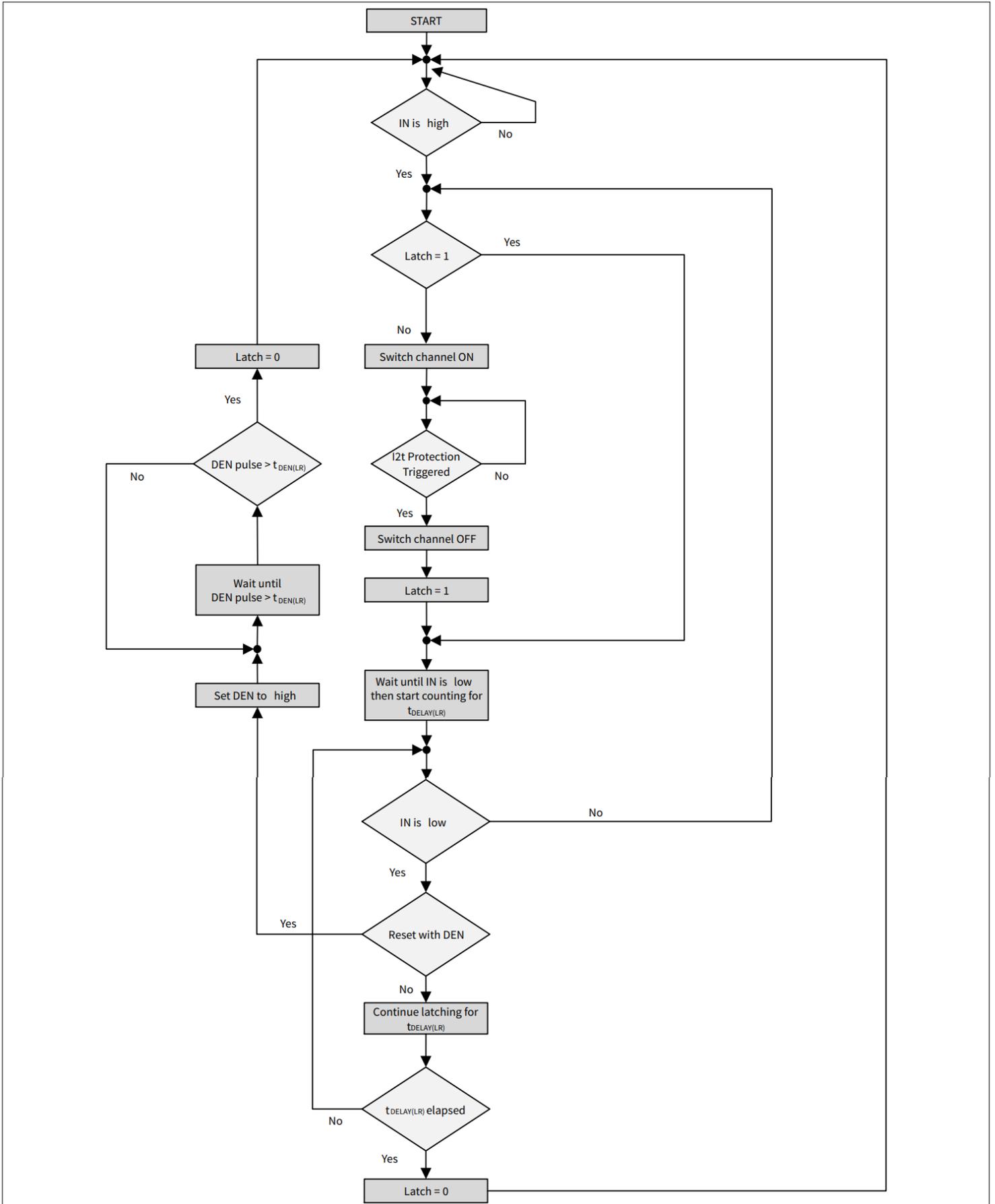


Figure 40

Intelligent latch flowchart in case of triggered I2t protection

9.2 保护电气特性

Table 14 Electrical characteristics I2t protection

$V_S = 5\text{ V}$ 至 20 V , $T_J = -40^\circ\text{C}$ 至 $+150^\circ\text{C}$

除非另有规定, 否则典型值为: $V_S = 13.5\text{ V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition	P-Number
		Min.	Typ.	Max.			
I2t resistor threshold for short detection	R_{I2t_SHORT}	–	–	6	k Ω	1)	PRQ-890
Selection resistor for I2t protection curve 1	R_{I2t_1}	9.31	9.76	10.20	k Ω	–	PRQ-573
Selection resistor for I2t protection curve 2	R_{I2t_2}	14.06	14.70	15.30	k Ω	–	PRQ-574
Selection resistor for I2t protection curve 3	R_{I2t_3}	20.74	21.50	22.46	k Ω	–	PRQ-575
Selection resistor for I2t protection curve 4	R_{I2t_4}	30.91	32.40	33.66	k Ω	–	PRQ-576
Selection resistor for I2t protection curve 5	R_{I2t_5}	44.39	46.40	48.09	k Ω	–	PRQ-577
Selection resistor for I2t protection curve 6	R_{I2t_6}	65.38	68.10	70.82	k Ω	–	PRQ-578
I2t resistor threshold for open detection	R_{I2t_OPEN}	130	–	–	k Ω	1)	PRQ-889
Synchronization time of selection resistor for I2t protection curve setting	$t_{SYNC(RI2t)}$	12.8	19.2	25.6	μs	1)	PRQ-944
Time constant of all I2t protection curves	τ_{I2t}	17.5	25.0	32.5	s	1)	PRQ-1100
IDC of I2t protection curve 1	$I_{L(I2t_1)}$	26.6	29.5	32.5	A	1) 2)	PRQ-1101
IDC of I2t protection curve 2	$I_{L(I2t_2)}$	23.9	26.6	29.2	A	1) 2)	PRQ-1102
IDC of I2t protection curve 3	$I_{L(I2t_3)}$	21.5	23.9	26.3	A	1) 2)	PRQ-1103
IDC of I2t protection curve 4	$I_{L(I2t_4)}$	19.4	21.5	23.7	A	1) 2)	PRQ-1104
IDC of I2t protection curve 5	$I_{L(I2t_5)}$	17.4	19.4	21.3	A	1) 2)	PRQ-1105
IDC of I2t protection curve 6	$I_{L(I2t_6)}$	15.7	17.4	19.2	A	1) 2)	PRQ-1106

(表格续下页.....)

Table 14 (continued) Electrical characteristics I2t protection

$V_S = 5\text{ V}$ 至 20 V , $T_J = -40^\circ\text{C}$ 至 $+150^\circ\text{C}$

除非另有规定, 否则典型值为: $V_S = 13.5\text{ V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition	P-Number
		Min.	Typ.	Max.			
IDC of I2t Hysteresis Curve	$I_{L(I2t_HYST)}$	0.24	0.3	0.36	A	1) 2)	PRQ-1313
Initial current for I2t protection	$I_{L(I2t_I)}$	5.9	6.8	7.7	A	1) 2)	PRQ-1107

Transition times

Transition time I2t to idle	$t_{T(I2t_IDLE)}$	1.7	2.26	2.8	s	1) $I_L < 10\text{ mA}$	PRQ-1079
-----------------------------	--------------------	-----	------	-----	---	----------------------------	----------

- 1) 不经过生产测试 - 由设计指定。
 2) I2t 直流触发电平指定时间超过 200 秒。

10 诊断

10 诊断

出于诊断目的，器件在 IS 引脚上提供检测电流信号 (I_{IS})。如果禁用诊断 (DEN 引脚置位为“低”)，IS 引脚将变为高阻态。

如果使能电流采样诊断功能，则需要在 IS 引脚和模块接地之间连接检测电阻 R_{SENSE} 。

R_{SENSE} 电阻值必须高于 $820\ \Omega$ (或如果在总电源上有反接保护，则电阻值必须高于 $400\ \Omega$)，来限制电流检测电路中的功率耗散。

R_{SENSE} 典型值为 $1.2\text{k}\Omega$ 。

由于 IS 引脚和 V_S 供电之间芯片存在内部连接，如果其他芯片由不同的电源供电，则不建议将 IS 引脚连接到其他芯片的检测电流输出。

详情请参见图 41。

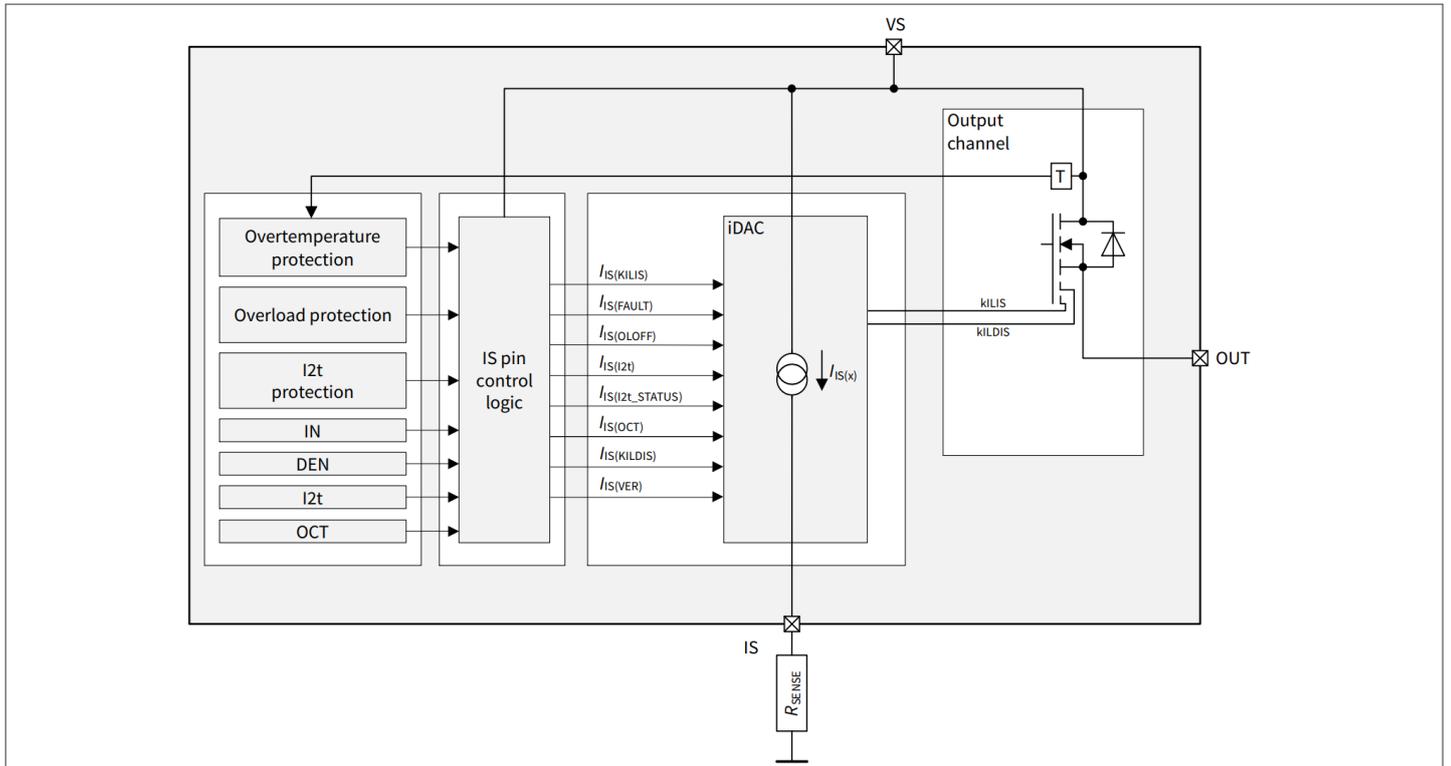


Figure 41 Diagnosis block diagram

表 15 为器件工作期间 IS 引脚的状态提供基准。

Table 15 SENSE signal, function of application condition

Application condition	Input level	DEN level	V_{OUT}	Diagnostic input
Normal operation and short circuit to GND	"low"	"high"	~GND	#1: Z
				$I_{IS(DEV OFF)}$, $I_{IS(I2t OFF)}$ if latch $\neq 0$
				#2: $I_{IS(I2t)}$
				#3: $I_{IS(STATUS_{I2t})}$
				#4: $I_{IS(OCT)}$
				#5: $I_{IS(VER)}$
Overtemperature			Z	#1: $I_{IS(DEV OFF)}$

(表格续下页.....)

