英飞凌PROFET™ +2 12 V, 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
- PROFET™ +2 12V 系列产品之一
- 绿色产品：符合 RoHS 标准

潜在应用

- 适用于阻性、感性和容性负载
- 取代继电器、保险丝和分立电路
- 驱动能力适用于 6.5 A 负载和高浪涌电流负载

产品验证

汽车应用认证。产品依据AEC-Q100 Grade 1 进行验证。

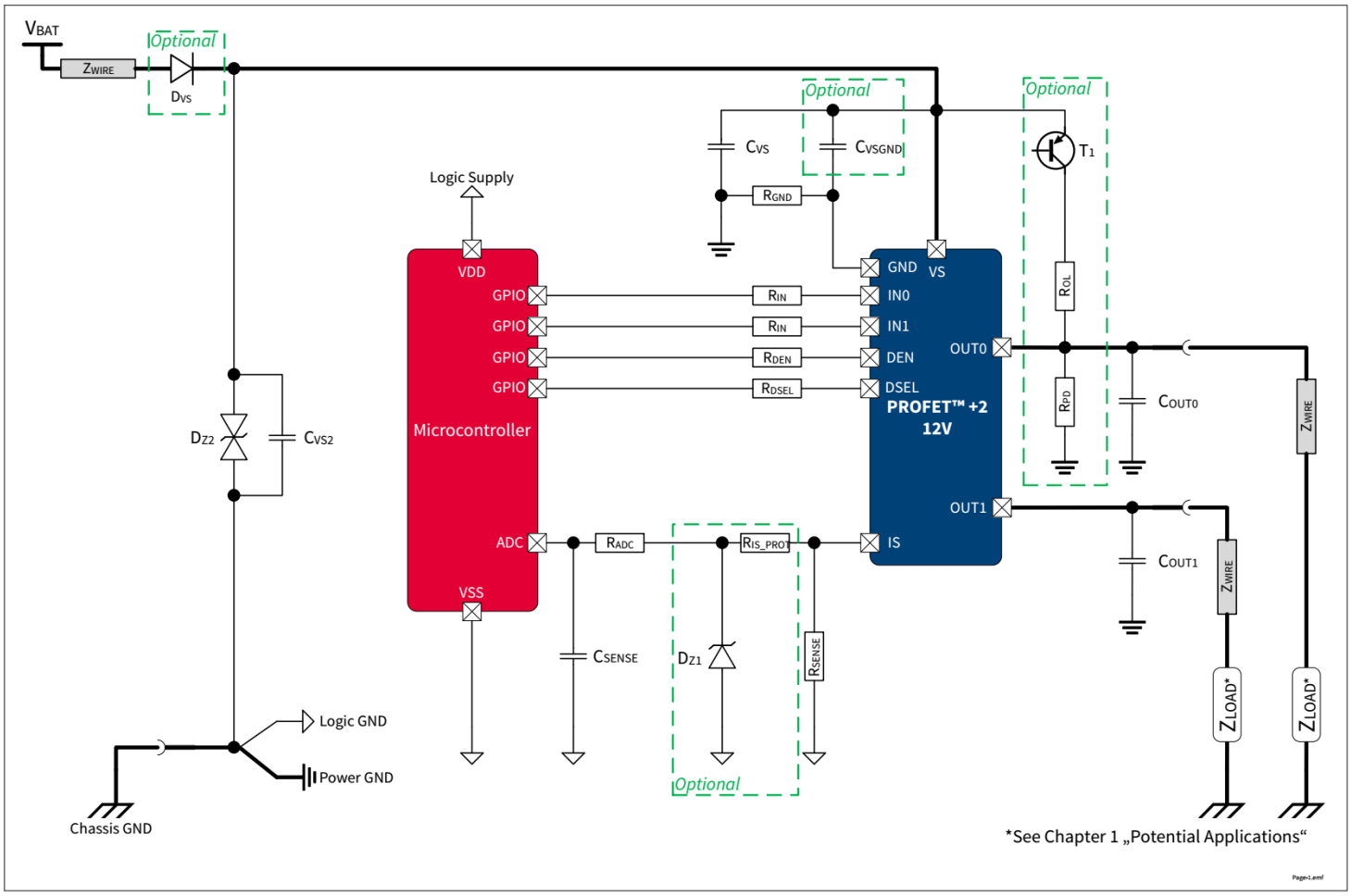


RoHS

AEC Qualified

描述

英飞凌CTS1010-2EPA 是一款智能高边功率开关，提供保护功能和诊断功能。



Type	Package	Marking
CTS1010-2EPA	PG-TSDSO-14	C1010-2A

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
2 框图和术语 6
2.1 框图 6
2.2 术语 7
3 引脚配置 8
3.1 引脚分配 8
3.2 引脚定义和功能 9
4 产品一般特性 10
4.1 绝对最大额定值 - 通用 10
4.2 绝对最大额定值 - 功率级 11
4.2.1 功率级 - 10 mΩ 11
4.3 工作范围 12
4.4 热阻抗 12
4.4.1 PCB 设置 13
4.4.2 热阻抗 14
5 逻辑引脚 15
5.1 输入引脚 (INn) 15
5.2 诊断引脚 16
5.3 电气特性逻辑引脚 16
6 电源 17
6.1 操作模式 17
6.1.1 未上电 18
6.1.2 上电 18
6.1.3 休眠模式 18
6.1.4 待机模式 18
6.1.5 活动模式 18
6.2 V_S欠压 19
6.3 电源电气特性参数 20
6.4 电气特性电源 - 产品特定 21
6.4.1 CTS1010-2EPA 21
7 功率级 22
7.1 输出导通电阻 22
7.2 开关负载 23
7.2.1 驱动阻性负载 23
7.2.2 驱动感性负载 24
7.2.3 输出电压限制 24

目录

7.3 开关特性 25
7.3.1 并行切换通道 25
7.3.2 H桥配置的跨电流鲁棒性 26
7.4 功率开关电气特性 27
7.4.1 电气特性功率级 - PROFET™ 27
7.5 电气特性 - 功率输出级 28
7.5.1 功率输出级 - 10 mΩ 28
8 保护措施 30
8.1 过温保护 30
8.2 过载保护 31
8.3 故障保护与诊断 34
8.3.1 重启策略 34
8.4 其他保护 37
8.4.1 反接保护 37
8.4.2 过压保护 37
8.5 防止连接丢失 37
8.5.1 掉电和负载连接断开 37
8.5.2 地线丢失 38
8.6 电气特性保护参数 39
8.6.1 电气特性保护参数 - PROFET™ 39