Table 15 (continued) SENSE signal, function of application condition

Application condition	Input level	DEN level	V_{OUT}	Diagnostic input
				#2: $I_{IS(I2t)}$ #3: $I_{IS(STATUS_I2t)}$ #4: $I_{IS(OCT)}$ #5: $I_{IS(VER)}$
Short circuit to V_S			V_S	#1: $I_{IS(OLOFF)}$ $I_{IS(DEVOFF)}, I_{IS(I2tOFF)}$ if latch $\neq 0$ #2: $I_{IS(I2t)}$ #3: $I_{IS(STATUS_I2t)}$ #4: $I_{IS(OCT)}$ #5: $I_{IS(VER)}$
Open load			$< V_S - V_{DS(OLOFF)}$ ¹⁾	#1: Z
			$> V_S - V_{DS(OLOFF)}$ ¹⁾	#1: $I_{IS(OLOFF)}$ (in both cases $I_{IS(DEVOFF)}$) $I_{IS(I2tOFF)}$ if latch $\neq 0$ #2: $I_{IS(I2t)}$ #3: $I_{IS(STATUS_I2t)}$ #4: $I_{IS(OCT)}$ #5: $I_{IS(VER)}$
Inverse current			$\sim V_{INV} = V_{OUT} > V_S$	#1: $I_{IS(OLOFF)}$ $I_{IS(DEVOFF)}, I_{IS(I2tOFF)}$ if latch $\neq 0$ #2: $I_{IS(I2t)}$ #3: $I_{IS(STATUS_I2t)}$ #4: $I_{IS(OCT)}$ #5: $I_{IS(VER)}$
Normal operation	"high"		$\sim V_S$	#1: $I_{IS} = I_L / k_{ILIS}$ #2: $I_{IS(I2t)}$ #3: $I_{IS(STATUS_I2t)}$ #4: $I_{IS(OCT)}$ #5: $I_{IS} = I_L / k_{ILDIS}$
Overload			$< V_S$	#1: $I_{IS(FAULT)}$
Short circuit to GND			$\sim GND$	#1: $I_{IS(FAULT)}$
Overtemperature			Z	#1: $I_{IS(FAULT)}$
Short circuit to V_S			V_S	#1: $I_{IS} < I_L / k_{ILIS}$

(表格续下页.....)

Table 15 (continued) SENSE signal, function of application condition

Application condition	Input level	DEN level	V_{OUT}	Diagnostic input
Open load			$\sim VS^{2)}$	#2: $I_{IS(I2t)}$
				#3: $I_{IS(STATUS_I2t)}$
				#4: $I_{IS(OCT)}$
				#5: $I_{IS} = I_L / k_{ILDIS}$
				#1: $I_{IS} = I_{IS(EN)}$
Inverse current			$\sim V_{INV} = V_{OUT} > V_S$	#1: $I_{IS} = I_{IS(EN)}$
				#2: $I_{IS(I2t)}$
				#3: $I_{IS(STATUS_I2t)}$
				#4: $I_{IS(OCT)}$
				#5: $I_{IS} = I_{IS(EN)}$
CLS mode	"pwm"	"high"	$< V_S - V_{DS(OLOFF)}$	#1: Z
				#2: $I_{IS(I2t)}$
				#3: $I_{IS(STATUS_I2t)}$
				#4: $I_{IS(OCT)}$
				#5: Z
All conditions	n.a.	"low"	n.a.	Z

1) 额外的上拉电阻。

2) 输出电流必须小于 $I_{L(OLO)}$ 。

10.1 顺序诊断

在开启和关闭状态下，该器件区分以下诊断功能：

Address	IN	Function
#1	"high"	Current sense
#1	"low"	Open load in OFF
#2	"x"	I2t setting
#3	"x"	I2t status
#4	"x"	OCT setting
#5	"high"	Digital current sense
#5	"low"	Sense verification current

10 诊断

要顺序更改为下一个诊断（例如，“电流检测”更改为“I2t 设置”），必须在 DEN 引脚地址处施加一个脉冲（下降沿，然后上升沿），持续时间 $t_{DEN(SD_AC)}$ （“顺序诊断地址更改的 DEN 脉冲持续时间”）。如果脉冲短于 $t_{DEN(SD_AH)}$ （“DEN 脉冲持续时间用于顺序诊断地址保持”），则不执行地址更改。其动作及模式如图 42 所示。扫描完最后一个诊断地址后，器件将从第一个诊断地址重新开始。

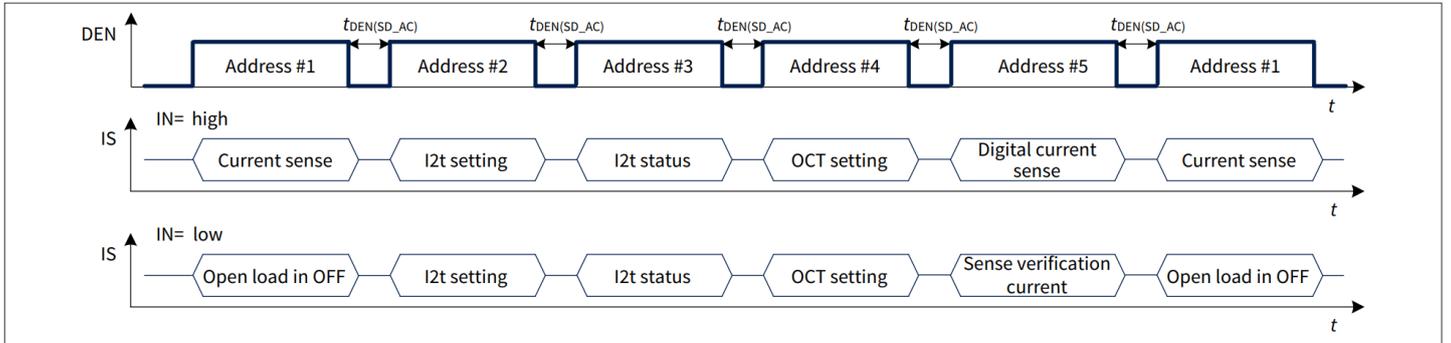


Figure 42 Sequential diagnosis function

如果施加在 DEN 引脚的脉冲为“低”电平的持续时间长于顺序诊断超时的 DEN 脉冲持续时间 $t_{DEN(SD_TO)}$ ，则实际诊断地址为复位（参见图 43）。随着下一个 DEN 引脚“高”信号，顺序诊断从第一个诊断地址开始（取决于输入引脚置位为“高”或“低”）。

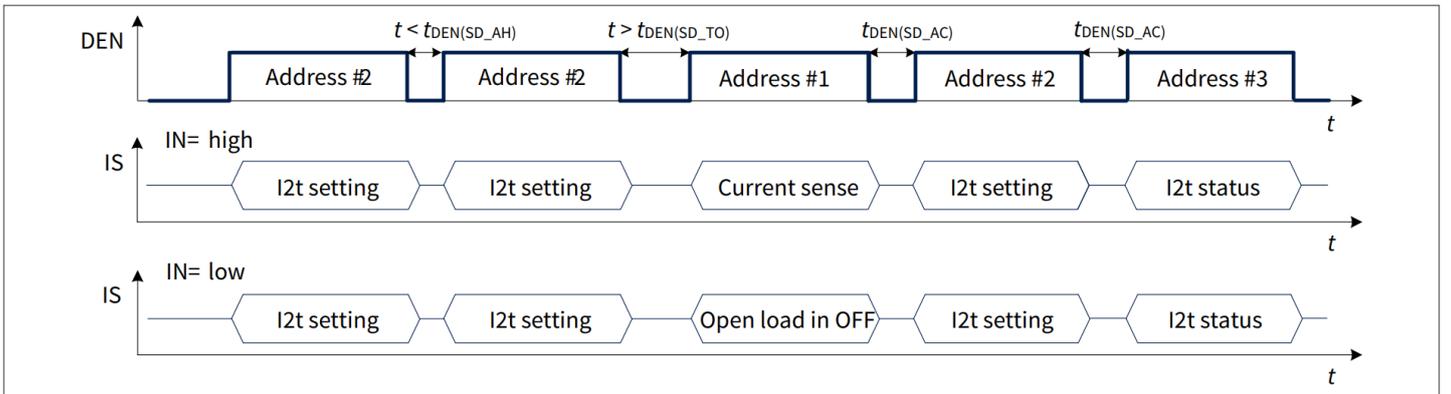


Figure 43 Sequential diagnosis timing

为了进入 CLS 模式，需要在输入引脚上施加 PWM 信号（ $f_{VIN(CLS)}$ 和 $DC_{VIN(CLS)}$ ），当输入引脚置位为“高”时，由诊断解码。

顺序诊断功能的状态以及相应的检测电流如图 44 所示。

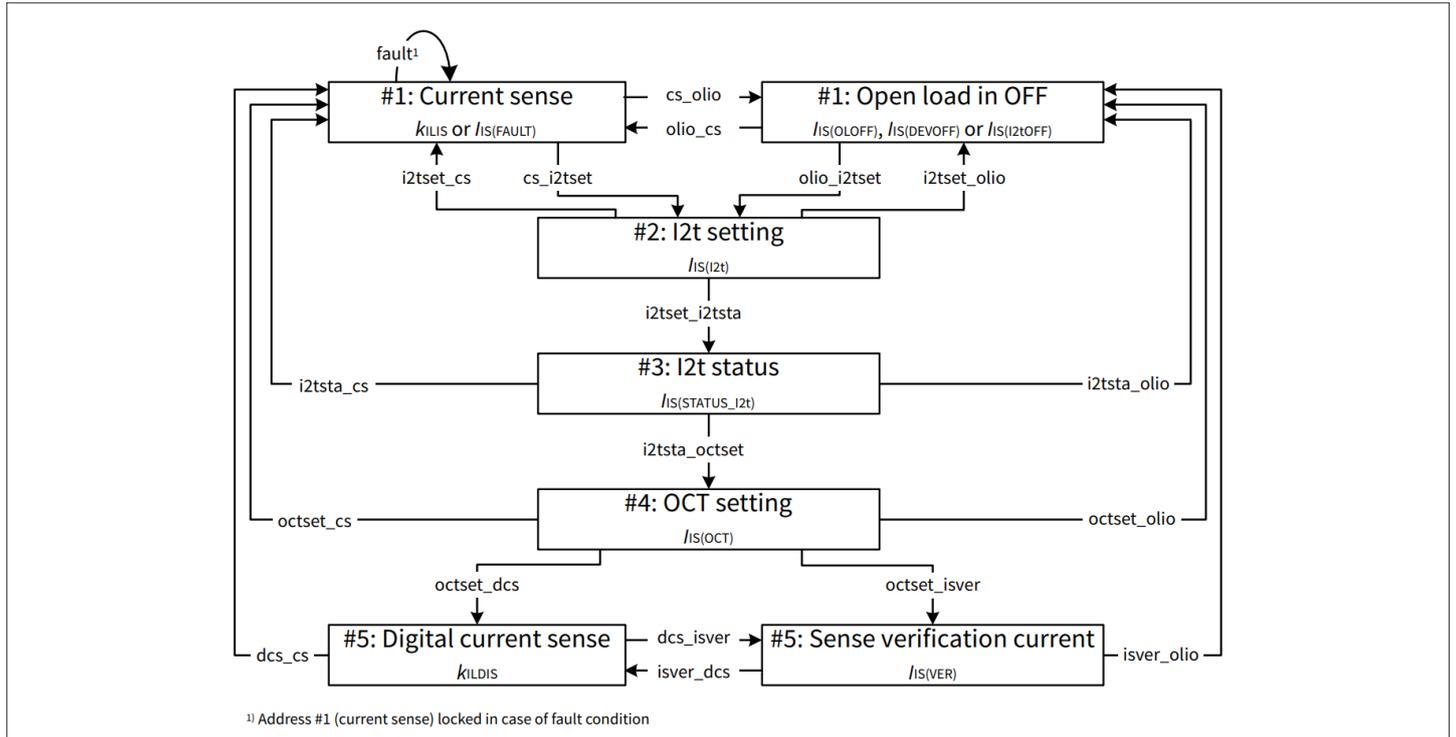


Figure 44 Sequential diagnosis modes

下表提供了转换的更详细描述，包括转换条件和持续时间。

Table 16 Transition descriptions

Name	Start state	End state	Transition condition	Duration time
olio_cs	Open load in OFF	Current sense	IN = "high" ¹⁾	$t_{SIS(DIAG)}$
i2tset_cs	I2t setting	Current sense	(DEN = "low" for $t_{DEN(SD_TO)}$ OR FAULT) AND IN = "high" ¹⁾	$t_{SIS(ON15)}$
i2tsta_cs	I2t status	Current sense	(DEN = "low" for $t_{DEN(SD_TO)}$ OR FAULT) AND IN = "high" ¹⁾	$t_{SIS(ON15)}$
octset_cs	OCT setting	Current sense	(DEN = "low" for $t_{DEN(SD_TO)}$ OR FAULT) AND IN = "high" ¹⁾	$t_{SIS(ON15)}$
dcs_cs	Digital current sense	Current sense	(DEN = "low" for ($t_{DEN(SD_AC)}$ OR $t_{DEN(SD_TO)}$) OR FAULT) AND IN = "high"	$t_{SIS(ON15)}$
cs_olio	Current sense	Open load in OFF	IN = "low"	$t_{SIS(ON234)}$
i2tset_olio	I2t setting	Open load in OFF	(DEN = "low" for $t_{DEN(SD_TO)}$) AND IN = "low"	$t_{SIS(ON234)}$

(表格续下页.....)

10 诊断

Table 16 (continued) Transition descriptions

Name	Start state	End state	Transition condition	Duration time
i2tsta_olio	I2t status	Open load in OFF	(DEN = "low" for $t_{DEN(SD_TO)}$) AND IN = "low"	$t_{SIS(ON234)}$
octset_olio	OCT setting	Open load in OFF	(DEN = "low" for $t_{DEN(SD_TO)}$) AND IN = "low"	$t_{SIS(ON234)}$
isver_olio	Sense verification current	Open load in OFF	(DEN = "low" for ($t_{DEN(SD_AC)}$ OR $t_{DEN(SD_TO)}$)) AND IN = "low"	$t_{SIS(ON234)}$
cs_i2tset	Current sense	I2t setting	DEN = "low" for $t_{DEN(SD_AC)}$	$t_{SIS(ON234)}$
olio_i2tset	Open load in OFF	I2t setting	DEN = "low" for $t_{DEN(SD_AC)}$	$t_{SIS(ON234)}$
i2tset_i2tsta	I2t setting	I2t status	DEN = "low" for $t_{DEN(SD_AC)}$	$t_{SIS(ON234)}$
i2tsta_octset	I2t status	OCT setting	DEN = "low" for $t_{DEN(SD_AC)}$	$t_{SIS(ON234)}$
octset_dcs	OCT setting	Digital current sense	(DEN = "low" for $t_{DEN(SD_AC)}$) AND IN = "high" ¹⁾	$t_{SIS(ON15)}$
isver_dcs	Sense verification current	Digital current sense	IN = "high" ¹⁾	$t_{SIS(DIAG)}$
octset_isver	OCT setting	Sense verification current	(DEN = "low" for $t_{DEN(SD_AC)}$) AND IN = "low" ¹⁾	$t_{SIS(ON234)}$
dcs_isver	Digital current sense	Sense verification current	IN = "low"	$t_{SIS(ON234)}$

1) IN = "pwm" 的 CLS 模式被解码为 IN = "高电平"。

10.1.1 电流检测 (地址#1 - IN=高)

与负载电流成比例的电流

$$k_{ILIS} = \frac{I_L}{I_{IS}} \quad (10)$$

当满足以下条件时，在 IS 引脚上提供：

- 地址#1 和 IN = "高"
- 诊断 (电流检测) 是启用的，且 $V_{DS} < V_{DS(OLOFF)}$
- 没有故障 (如第 8.3 章所述) 存在或被锁定 (见 图46 了解更多详细信息)

当出现故障或被锁定时，在 IS 引脚处提供故障电流 $I_{IS(FAULT)}$ 。

检测电流 I_{IS} 的精度取决于负载电流 I_L 。检测电流 I_{IS} 随 I_L 输出电流线性增加直至达到饱和电流 $I_{IS(SAT)}$ 。如果输出级有负载开路 (I_L 接近 0 A)，则指定最大检测电流 $I_{IS(EN)}$ (空载、诊断启用的)。这个条件如图 45 所示。蓝线代表理想的 k_{ILIS} 线，而红线则显示典型产品的行为。

建议在 IS 引脚和 ADC 输入引脚之间使用外部阻容滤波器，以减少信号纹波和振荡 (建议阻容滤波器的最小时间参数 $1\mu s$)。

k_{ILIS} 系数的指定限值考虑了温度、供电电压和制造工艺的影响。在规定的电流区域内，可以使用更严格的限值校准：

- 在客户端的产线终端测试期间，在输出端应用明确定义且精确的电流 ($I_{L(CAL)}$)
- 测量 IS 引脚对应的电流并计算 k_{ILIS} ($k_{ILIS} @ I_{L(CAL)}$)
- 在从 $I_{L(CAL)_L}$ 到 $I_{L(CAL)_H}$ 的电流范围内， k_{ILIS} 等于 $k_{ILIS} @ I_{L(CAL)}$ ，限值由 Δk_{ILIS} 定义。

校准后 k_{ILIS} 的降额由 Δk_{ILIS} 指定，使用以下公式计算：

$$\Delta k_{ILIS, MAX} = 100 \cdot \text{MAX} \left(\frac{k_{ILIS} @ I_{L(CAL)_L}}{k_{ILIS} @ I_{L(CAL)}} - 1, \frac{k_{ILIS} @ I_{L(CAL)_H}}{k_{ILIS} @ I_{L(CAL)}} - 1 \right) \quad (11)$$

$$\Delta k_{ILIS, MIN} = 100 \cdot \text{MIN} \left(\frac{k_{ILIS} @ I_{L(CAL)_L}}{k_{ILIS} @ I_{L(CAL)}} - 1, \frac{k_{ILIS} @ I_{L(CAL)_H}}{k_{ILIS} @ I_{L(CAL)}} - 1 \right)$$

校准应在 $T_{A(CAL)} = 25^\circ C$ 下进行。参数 Δk_{ILIS} 包括温漂以及从 $I_{L(CAL)_L}$ 到 $I_{L(CAL)_H}$ 的电流范围内的漂移。

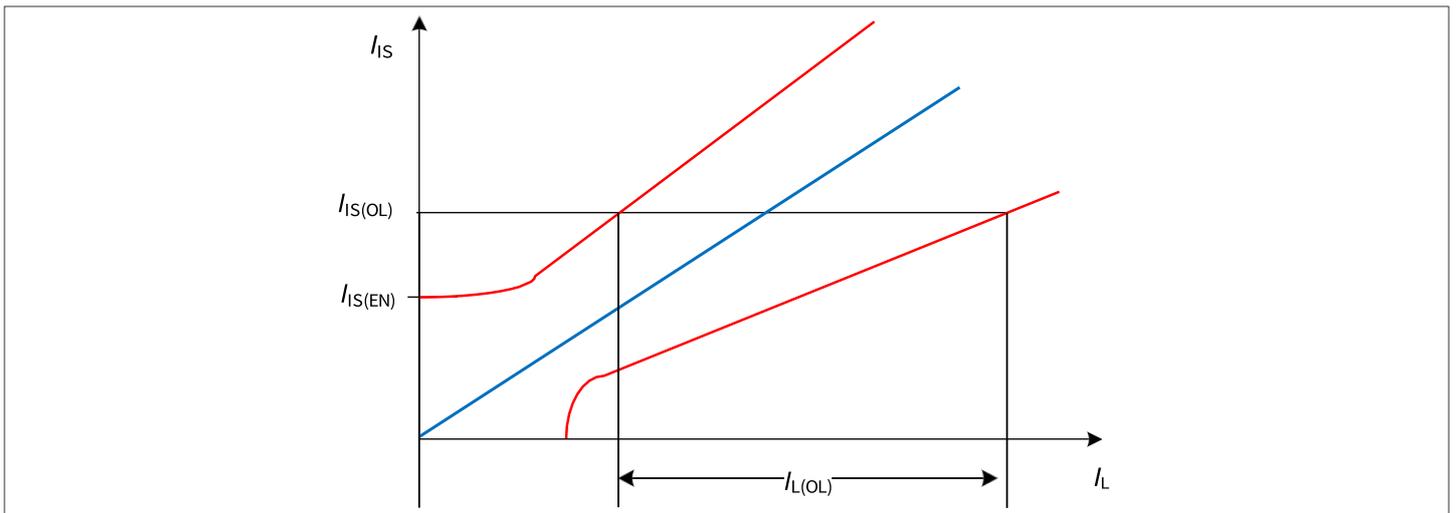


Figure 45 Current sense ratio in open load at ON condition

一旦发生保护事件，器件就会关闭，并且如果 DEN 置位过高，则 IS 引脚会提供故障电流 $I_{IS(FAULT)}$ (参见 [章节 8.3](#) 了解更多详情)。在故障条件下，每次通过 DEN = “高” 激活器件诊断时，都会提供电流 $I_{IS(FAULT)}$ 。

[图46](#) 显示了 $I_{IS} = I_L / k_{ILIS}$ 、 $I_{IS(SAT)}$ 和 $I_{IS(FAULT)}$ 之间的关系。

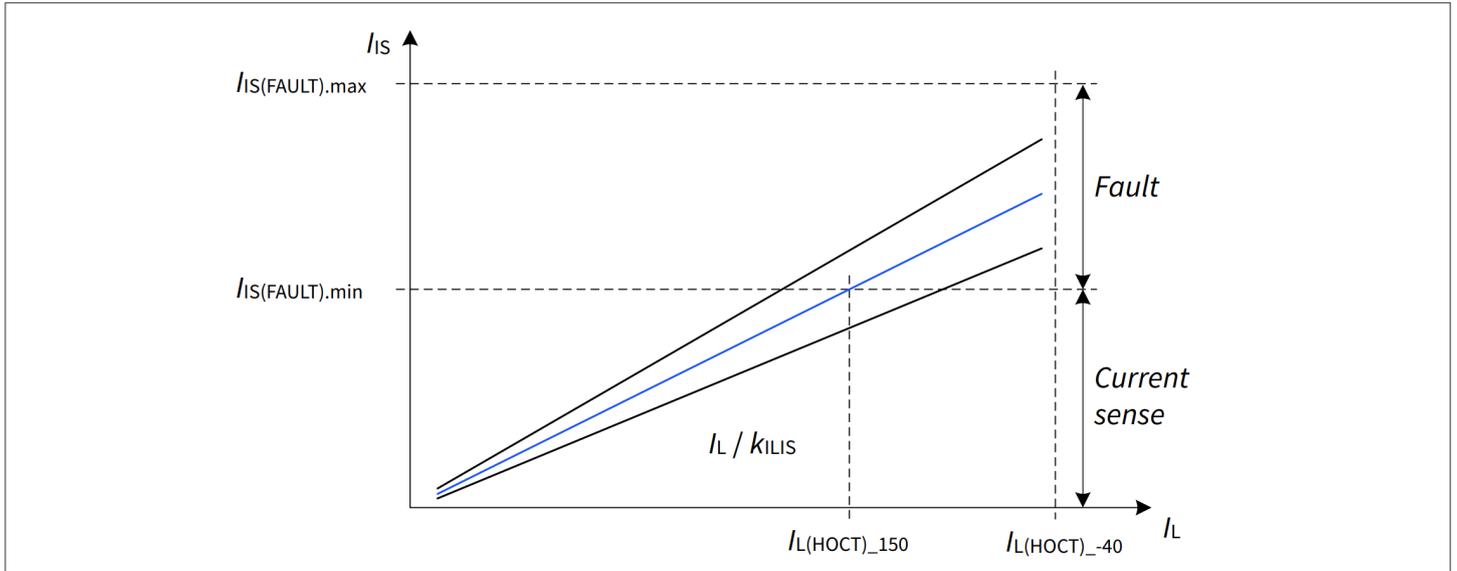


Figure 46 Current sense behavior - overview

10.1.2 负载开路处于 OFF（地址 #1 - IN = 低）

当输入信号为“低”且选择地址#1时，该器件测量漏源电压并与 OFF 状态下 V_{DS} 负载开路检测阈值 $V_{DS(OLOFF)}$ 进行比较。通过使用外部元器件（见 图 54）可以检测负载是否缺失或是否存在对电池短路。

如果器件检测到故障条件，则每次在 OFF 状态下检查通道诊断时，IS 引脚都会提供器件保护故障电流 $I_{IS(DEVOFF)}$ 或 I2t 保护故障电流 $I_{IS(I2tOFF)}$ 。见 图 47 了解更多详情。

在 OFF 状态下，当 DEN 引脚置位为“高”时， V_{DS} 电压与阈值电压 $V_{DS(OLOFF)}$ 进行比较。如果负载连接正确且没有对电池短路，则 $V_{DS} \sim V_S$ 因此 $V_{DS} > V_{DS(OLOFF)}$ 。当诊断处于激活状态且 $V_{DS} \leq V_{DS(OLOFF)}$ 时，IS 引脚提供电流 $I_{IS(OLOFF)}$ 。图 47 显示 $I_{IS(OLOFF)}$ 、 $I_{IS(DEVOFF)}$ 、 $I_{IS(I2tOFF)}$ 和 V_{DS} 的关系。由于这三个电流不重叠，因此始终可以区分关闭状态下负载开路、I2t 保护和器件保护触发状态。此外，第一也是最高优先级是 I2t 保护故障电流 $I_{IS(I2tOFF)}$ ，第二是器件保护故障电流 $I_{IS(DEVOFF)}$ ，第三是 OFF 状态下 $I_{IS(OLOFF)}$ 中的负载开路。