8.7 电气特性保护 - 功率输出级 40
8.7.1 保护功率输出级 - 10 mΩ 40
9 诊断 41
9.1 概述 41
9.1.1 SENSE 信号真值表 42
9.2 通道打开时诊断 43
9.2.1 电流采样 (k_{ILIS}) 43
9.2.2 故障电流 ($I_{IS(FAULT)}$) 44
9.3 通道关闭时诊断 45
9.3.1 开路负载电流 ($I_{IS(OLOFF)}$) 46
9.4 诊断时序 47
9.5 诊断电气特性参数 49
9.5.1 诊断电气特性参数 - PROFET™ 50
9.6 电气特性诊断 - 功率输出级 51
9.6.1 诊断功率输出级 - 10 mΩ 51
10 应用信息 53
10.1 应用电路简图 53
10.2 外部组件 54
10.3 附加申请信息 55
11 封装外形 56

目录

修订记录 58
免责声明..... 59

1 产品描述

更多功能详细描述如下：

保护功能

- 绝对过温保护和动态过温保护，带控制重启
- 具有智能重启控制的过流保护（跳闸）
- 欠压关断
- 采用外部元器件的过压保护

诊断特征

- 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检测

Table 1 Product Summary

Parameter	Symbol	Values
Minimum Operating voltage (at switch ON)	$V_{S(OP)}$	5.0 V
Minimum Operating voltage (cranking)	$V_{S(UV)}$	4.8 V
Maximum Operating voltage	V_S	28 V
Minimum Overvoltage protection ($T_J \geq 25$ °C)	$V_{DS(CLAMP)_25}$	35 V
Maximum current in Sleep mode ($T_J \leq 85$ °C)	$I_{VS(SLEEP)_85}$	0.6 µA
Maximum operative current	$I_{GND(ACTIVE)}$	4 mA
Maximum ON-state resistance ($T_J = 150$ °C)	$R_{DS(ON)_150}$	19.5 mΩ
Nominal load current per channel ($T_A = 85$ °C)	$I_{L(NOM)}$	6.5 A
Nominal load current with resistive load per channel ($T_A = 85$ °C)	$I_{L(NOM)_R}$	7 A
Typical current sense ratio at $I_L = I_{L(NOM)}$	k_{ILIS}	5000

2 框图和术语

2.1 框图

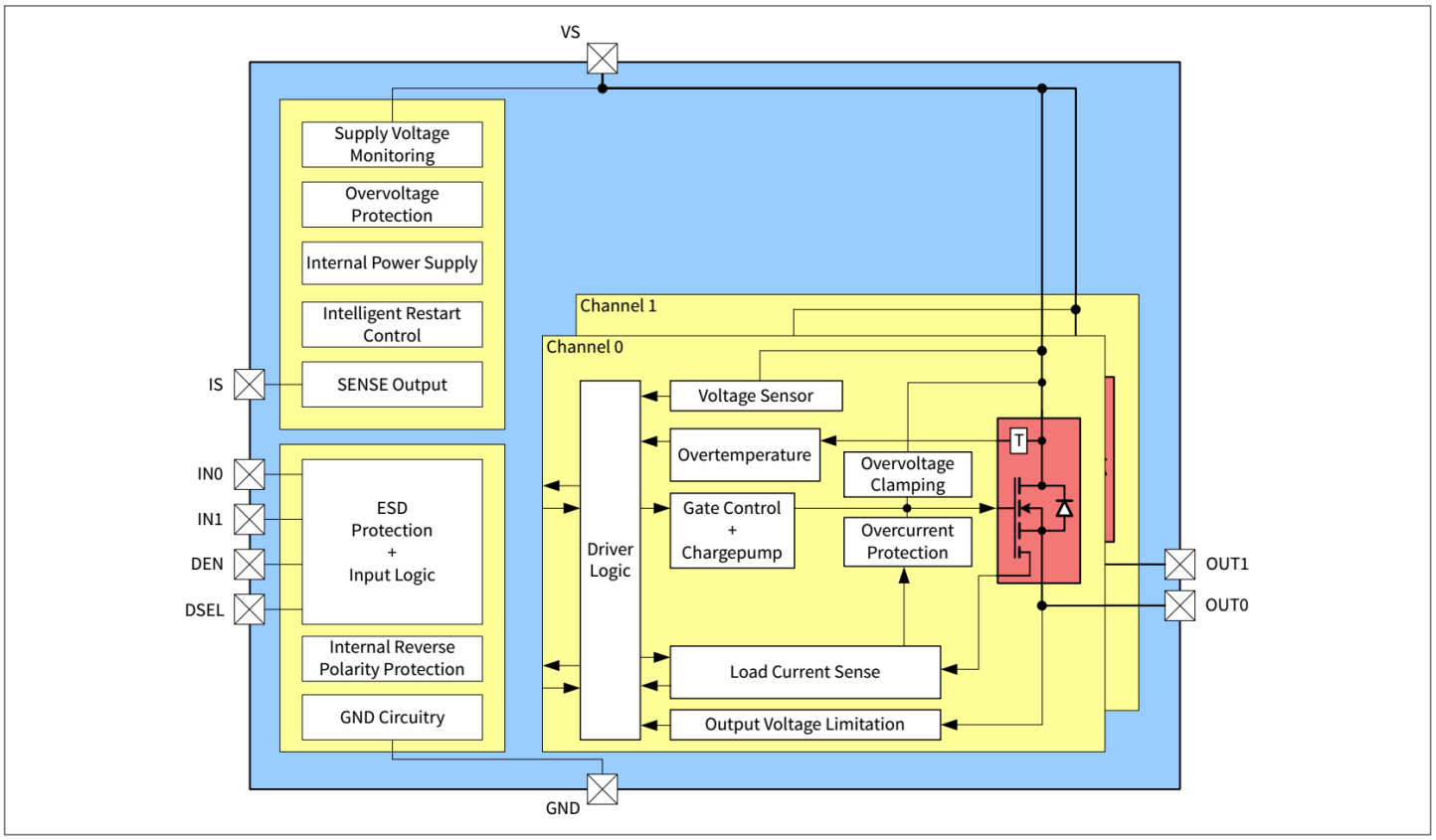


Figure 2 Block Diagram of CTS1010-2EPA

2.2 术语

图 3 显示了本数据手册中使用的所有术语，以及正值的相关约定。

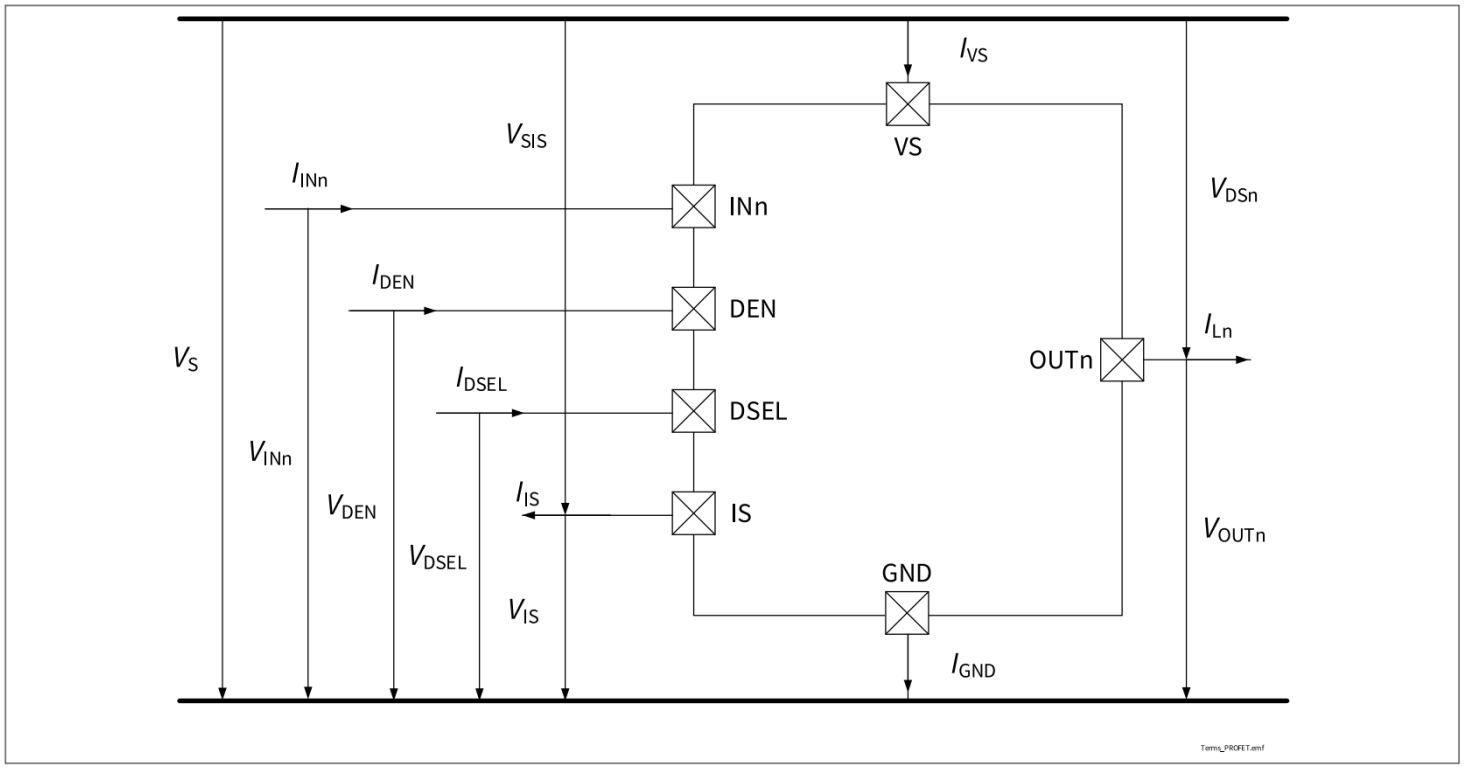


Figure 3 Voltage and Current Convention

3 引脚配置

3.1 引脚分配

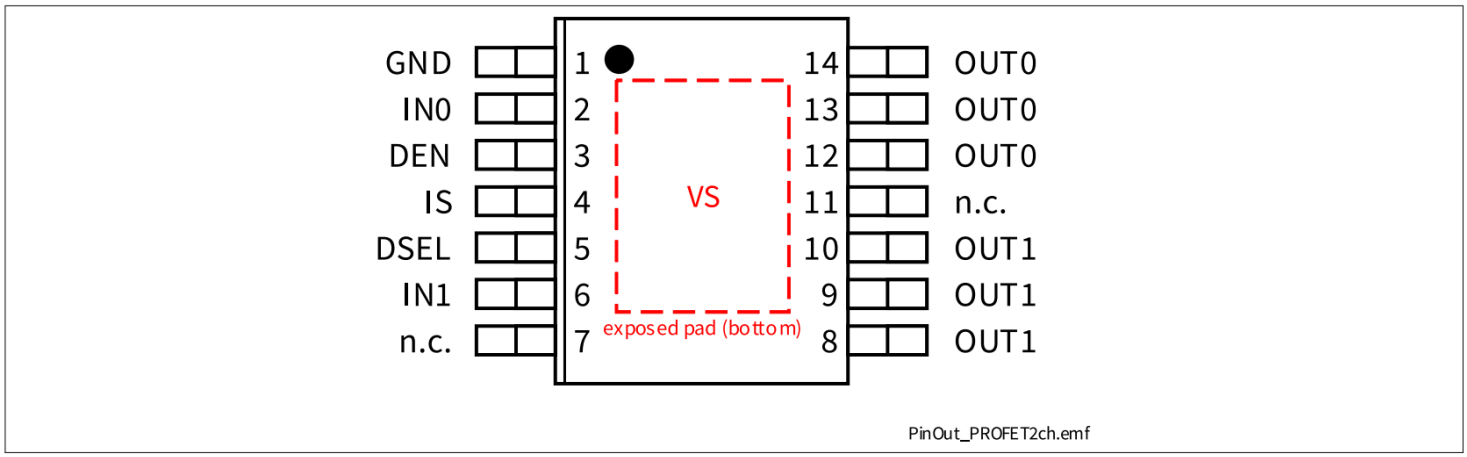


Figure 4 Pin Configuration

3.2 引脚定义和功能

Table 2 Pin Definition

Pin	Symbol	Function
EP	VS (exposed pad)	**Supply Voltage** Battery voltage
1	GND	**Ground** Signal ground
2, 6	INn	**Input Channel n** Digital signal to switch ON channel n (“high” active) If not used: connect with a 10 kΩ resistor either to GND pin or to module ground
3	DEN	**Diagnostic Enable** Digital signal to enable device diagnosis (“high” active) and to clear the protection counter of channel selected with DSEL pin If not used: connect with a 10 kΩ resistor either to GND pin or to module ground
4	IS	**SENSE current output** Analog/digital signal for diagnosis If not used: left open
5	DSEL	**Diagnosis Selection** Digital signal to select one channel to perform ON and OFF state diagnosis (“high” active) If not used: connect with a 10 kΩ resistor either to GND pin or to module ground
7, 11	n.c.	Not connected, internally not bonded
8-10, 12-14	OUTn	**Output n** Protected high-side power output channel n[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 - 通用