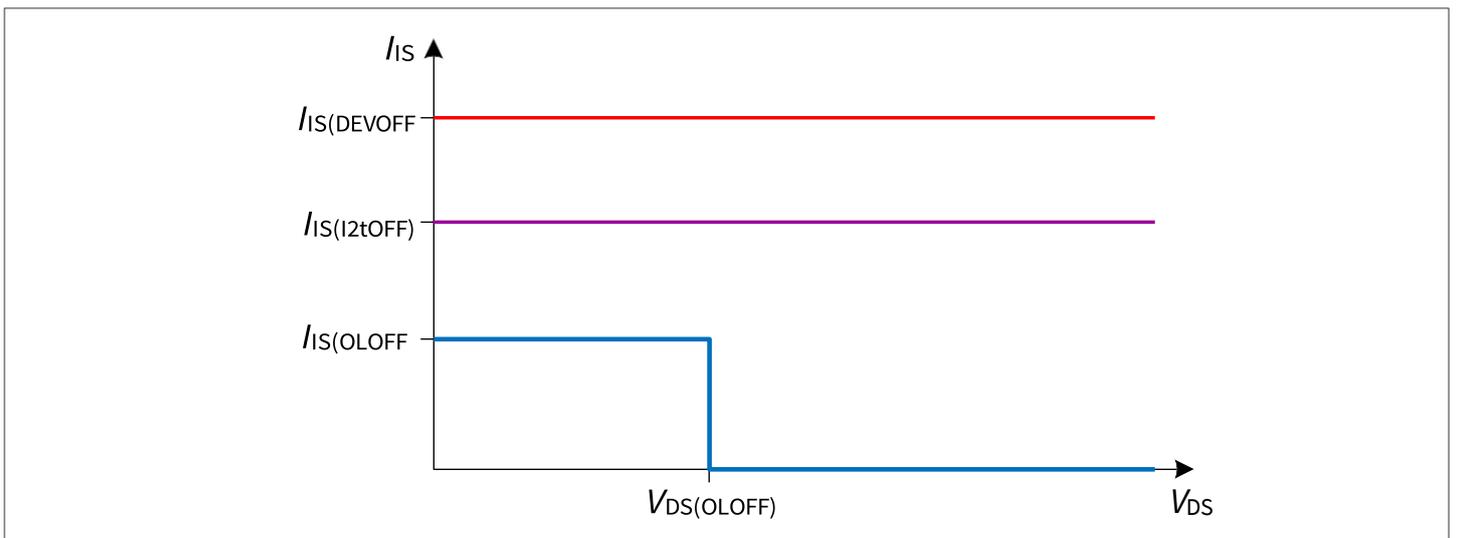


Figure 47 I_{IS} in OFF state

10 诊断

在输入引脚下降沿和 IS 引脚检测到负载断状态下开路诊断之间需要等待时间 $t_{IS(OLOFF)_D}$ ，以允许内部比较器稳定。图48 显示了负载开路检测的过程。负载始终处于断开状态。

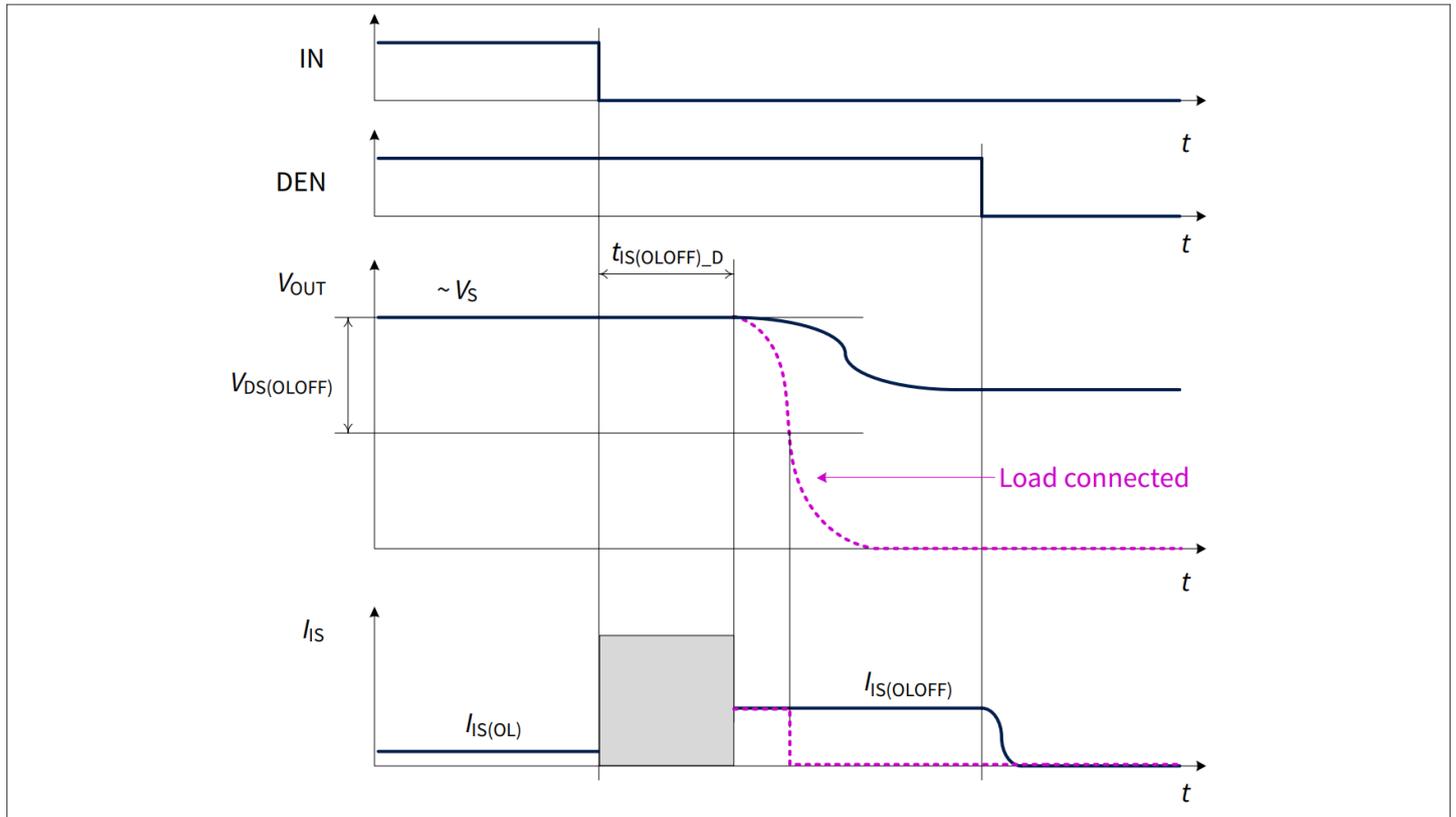


Figure 48 Open load in OFF timings - load disconnected

10.1.3 I2t 设置 (地址 #2 - IN = x)

如果将顺序诊断模式设置为地址 #2，则器件为每个 I2t 保护曲线提供相应的电流检测 $I_{IS(I2t_x)}$ ，在 IS 引脚上设置。I2t 设置由 I2t 引脚上的电阻设置 (参见图 49)。

该器件在 IS 引脚上提供 I2t 引脚的开路和短路检测。在这种情况下，在诊断 I2t 设置时，会分配引脚短路电流 $I_{IS(I2t_SHORT)}$ 或引脚开路电流 $I_{IS(I2t_OPEN)}$ 。

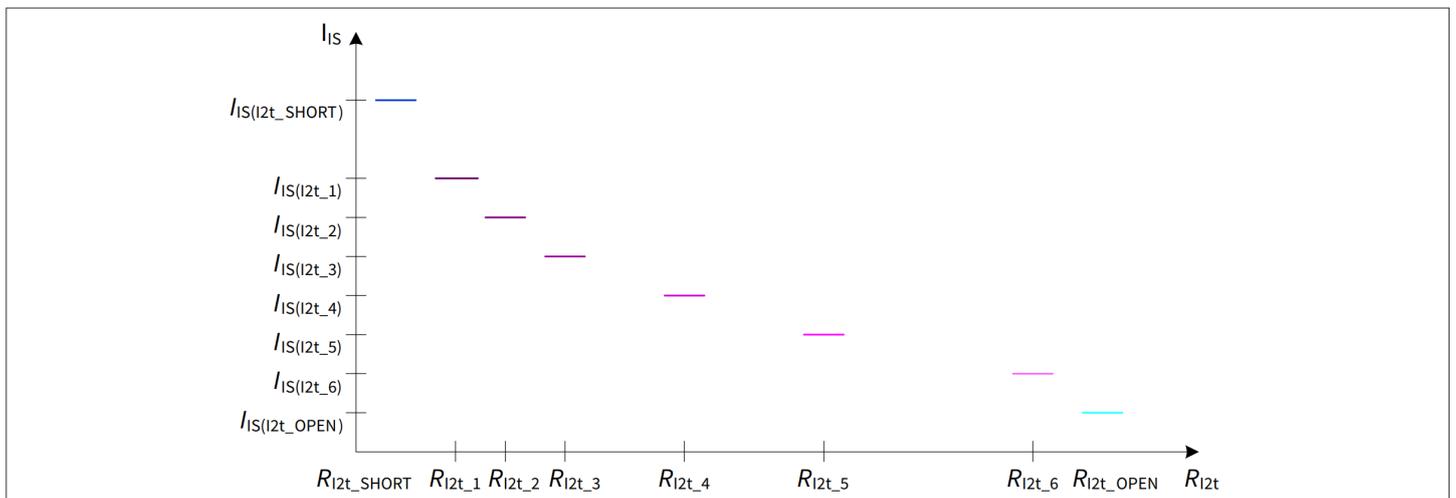


Figure 49 Diagnosis of I2t setting

10.1.4 I2t 状态 (地址 #3 - IN = x)

与实际 I2t 状态 S_{I2t_A} 成比例的电流

$$I_{IS(\text{STATUS_I2t_x})} = S_{I2t_A} \cdot I_{IS(I2t_x_100\%)} \quad (12)$$

根据所选的 I2t 保护曲线，在 IS 引脚上提供电流（参见图 50）。当 I2t 保护曲线状态达到 100% 时， $I_{IS(\text{STATUS_I2t_x})}$ 等于 $I_{IS(I2t_x_100\%)}$ 。

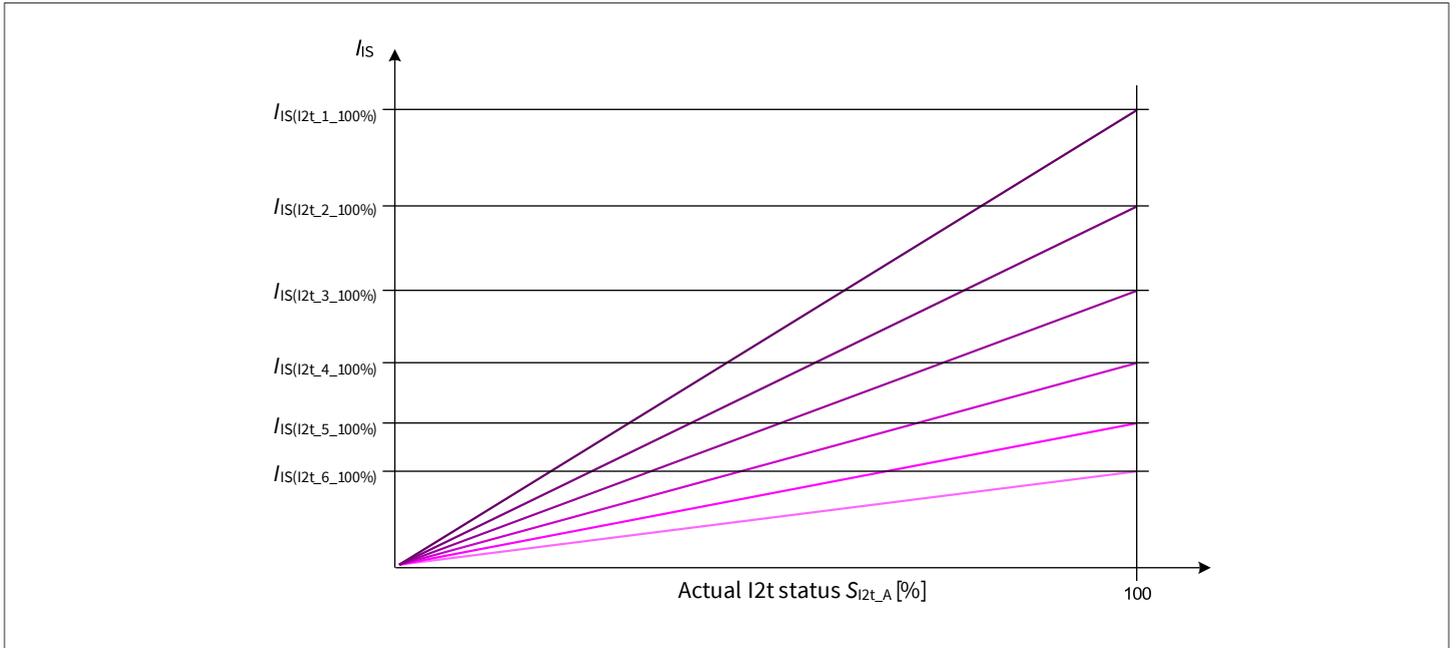


Figure 50 Diagnosis of I2t status calculation

10.1.5 OCT 设置 (地址 #4 - IN = x)

电流根据以下公式计算：

$$I_{IS(\text{OCT})} [A] = 54.5 \cdot I_{\text{OCT}} [A] \quad (13)$$

根据顺序诊断地址 #4 读取期间所选的 OCT 设置，在 IS 引脚提供 I_{OCT} 值（见图 51）。 I_{OCT} 范围受 $I_{\text{OCT,MAX}}$ 和 $I_{\text{OCT,MIN}}$ 限制，分别为最高和最低过流阈值。