Table 3 Absolute maximum ratings

T_J = -40 °C 到 +150 °C；所有电压均以地为参考，正电流流入引脚（除非另有规定）

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or Test Condition	Number
		Min.	Typ.	Max.			
Supply pins							
Power Supply Voltage	V_S	-0.3	–	28	V	–	P_4.1.0.1
Load Dump Voltage	$V_{BAT(LD)}$	–	–	35	V	suppressed Load Dump acc. to ISO16750-2 (2010). R_i = 2 Ω	P_4.1.0.3
Reverse Polarity Voltage	$V_{BAT(REV)}$	-14	–	–	V	t_{REV} ≤ 2 min T_A = 25 °C $\|I_L\|$ < 5 A Setup described in Chapter 10	P_4.1.0.38
Supply Voltage for Short Circuit Protection	$V_{BAT(SC)}$	0	–	24	V	Setup acc. to AEC-Q100-012	P_4.1.0.25
Current through GND Pin	I_{GND}	-50	–	50	mA	R_{GND} according to Chapter 10	P_4.1.0.9
Logic & control pins (Digital Input = DI) **DI = INn, DEN, DSEL**							
Current through DI Pin	I_{DI}	-1	–	2	mA	1)	P_4.1.0.14
Current through DI Pin Reverse Battery Condition	$I_{DI(REV)}$	-1	–	10	mA	1) t ≤ 2 min	P_4.1.0.36
IS pin							
Voltage at IS Pin	V_{IS}	-1.5	–	V_S	V	I_{IS} = 10 µA	P_4.1.0.16
Current through IS Pin	I_{IS}	-25	–	$I_{IS(SAT),MAX}$	mA	–	P_4.1.0.18
Temperatures							
Junction Temperature	T_J	-40	–	150	°C	–	P_4.1.0.19
Storage Temperature	T_{STG}	-55	–	150	°C	–	P_4.1.0.20
ESD Susceptibility							
ESD Susceptibility all Pins (HBM)	$V_{ESD(HBM)}$	-2	–	2	kV	HBM2)	P_4.1.0.21