该器件在 IS 引脚上提供 OCT 引脚开路 and 短路检测功能。在这种情况下，引脚短路电流 $I_{IS(\text{OCT_SHORT})}$ 或者在 OCT 设置诊断期间分配引脚开路电流 $I_{IS(\text{OCT_OPEN})}$ 。

如果器件检测到输入端的 CLS PWM 信号 ($f_{\text{VIN}(\text{CLS})}$ 和 $DC_{\text{VIN}(\text{CLS})}$ 的占空比) 并且 I_{OCT} 电流在 OCT 调整范围内，则可在 IS 引脚上读取最高可配置过流检测阈值 $I_{IS(\text{HOCT})}$ 。

如果器件在 OCT 引脚处识别出短路或开路，则相应的 $I_{IS(\text{OCT_SHORT})}$ 或 $I_{IS(\text{OCT_OPEN})}$ 将在具有最高优先级的 IS 引脚处发送。

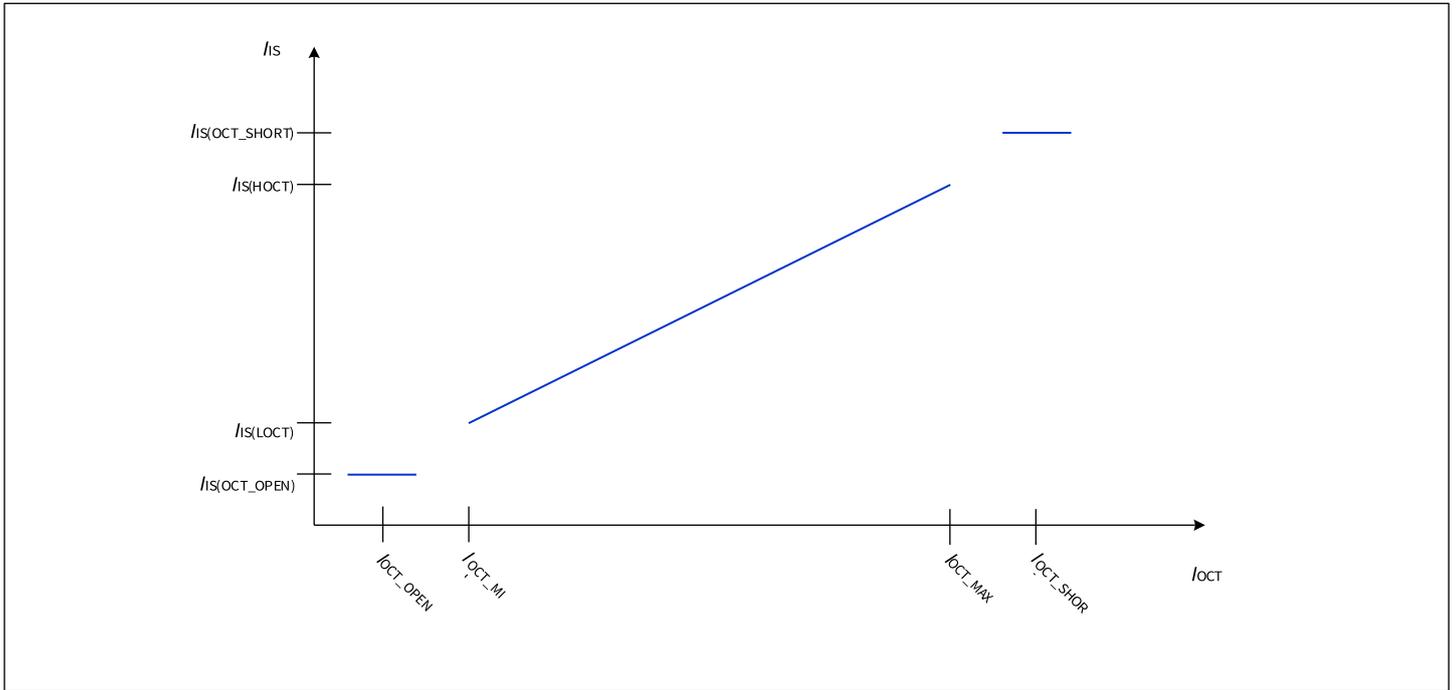


Figure 51 Diagnosis of overcurrent threshold setting

10.1.6 数字电流检测 (地址#5 - IN = 高)

与负载电流成比例的电流

$$k_{ILDIS} = \frac{I_L}{I_{DIS}} \quad (14)$$

当满足以下条件时，在 IS 引脚上提供：

- 地址 #5 和 IN = “高”
- 诊断（电流检测）是启用的，且 $V_{DS} < V_{DS(OLOFF)}$
- 无故障（如 第8.3章 所述）存在或被锁定（见图46了解更多详情）

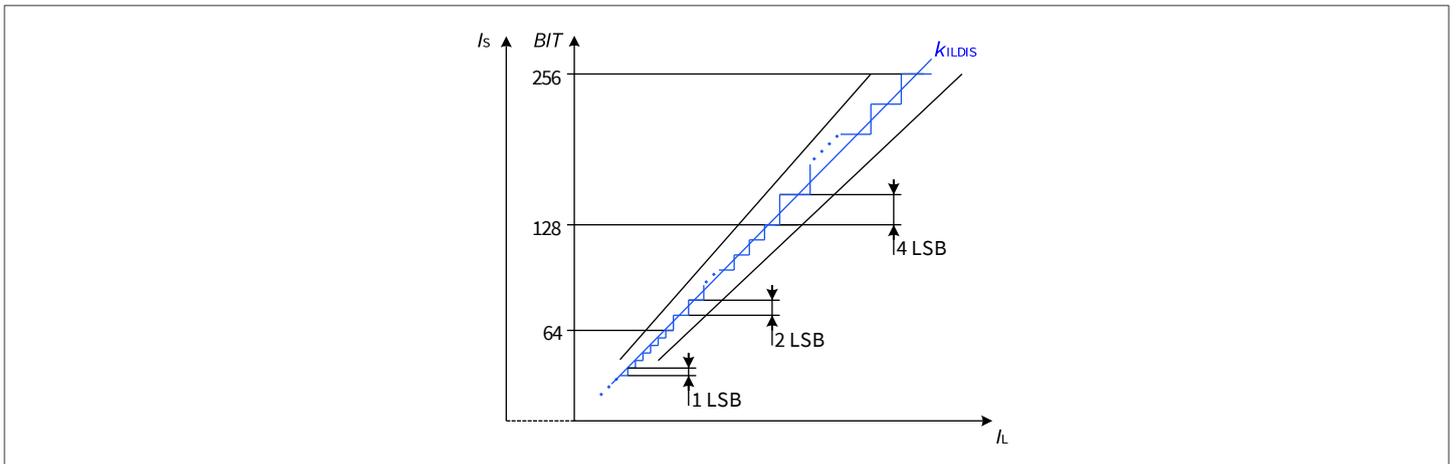


Figure 52 Digital current sense behavior - overview

无限快速电流斜坡的数字电流检测建立时间由下式确定：

$$t_{DIS_SET} = \begin{cases} I_L \leq 64 \cdot LSB, & \frac{I_L}{LSB} \cdot t_{CON} \\ 65 \cdot LSB < I_L \leq 128 \cdot LSB, & \left(64 + \frac{I_L - 64 \cdot LSB}{2LSB} \right) \cdot t_{CON} \\ 129 \cdot LSB < I_L \leq 256 \cdot LSB, & \left(96 + \frac{I_L - 128 \cdot LSB}{4LSB} \right) \cdot t_{CON} \end{cases} \quad (15)$$

10.1.7 检测验证电流（地址#5 - IN = 低）

为了验证关断状态下电流检测路径的功能，器件提供了检测验证地址。在此模式下，在电流检测引脚上提供预定义的电流 $I_{IS(VER)}$ ，与负载条件无关。

10.2 诊断时序

图53 显示了 SENSE 建立 $t_{sIS(ON)}$ 和关闭 $t_{sIS(OFF)}$ 期间的时序（包括负载变化的情况）。由于在负载电流稳定之前（即在 t_{ON} 之前）无法建立正确的信号，因此启动后的 SENSE 建立时间由 $t_{sIS(DIAG)}$ 定义。

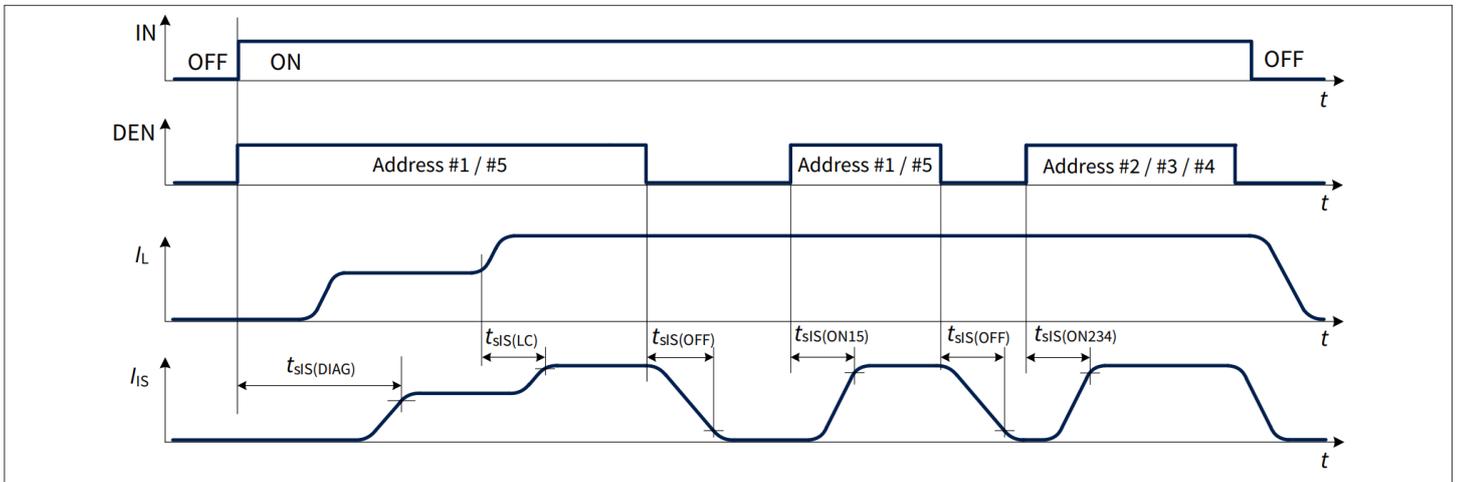


Figure 53 SENSE settling/disabling timing

10.3 诊断电气特性

Table 17 Electrical characteristics diagnosis

$V_S = 5\text{ V}$ 至 20 V , $T_J = -40^\circ\text{C}$ 至 $+150^\circ\text{C}$

除非另有规定, 否则典型值为: $V_S = 13.5\text{ V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$

典型的阻性负载连接到输出端进行测试(除非另有说明): $R_L = 2.1\ \Omega$

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition	P-Number
		Min.	Typ.	Max.			
SENSE fault current	$I_{IS(FAULT)}$	4.4	5.5	10	mA	IN = "high" Device or I2t protection triggered Address #1 $V_S = 6\text{ V}$	PRQ-287
Device protection fault current	$I_{IS(DEVOFF)}$	4.4	6.1	10	mA	IN = "low" Device protection triggered Address #1 $V_S = 6\text{ V}$	PRQ-893
I2t protection fault current	$I_{IS(I2tOFF)}$	2.56	3.20	3.84	mA	¹⁾ IN = "low" I2t protection triggered Address #1	PRQ-631
SENSE open load in OFF current	$I_{IS(LOFF)}$	0.8	1.15	1.5	mA	IN = "low" Address #1	PRQ-288
Sense verification current	$I_{IS(VER)}$	400	500	600	μA	IN = "low" Address #5	PRQ-1333
SENSE open load in OFF delay time (from ON to OFF)	$t_{IS(LOFF)_D}$	–	5	20	μs	$V_{DS} < V_{OL(OFF)}$ from IN falling edge to $V_{IS} = R_{SENSE} \cdot 0.9$ $\cdot I_{IS(LOFF),MIN}$ DEN = "high" Address #1	PRQ-290
Open load VDS detection threshold in OFF state	$V_{DS(LOFF)}$	1.3	1.8	2.3	V	IN="low" Address #1	PRQ-292
SENSE settling time with nominal load current stable	$t_{SIS(ON15)}$	–	5	40	μs	$I_L = I_{L(NOM)}_{.85}$ DEN from "low" to "high" IN = "high" Address #1, #5	PRQ-293

(表格续下页.....)