（表格续下页...）

Table 3 （continued） Absolute maximum ratings

T_J = -40 °C 到 +150 °C；所有电压均以地为参考，正电流流入引脚（除非另有规定）

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or Test Condition	Number
		Min.	Typ.	Max.			
ESD Susceptibility OUTn vs GND and VS connected (HBM)	$V_{ESD(HBM)_OUT}$	-4	–	4	kV	HBM[2]	P_4.1.0.22
ESD Susceptibility all Pins (CDM)	$V_{ESD(CDM)}$	-500	–	500	V	CDM[3]	P_4.1.0.23
ESD Susceptibility Corner Pins (CDM) (pins 1, 7, 8, 14)	$V_{ESD(CDM)_CRN}$	-750	–	750	V	CDM[3]	P_4.1.0.24

1) 最大允许的 V_{DI} 用于 Latch-Up 测试：5.5 V
2) 静电放电 ESD，人体模型 “HBM”，符合 AEC Q100-002 标准。
3) 静电放电 ESD，充电模型 “CDM”，符合 AEC Q100-011 标准。

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在数据表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。*

4.2 绝对最大额定值 - 功率级

4.2.1 功率级 - 10 mΩ

Table 4 Absolute Maximum Ratings

T_J = -40 °C 到 +150 °C；所有电压均以地为参考，正电流流入引脚（除非另有规定）

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or Test Condition	Number
		Min.	Typ.	Max.			
Maximum Energy Dissipation Single Pulse	E_{AS}	–	–	55	mJ	$I_L = 2*I_{L(NOM)}$ $T_{J(0)} = 150$ °C $V_S = 28$ V	P_4.2.2.1
Maximum Energy Dissipation Repetitive Pulse	E_{AR}	–	–	22	mJ	$I_L = I_{L(NOM)}$ $T_{J(0)} = 85$ °C $V_S = 13.5$ V 1M cycles	P_4.2.2.2
Load Current	$\|I_L\|$	–	–	$I_{L(OVL),MAX}$	A	–	P_4.2.2.3

4.3 工作范围

Table 5 Functional Range - Supply Voltage and Temperature

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or Test Condition	Number
		Min.	Typ.	Max.			
Supply Voltage Range for Normal Operation	$V_{S(NOR)}$	6	13.5	18	V	–	P_4.3.0.1
Lower Extended Supply Voltage Range for Operation	$V_{S(EXT,LOW)}$	4.8	–	6	V	1) (parameter deviations possible)	P_4.3.0.2
Upper Extended Supply Voltage Range for Operation	$V_{S(EXT,UP)}$	18	–	28	V	1) (parameter deviations possible)	P_4.3.0.3
Junction Temperature	T_J	-40	–	150	°C	–	P_4.3.0.5

1) Protection functions still operative.

注释： *在功能或者工作范围内，芯片IC 按照电路描述正常工作。电气特性是在电气特性表中注明的条件下指定的。*

4.4 热阻抗

注释： *热学数据是根据 JEDEC JESD51 标准生成的。如需了解更多信息，请访问 http://www.jedec.org。*

Table 6 Thermal Resistance

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or Test Condition	Number
		Min.	Typ.	Max.			
Thermal Characterization Parameter Junction-Top	Ψ_{JTOP}	–	1.9	3.1	K/W	1)	P_4.4.0.1
Thermal Resistance Junction-to-Case	R_{thJC}	–	1	1.7	K/W	1) simulated at exposed pad	P_4.4.0.2
Thermal Resistance Junction-to-Ambient	R_{thJA}	–	31	–	K/W	1)	P_4.4.0.3

1) 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 ×114.3 × 1.5 mm 板子上进行仿真，内部有2个铜层（2 × 70 µm Cu, 2 × 35 µm Cu）。在适用的情况下，exposed pad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°C，$P_{DISSIPATION}$ = 1 W 条件下进行的。