Table 17 (continued) Electrical characteristics diagnosis

$V_S = 5\text{ V}$ 至 20 V , $T_J = -40^\circ\text{C}$ 至 $+150^\circ\text{C}$

除非另有规定, 否则典型值为: $V_S = 13.5\text{ V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$

典型的阻性负载连接到输出端进行测试(除非另有说明): $R_L = 2.1\ \Omega$

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition	P-Number
		Min.	Typ.	Max.			
SENSE settling time with nominal load current stable after startup	$t_{\text{SIS(DIAG)}}$	–	400	750	μs	¹⁾ $I_L = I_{L(\text{NOM})_85}$ IN, DEN from “low” to “high” Address #1, #5	PRQ-276
SENSE settling time for sequential diagnosis	$t_{\text{SIS(ON234)}}$	–	5	20	μs	¹⁾ DEN from “low” to “high” IN = “high” Address #2, #3, #4 IN = “low” Address #1, #2, #3, #4, #5	PRQ-1201
SENSE disable time	$t_{\text{SIS(OFF)}}$	–	5	20	μs	¹⁾ From DEN falling edge to $I_{\text{IS}} = I_{\text{IS(OFF)}}$ See Figure 53 IN=“high” Address #1	PRQ-295
SENSE settling time after load change	$t_{\text{SIS(LC)}}$	–	5	20	μs	¹⁾ From 10% $I_{L(\text{NOM})_85}$ to $I_{L(\text{NOM})_85}$ See Figure 53 IN=“high” Address #1	PRQ-296
Load jump duration in Address 5	$t_{\text{SIS(LC_Address5)}}$	22	29.5	37	μs	¹⁾ From 10% $I_{L(\text{NOM})_85}$ to $I_{L(\text{NOM})_85} \cdot x$ for $x=1,2,3,4$. See Figure 53 IN=“high” Address #5	PRQ-1490
Digital SENSE conversion time	t_{CON}	720	800	880	ns	¹⁾	PRQ-1455

(表格续下页.....)

Table 17 (continued) Electrical characteristics diagnosis

$V_S = 5\text{ V}$ 至 20 V , $T_J = -40^\circ\text{C}$ 至 $+150^\circ\text{C}$

除非另有规定, 否则典型值为: $V_S = 13.5\text{ V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$

典型的阻性负载连接到输出端进行测试(除非另有说明): $R_L = 2.1\ \Omega$

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition	P-Number
		Min.	Typ.	Max.			
DEN pulse duration for sequential diagnosis address change	$t_{\text{DEN(SD_AC)}}$	25	50	75	μs	1)	PRQ-610
DEN pulse duration for sequential diagnosis timeout	$t_{\text{DEN(SD_TO)}}$	150	-	-	μs	1)	PRQ-937
DEN pulse duration for sequential diagnosis address hold	$t_{\text{DEN(SD_AH)}}$	0	5	10	μs	1)	PRQ-1468

1) 未经过生产测试, 由设计指定。

Table 18 Electrical characteristics diagnosis

$V_S = 5\text{ V}$ 至 20 V , $T_J = -40^\circ\text{C}$ 至 $+150^\circ\text{C}$

除非另有规定, 否则典型值为: $V_S = 13.5\text{ V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$

典型的阻性负载连接到输出端进行测试(除非另有说明): $R_L = 2.1\ \Omega$

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition	P-Number
		Min.	Typ.	Max.			
SENSE saturation current	$I_{\text{S(SAT)}}$	4.4	-	15	mA	1) $V_{\text{SIS}} = V_S - V_{\text{IS}} \geq 2\text{ V}$ See Figure 46	PRQ-277
SENSE leakage current when disabled	$I_{\text{S(OFF)}}$	-	0.01	0.5	μA	DEN = "low" $V_{\text{IS}} = 0\text{ V}$	PRQ-279
SENSE leakage current when enabled at $T_J \leq 85^\circ\text{C}$	$I_{\text{S(EN)_85}}$	-	0.2	1	μA	1) $T_J \leq 85^\circ\text{C}$ DEN = "high" $I_L = 0\text{ A}$ See Figure 45	PRQ-280
SENSE leakage current when enabled at $T_J = 150^\circ\text{C}$	$I_{\text{S(EN)_150}}$	-	0.2	1	μA	$T_J = 150^\circ\text{C}$ DEN = "high" $I_L = 0\text{ A}$ See Figure 45	PRQ-281

(表格续下页.....)

Table 18 (continued) Electrical characteristics diagnosis

$V_S = 5\text{ V}$ 至 20 V , $T_J = -40^\circ\text{C}$ 至 $+150^\circ\text{C}$

除非另有规定, 否则典型值为: $V_S = 13.5\text{ V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$

典型的阻性负载连接到输出端进行测试(除非另有说明): $R_L = 2.1\ \Omega$

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition	P-Number
		Min.	Typ.	Max.			
Saturation voltage in kLIS operation - (VS - VIS)	V_{SIS_k}	–	0.5	1	V	1) $V_S = 5\text{ V}$ IN = DEN = "high" $I_L \leq 1.2 * I_{L(NOM)_85}$	PRQ-282
Saturation voltage in open load at OFF diagnosis - (VS - VIS)	V_{SIS_OL}	–	0.5	1	V	1) $V_S = 5\text{ V}$ $I_{IS} = I_{IS(OLOFF)_Min}$ IN = "low" DEN = "high"	PRQ-283
Saturation voltage in fault diagnosis - (VS - VIS)	V_{SIS_F}	–	0.5	1	V	1) $V_S = 5\text{ V}$ $I_{IS} = I_{IS(FAULT)_Min}$ IN = "low" DEN = "high" latch $\neq 0$ $-40^\circ\text{C} < T_J \leq 150^\circ\text{C}$	PRQ-284
Saturation voltage in sequential diagnosis - (VS - VIS)	V_{SIS_SD}	–	0.5	1	V	1) $V_S = 5\text{ V}$ IN = DEN = "high" Address #2: $R_{I2t} = 10\text{ k}\Omega$ Address #3: $I_{IS(I2t_1_100\%)}$ Address #4: $I_{OCT} = 50\ \mu\text{A}$ Address #5: $I_L \leq 1.2 * I_{L(NOM)_85}$	PRQ-1453
Power supply to IS pin clamping voltage at $T_J = -40^\circ\text{C}$	$V_{SIS(CLAMP)_-40}$	33	36.5	42	V	$I_{IS} = 1\text{ mA}$ $T_J = -40^\circ\text{C}$ See Figure 20	PRQ-285
Power supply to IS pin clamping voltage at $T_J \geq 25^\circ\text{C}$	$V_{SIS(CLAMP)_25}$	35	38	44	V	2) $I_{IS} = 1\text{ mA}$ $T_J \geq 25^\circ\text{C}$ See Figure 20	PRQ-286

1) 未经过生产测试, 由设计指定。

2) 测试温度 $T_J = 150^\circ\text{C}$ 。

10.3.1 诊断电气特性- 功率输出级

Table 19 **Diagnosis power output stage**

$V_S = 5\text{ V}$ 至 20 V , $T_J = -40^\circ\text{C}$ 至 $+150^\circ\text{C}$

除非另有规定, 否则典型值为: $V_S = 13.5\text{ V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$

典型的阻性负载连接到输出端进行测试(除非另有说明): $R_L = 2.1\ \Omega$

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition	P-Number
		Min.	Typ.	Max.			
Open load output current							
Open load output current at $I_{IS} = 8\ \mu\text{A}$	$I_{L(OL)_8u}$	44	342	640	mA	IN = "high" Address #1 $I_{IS} = I_{IS(OL)} = 8\ \mu\text{A}$	PRQ-1109
Current sense ratio							
Current sense ratio at -IL = IL06	k_{ILIS06}	-79%	42800	+79%	-	$I_{L06} = 200\text{ mA}$ IN = "high" Address #1	PRQ-1110
Current sense ratio at -IL = IL09	k_{ILIS09}	-21%	34500	+21%	-	$I_{L09} = 750\text{ mA}$ IN = "high" Address #1	PRQ-1111
Current sense ratio at -IL = IL11	k_{ILIS11}	-11%	33000	+11%	-	$I_{L11} = 1.5\text{ A}$ IN = "high" Address #1	PRQ-1112
Current sense ratio at -IL = IL14	k_{ILIS14}	-6%	31800	+6%	-	$I_{L14} = 7.5\text{ A}$ IN = "high" Address #1	PRQ-1113
Current sense ratio at -IL = IL16	k_{ILIS16}	-5%	31800	+5%	-	$I_{L16} = 15\text{ A}$ IN = "high" Address #1	PRQ-1114
Current sense ratio at -IL = IL17	k_{ILIS17}	-5%	31800	+5%	-	$I_{L17} = 20\text{ A}$ IN = "high" Address #1	PRQ-1115
Current sense ratio at -IL = IL19	k_{ILIS19}	-5%	31800	+5%	-	¹⁾ $I_{L19} = 30\text{ A}$ IN = "high" Address #1	PRQ-1116

(表格续下页.....)

Table 19 (continued) Diagnosis power output stage

$V_S = 5\text{ V}$ 至 20 V , $T_J = -40^\circ\text{C}$ 至 $+150^\circ\text{C}$

除非另有规定, 否则典型值为: $V_S = 13.5\text{ V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$

典型的阻性负载连接到输出端进行测试(除非另有说明): $R_L = 2.1\ \Omega$

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition	P-Number
		Min.	Typ.	Max.			
SENSE current derating							
SENSE current derating with nominal current calibration	$\Delta k_{ILIS(NOM)}$	-3	0	3	%	1) $I_{L(CAL)} = I_{L17}$ $I_{L(CAL)_H} = I_{L19}$ $I_{L(CAL)_L} = I_{L16}$ $T_{A(CAL)} = 25^\circ\text{C}$	PRQ-1194
I2t setting							
Diagnosis of I2t pin short	$I_{IS(I2t_SHORT)}$	3.40	3.68	3.97	mA	Address #2 $V_S = 6\text{ V}$ $R_{I2t} = R_{I2t_SHORT}$ See Figure 49	PRQ-613
Diagnosis of I2t_1 setting	$I_{IS(I2t_1)}$	2.57	2.83	3.09	mA	Address #2 $R_{I2t} = R_{I2t_1}$ See Figure 49	PRQ-614
Diagnosis of I2t_2 setting	$I_{IS(I2t_2)}$	1.95	2.14	2.33	mA	Address #2 $R_{I2t} = R_{I2t_2}$ See Figure 49	PRQ-615
Diagnosis of I2t_3 setting	$I_{IS(I2t_3)}$	1.43	1.58	1.74	mA	Address #2 $R_{I2t} = R_{I2t_3}$ See Figure 49	PRQ-616
Diagnosis of I2t_4 setting	$I_{IS(I2t_4)}$	1.01	1.13	1.26	mA	Address #2 $R_{I2t} = R_{I2t_4}$ See Figure 49	PRQ-617
Diagnosis of I2t_5 setting	$I_{IS(I2t_5)}$	0.70	0.78	0.87	mA	Address #2 $R_{I2t} = R_{I2t_5}$ See Figure 49	PRQ-618
Diagnosis of I2t_6 setting	$I_{IS(I2t_6)}$	0.39	0.47	0.55	mA	Address #2 $R_{I2t} = R_{I2t_6}$ See Figure 49	PRQ-619
Diagnosis of I2t pin open	$I_{IS(I2t_OPEN)}$	0.08	0.15	0.21	mA	Address #2 $R_{I2t} = R_{I2t_OPEN}$ See Figure 49	PRQ-620

(表格续下页.....)

Table 19 (continued) Diagnosis power output stage

$V_S = 5\text{ V}$ 至 20 V , $T_J = -40^\circ\text{C}$ 至 $+150^\circ\text{C}$

除非另有规定, 否则典型值为: $V_S = 13.5\text{ V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$

典型的阻性负载连接到输出端进行测试(除非另有说明): $R_L = 2.1\ \Omega$

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition	P-Number
		Min.	Typ.	Max.			
I2t status							
100% Status of I2t_1	$I_{IS(I2t_1_100\%)}$	2.68	3.08	3.49	mA	¹⁾ Address #3 See Figure 50	PRQ-1383
100% Status of I2t_2	$I_{IS(I2t_2_100\%)}$	2.16	2.49	2.82	mA	¹⁾ Address #3 See Figure 50	PRQ-1389
100% Status of I2t_3	$I_{IS(I2t_3_100\%)}$	1.75	2.02	2.28	mA	¹⁾ Address #3 See Figure 50	PRQ-1396
100% Status of I2t_4	$I_{IS(I2t_4_100\%)}$	1.41	1.63	1.85	mA	¹⁾ Address #3 See Figure 50	PRQ-1400
100% Status of I2t_5	$I_{IS(I2t_5_100\%)}$	1.14	1.32	1.50	mA	¹⁾ Address #3 See Figure 50	PRQ-1403
100% Status of I2t_6	$I_{IS(I2t_6_100\%)}$	0.92	1.07	1.21	mA	¹⁾ Address #3 See Figure 50	PRQ-1406
OCT setting							
Diagnosis of OCT pin short	$I_{IS(OCT_SHORT)}$	3.40	3.68	3.97	mA	Address #4 $V_S = 6\text{ V}$ $I_{OCT} = 83.3\ \mu\text{A}$ See Figure 51	PRQ-627
Diagnosis of HOCT setting	$I_{IS(HOCT)}$	2.45	2.72	2.99	mA	Address #4 $I_{OCT} = 50\ \mu\text{A}$ See Figure 51	PRQ-628
Diagnosis of LOCT setting	$I_{IS(LOCT)}$	0.33	0.43	0.52	mA	Address #4 $I_{OCT} = 7.5\ \mu\text{A}$ See Figure 51	PRQ-629
Diagnosis of OCT pin open	$I_{IS(OCT_OPEN)}$	0.08	0.15	0.21	mA	Address #4 $I_{OCT} = 3.8\ \mu\text{A}$ See Figure 51	PRQ-630

(表格续下页.....)

Table 19 (continued) Diagnosis power output stage

$V_S = 5\text{ V}$ 至 20 V , $T_J = -40^\circ\text{C}$ 至 $+150^\circ\text{C}$

除非另有规定, 否则典型值为: $V_S = 13.5\text{ V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$

典型的阻性负载连接到输出端进行测试(除非另有说明): $R_L = 2.1\ \Omega$

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition	P-Number
		Min.	Typ.	Max.			
Digital current sense ratio							
LSB for KILDIS conversion	LSB	540	636	732	mA	¹⁾	PRQ-1459
Digital current sense ratio at - IL = IL14	k_{ILDIS14}	-20%	31100	+20%	-	$I_{L14} = 7.5\text{ A}$ IN = "high" Address #5	PRQ-1342
Digital current sense ratio at - IL = IL16	k_{ILDIS16}	-17.5%	31100	+17.5%	-	$I_{L16} = 15\text{ A}$ IN = "high" Address #5	PRQ-1343
Digital current sense ratio at - IL = IL17	k_{ILDIS17}	-15%	31100	+15%	-	$I_{L17} = 20\text{ A}$ IN = "high" Address #5	PRQ-1344
Digital current sense ratio at - IL = IL19	k_{ILDIS19}	-15%	31100	+15%	-	¹⁾ $I_{L19} = 30\text{ A}$ IN = "high" Address #5	PRQ-1345

¹⁾ 未经过生产测试, 由设计指定。

11 应用信息

注释： 以下信息仅作为执行器件的提示，不应被视为对器件某种功能、条件或质量的描述或担保。

11.1 应用电路简图

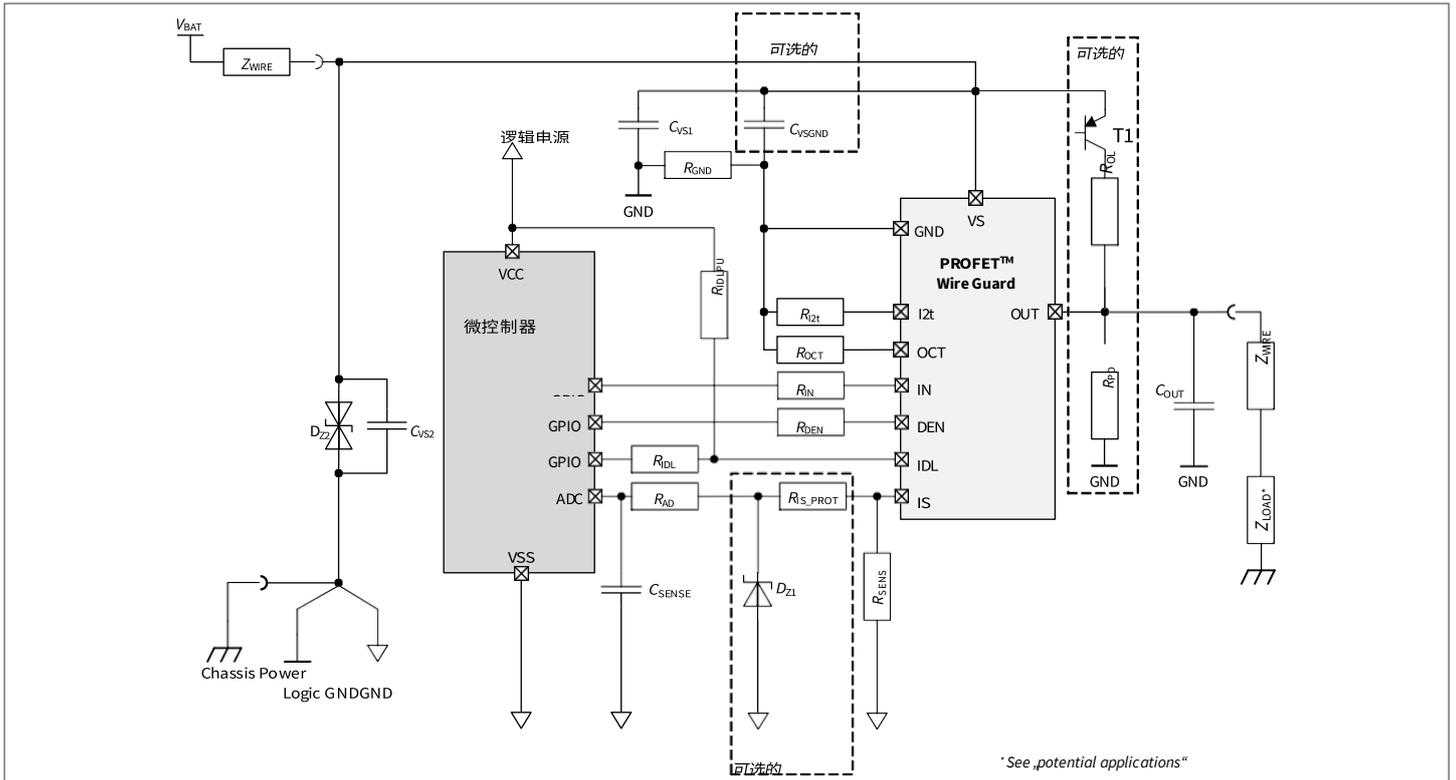


Figure 54 PROFET™ Wire Guard - application diagram

注释： 这是极简的应用电路。该功能需在实际应用中进行验证。

11.2 外部元器件

Reference	Value	Purpose
R_{IN}	4.7 k Ω	Protection of the microcontroller during overvoltage and reverse polarity. Necessary to switch OFF the device output during loss of ground
R_{DEN}	4.7 k Ω	Protection of the microcontroller during overvoltage and reverse polarity. Necessary to switch OFF the device output during loss of ground
R_{I2t}	10...68 k Ω	Selection of the I2t protection curve. Protection of the device during overvoltage and reverse polarity
R_{OCT} ¹⁾	10...68 k Ω	Selection of the OCT threshold. Protection of the device during overvoltage and reverse polarity
R_{IDL}	4.7 k Ω	Protection of the microcontroller during overvoltage and reverse polarity
R_{IDLPU}	47 k Ω	Pull-up resistor for idle mode diagnosis at microcontroller

11 应用信息

Reference	Value	Purpose
R_{PD}	47 k Ω	Output polarization (pull-down). Ensures polarization of the device output to distinguish between open load and short to V_S in OFF diagnosis
R_{OL}	1.5 k Ω	Output polarization (pull-up). Ensures polarization of the device output during open load in OFF diagnosis
C_{OUT}	10 nF	Protection of the device output during ESD events and BCI
T_1	BC 807	Switches the battery voltage for open load in OFF diagnosis
C_{VS1}	100 nF	Filtering of voltage spikes on the battery line
C_{VS2}	–	Filtering / buffer capacitor located at V_{BAT} connector
C_{VSGND}	22 nF	Buffer capacitor for fast transients. Recommended in case no battery voltage oscillation filter is present
D_{Z2}	33 V Z-Diode	Suppressor diode. Protection during overvoltage and in case of loss of battery while driving an inductive load
R_{SENSE}	1.2 k Ω	SENSE resistor
R_{IS_PROT}	4.7 k Ω	Protection during overvoltage, reverse polarity, loss of ground. Value to be tuned according to microcontroller specifications
D_{Z1}	7 V Z-Diode	Protection of microcontroller during overvoltage
R_{AD}	4.7 k Ω	Protection of microcontroller ADC input during overvoltage, reverse polarity, loss of ground. Value to be tuned according to microcontroller specifications
C_{SENSE}	220 pF	Sense signal filtering. A time constant $(R_{AD} + R_{IS_PROT}) * C_{SENSE}$ longer than 1 μ s is recommended
R_{GND}	47 Ω	Protection in case of overvoltage and loss of battery while driving inductive loads