4.4.1 PCB 设置

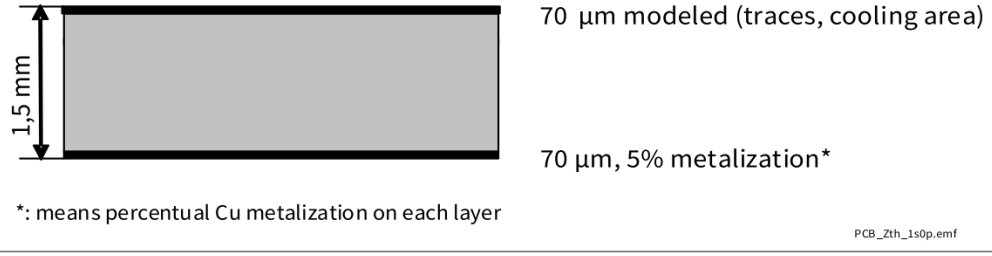


Figure 5 1s0p PCB Cross Section

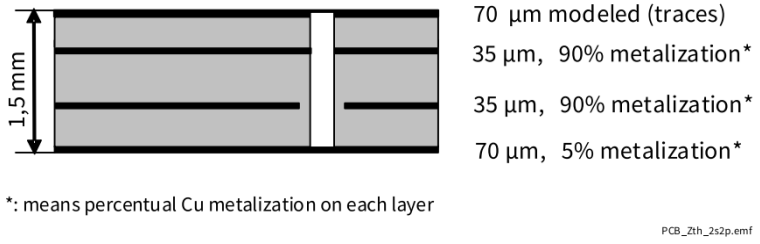


Figure 6 2s2p PCB Cross Section

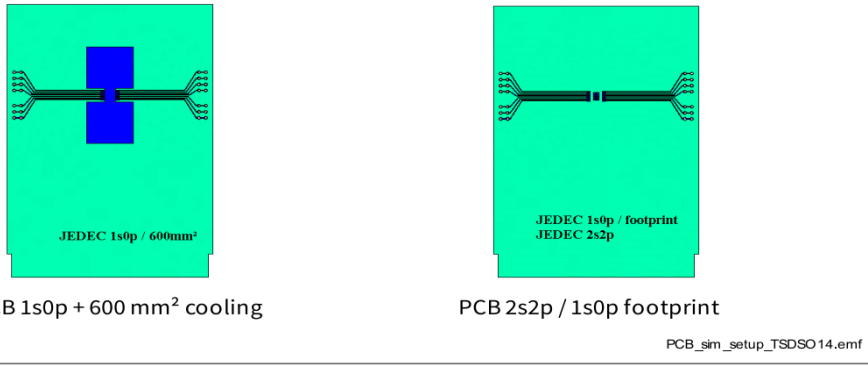


Figure 7 PCB setup for thermal simulations

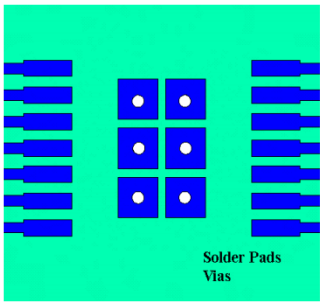


Figure 8 Thermal vias on PCB for 2s2p PCB setup

4.4.2 热阻抗



Figure 9 Typical Thermal Impedance. PCB setup according Chapter 4.4.1

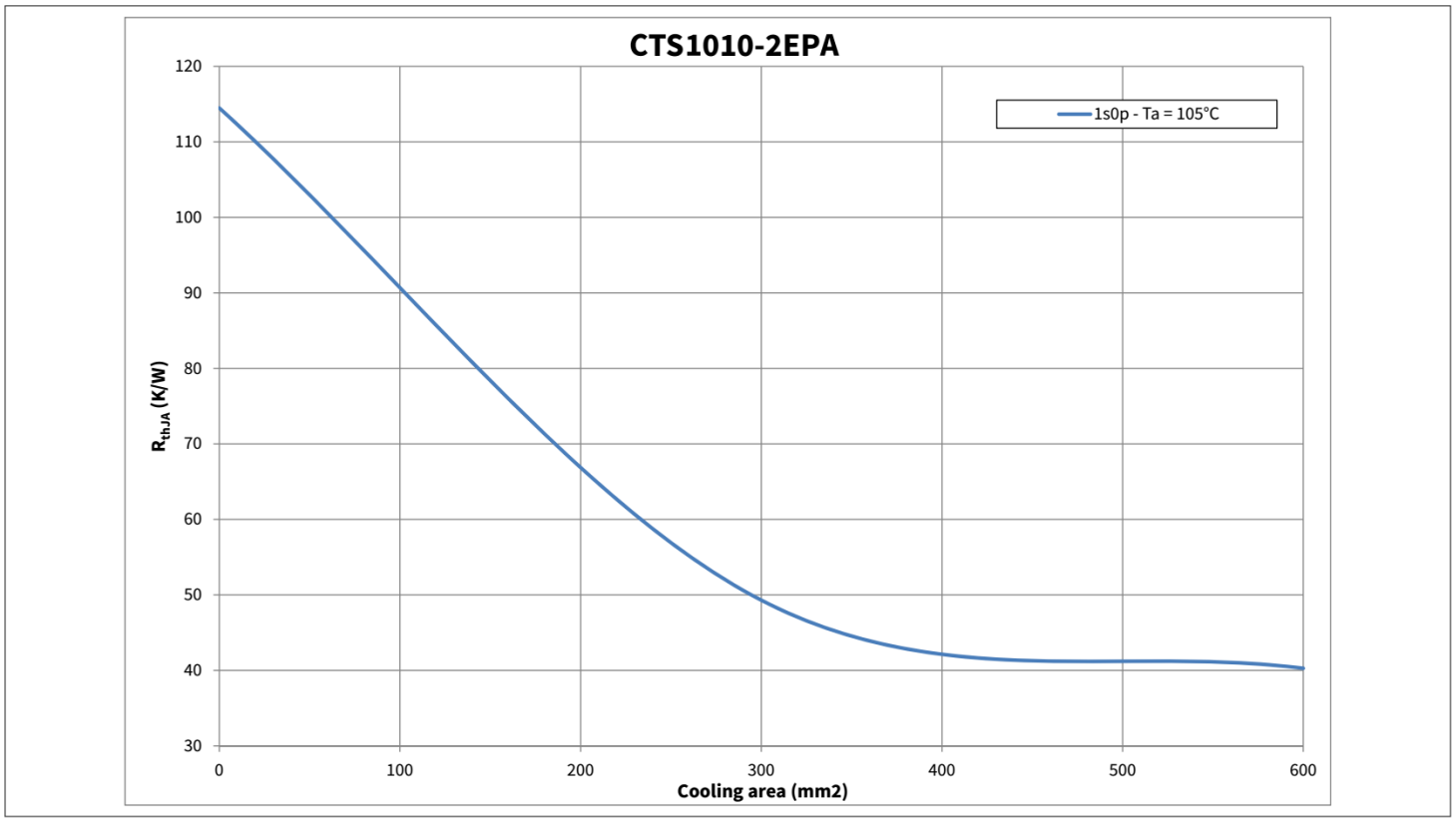


Figure 10 Thermal Resistance on 1s0p PCB with various cooling surfaces

5 逻辑引脚

该器件有 4 个数字引脚用于直接控制。

5.1 输入引脚（INn）

输入引脚 IN0，IN1 激活相应的输出通道。输入电路与 3.3V MCU 和 5V MCU 兼容（参见 章节 10 了解完整的应用电路框图）。输入电路的等效电路如图 11所示。如果该引脚不使用，则必须使用10 kΩ 电阻将其连接到GND引脚或模块地。