1)建议将电阻尽可能靠近器件输入引脚放置，以优化电磁兼容性能。

11.3 更多应用信息

- 如需了解引脚行为评估的详细信息，请联系我们
- 如需更多信息，请点击 <http://www.infineon.com>

12 封装外形

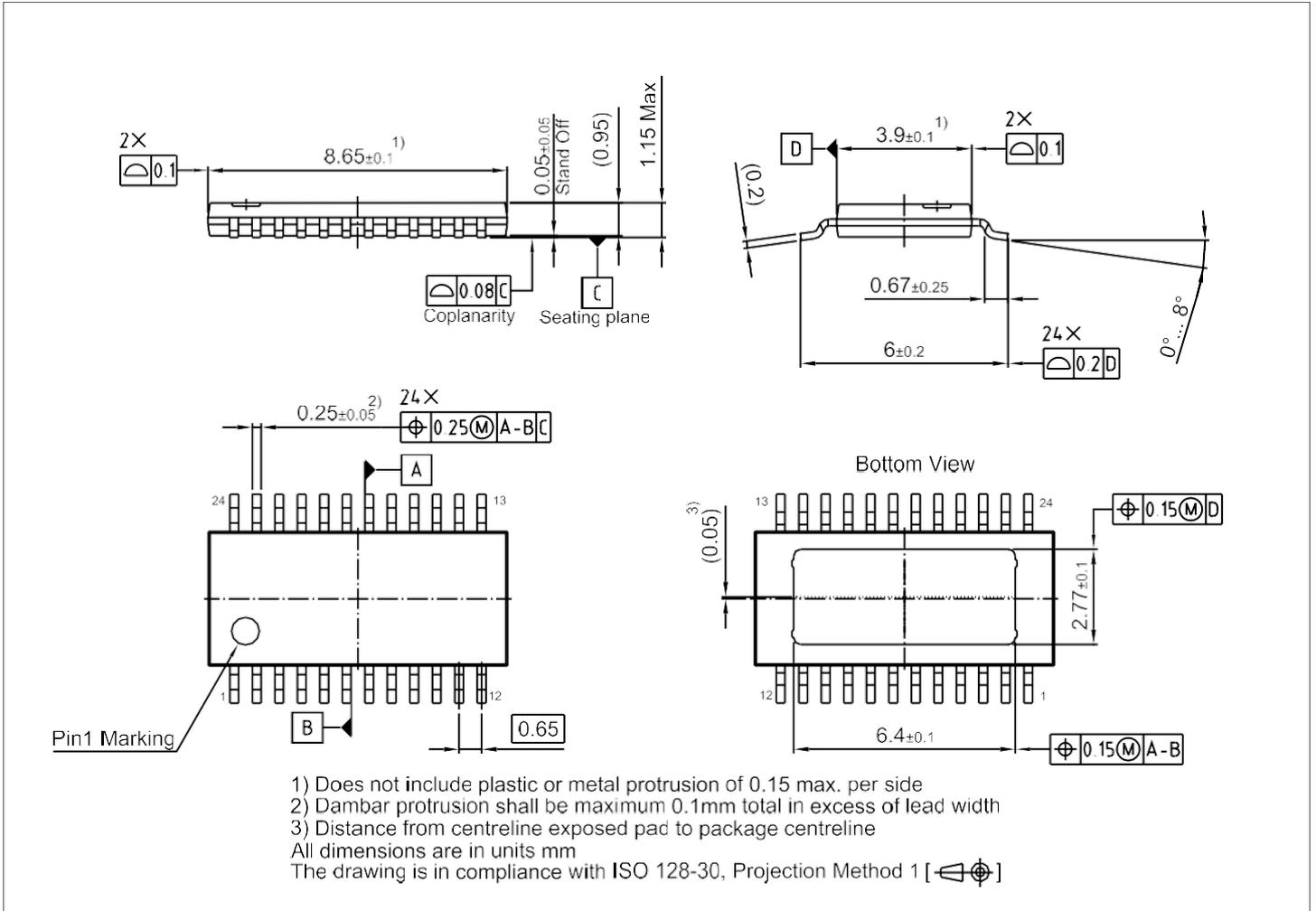


Figure 55 PG-TSDSO-24 (thin (slim) dual small outline 24 pins) package outline

12 封装外形

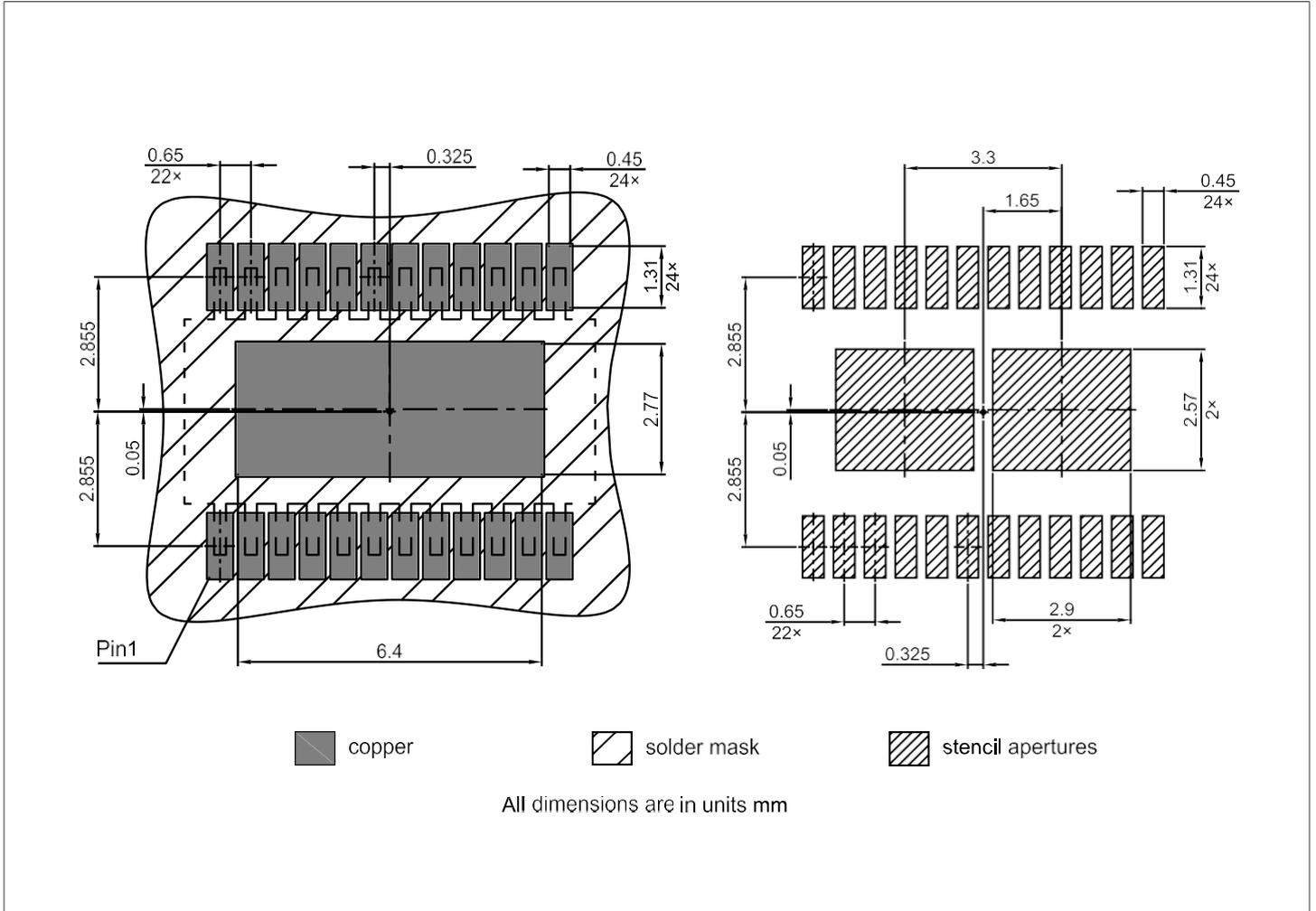


Figure 56 PG-TSDSO-24 (thin (slim) dual small outline 24 pins) package pads and stencil

为了满足全球客户对环保产品的要求，并遵守政府法规，该器件以绿色产品的形式提供。绿色产品符合RoHS标准（即，引线采用无铅涂层，并且符合IPC/JEDEC J-STD-020标准，适用于无铅焊接）。

13 修订记录

Document version	Date of release	Description of changes
Rev. 1.11	2025-04-30	Editorial changes
		Chapter "Idle mode" updated
		Equation for adjustment of overcurrent threshold ($t \geq t_{\text{sis(DIAG)}}$) updated
		PRQ-1499 updated (Parameter: Overcurrent threshold temperature coefficient \rightarrow Temperature coefficient for maximum overcurrent threshold calculation; Symbol: $k_{\text{TJ}} \rightarrow k_{\text{TJ_IL(OCT),MAX}$; Min./Typ./Max.: 1.201/1.216/1.226 \rightarrow -/1.226/-)
		PRQ-1588, PRQ-1594 added
		Figure "Open load in OFF timings - load disconnected" updated
Rev. 1.10	2025-03-06	Editorial changes
		PRQ-1109 updated (Min./Typ./Max.: 50/332/614 \rightarrow 44/342/640)
		PRQ-1110 updated (Min./Typ./Max.: -85%/41500/+85% \rightarrow -79%/42800/+79%)
		PRQ-1111 updated (Min./Typ./Max.: -30%/33600/+30% \rightarrow -21%/34500/+21%)
		PRQ-1112 updated (Min./Typ./Max.: -20%/32700/+20% \rightarrow -11%/33000/+11%)
		PRQ-1113 updated (Min./Max.: -15%/+15% \rightarrow -6%/+6%)
		PRQ-1114 updated (Min./Max.: -8%/+8% \rightarrow -5%/+5%)
		PRQ-1115 updated (Min./Max.: -8%/+8% \rightarrow -5%/+5%)
		PRQ-1116 updated (Min./Max.: -8%/+8% \rightarrow -5%/+5%)
		PRQ-1194 updated (Min./Max.: -4/4 \rightarrow -3/3)
		PRQ 1093 updated (Min./Typ./Max.: 180/211/243 \rightarrow 184.0/216.5/249.0; Note or condition: $t \geq t_{\text{sis(DIAG)}}$ added)
		PRQ-1094 updated (Min./Typ./Max.: 165/190/215 \rightarrow 169.0/199.5/230.0; Note or condition: $t \geq t_{\text{sis(DIAG)}}$ added)
		PRQ-1095 updated (Min./Typ./Max.: 140/161/182 \rightarrow 142.0/166.5/191.0; Note or condition: $t \geq t_{\text{sis(DIAG)}}$ added)
		PRQ-1096, PRQ-1097 updated (Typ.: 106 \rightarrow 108.5)
		PRQ-1099 updated (Name: Lowest configurable overcurrent detection threshold \rightarrow Lowest configurable overcurrent threshold detection at $T_J = -40^\circ\text{C}$; Min./Typ./Max.: 18/35/52 \rightarrow 26.0/40.0/54.0; Note or condition: $t \geq t_{\text{sis(DIAG)}}$ added)
		PRQ-1318 updated (Min./Typ./Max.: -/4.143/- \rightarrow 3.718/4.153/4.588)
		Figure "1s0p PCB cross section" updated
		Figure "2s2p PCB cross section" updated
		Figure "Diagnosis block diagram" updated
		PRQ-891 updated (Min./Max.: 0.44/0.55 \rightarrow 0.46/0.54)
PRQ-892 updated (Min./Max.: 0.48/0.69 \rightarrow 0.54/0.64)		

13 修订记录

		PRQ-872, PRQ-873 updated (Note or condition: $V_S = 14\text{ V}$; $T_{J(0)} = 85^\circ\text{C}$ added)
		PRQ-599 updated (Min./Max.: 7.2/52.6 → 6.5/55.6)
		PRQ-1499 updated (Min./Typ./Max.: -/-1.247/- → 1.201/1.216/1.226)
		PRQ-627 updated (Min./Typ./Max.: 3.33/3.64/3.94 → 3.40/3.68/3.97)
		PRQ-1534, PRQ-1511, PRQ-1541, PRQ-1516 added
		Table "Transition descriptions" updated
Rev. 1.00	2023-12-07	Datasheet available



免责声明

请注意，本文件的原文使用英文撰写，为方便客户浏览英飞凌提供了中文译文。该中文译文仅供参考，并不可作为任何论点之依据。

由于翻译过程中可能使用了自动化程序，以及语言翻译和转换过程中的差异，最后的中文译文与最新的英文版本原文含义可能存在不尽相同之处。

因此，我们同时提供该中文译文版本的最新英文原文供您阅读，请参见 <http://www.infineon.com>

英文原文和中文译文版本之间若存有任何歧异，以最新的英文版本为准，并且仅认可英文版本为正式文件。

您如果使用本文件，即表示您同意并理解上述说明。英飞凌不对因翻译过程中可能存在的任何不完整或不准确信息而产生的任何直接或间接损失或损害负责。英飞凌不承担中文译文版本的完整性和准确性责任。如果您不同意上述说明，请不要使用本文件。

Trademarks

All referenced product or service names and trademarks are the property of their respective owners.

重要通知

版本 2025-12-24

Infineon Technologies AG 出版，
德国 Neubiberg 85579

版权 © 2025 Infineon Technologies AG
及其关联公司。
保留所有权利。

Do you have a question about this
document?

Email:

erratum@infineon.com

Infineon Technologies AG 及其关联公司（以下简称“英飞凌”）销售或提供和交付的产品（可能也包括样品，且可能由硬件或软件或两者组成）（以下简称“产品”），应遵守客户与英飞凌签订的框架供应合同或其他书面协议的条款和条件，如无上合同或其他书面协议，则应遵守适用的英飞凌销售条件。只有在英飞凌明确书面同意的情况下，客户的一般条款和条件或对适用的英飞凌销售条件的偏离才对英飞凌具有约束力。

为避免疑义，英飞凌不承担不侵犯第三方权利的所有保证和默示保证，例如对特定用途/目的的适用性或适销性的保证。

英飞凌对与样品、应用或客户对任何产品的具体使用有关的任何信息或本文件中给出的任何示例或典型值概不负责。

本文件中包含的数据仅供具有技术资格和技能的客户代表使用。客户有责任评估产品对预期应用和客户特定用途的适用性，并在预期应用和客户特定用途中验证本文件中包含的所有相关技术数据。客户有责任正确设计、编程和测试预期应用的功能性和安全性，并遵守与其使用相关的法律要求。

除非英飞凌另行明确批准，否则产品不得用于任何因产品故障或使用产品的任何后果可合理预期会导致人身伤害的应用。但是，上述规定并不妨碍客户在英飞凌明确设计和销售的使用领域中使用任何产品，但是客户对应用负有全部责任。

英飞凌明确保留根据适用法律，如《德国版权法》（UrhG）第 44b 条，将其内容用于商业资料和数据探勘（TDM）的权利。

如果产品包含安全功能：

由于任何计算设备都不可能绝对安全，尽管产品采取了安全措施，但英飞凌不保证产品不会被入侵、数据不会被盗或遗失，或不会发生其他漏洞（以下简称“安全漏洞”），英飞凌对任何安全漏洞不承担任何责任。

如果本文件包含或引用软件：

根据美国、德国和世界其他国家的知识产权法律和条约，该软件归英飞凌所有。英飞凌保留所有权利。因此，您只能按照软件附带的软件授权协议的规定使用本软件。

如果没有适用的软件授权协议，英飞凌特此授予您个人的、非排他性的、不可转让的软件知识产权授权（无权转授权）：(a) 对于以源代码形式提供的软件，仅在贵组织内部修改和复制该软件用于英飞凌硬件产品；及 (b) 对于以二进制代码 (binary code) 形式对外向终端用户分发该软件，仅得用于英飞凌硬件产品。禁止对本软件进行任何其他使用、复制、修改、翻译或编译。有关产品、技术、交货条款和条件以及价格的详细信息，请联系离您最近的英飞凌办公室或访问 <https://www.infineon.com>。