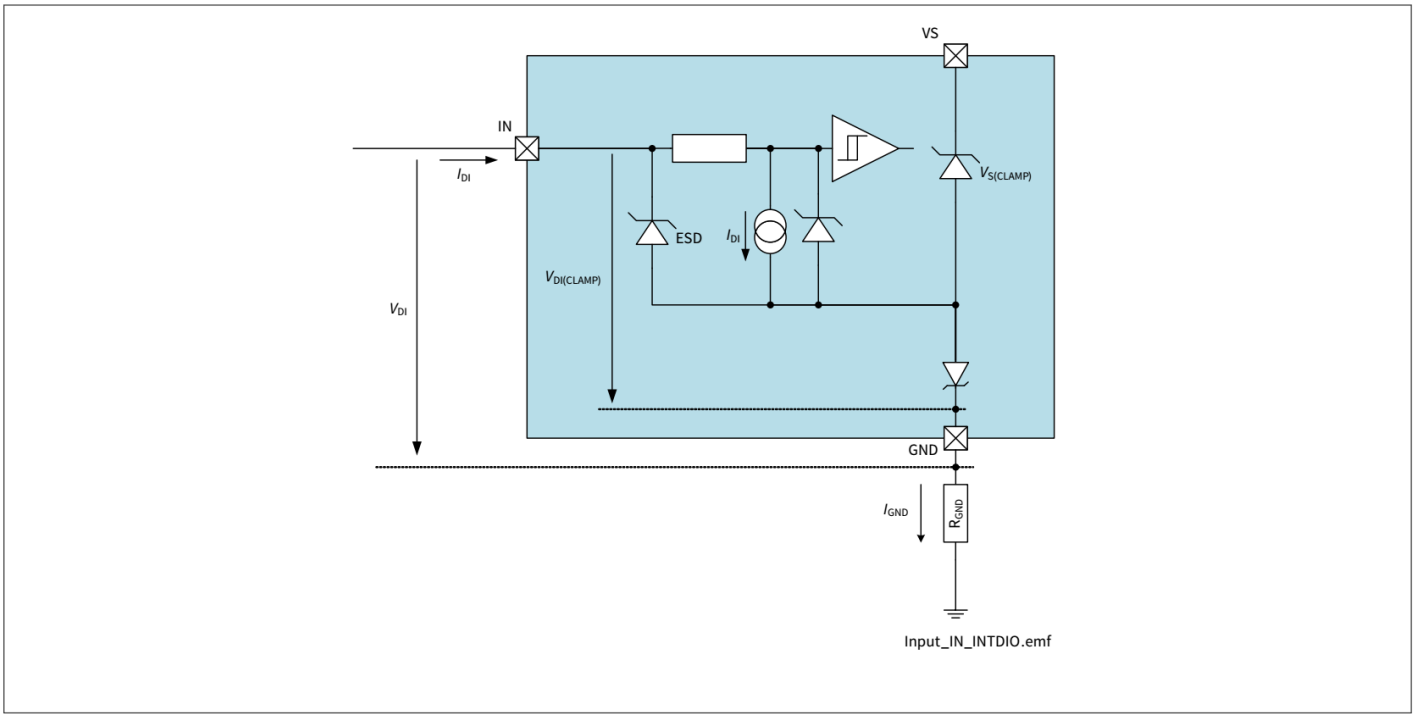


Figure 11 Input circuitry

“低电平”和“高电平”状态的逻辑阈值由参数$V_{DI(TH)}$和$V_{DI(HYS)}$定义。这两个值之间的关系如图 12 所示。确保“高电平”状态所需的电压V_{IN}始终高于确保“低电平”状态所需的电压。



Figure 12 Input Threshold voltages and hysteresis

5.2 诊断引脚

诊断使能（DEN）引脚控制诊断电路和保护电路。当 DEN 引脚置位为“高”时，诊断是启用的（参见 第 9.2 章 了解更多详情）。当置位为“低电平”时，诊断禁用（IS 引脚置位为高阻态）。

诊断选择（DSEL）引脚选择执行诊断的通道（参见 第 9.1.1 章）。

DEN 引脚从“高电平"到“低电平”的转变会清除 DSEL 引脚选择的通道的保护锁存器，具体取决于输入引脚 IN的逻辑状态和 DEN引脚的脉冲长度（参见 第 8.3 章 了解更多详情）。诊断引脚的内部结构与输入引脚相同。参见 图 11 了解更多细节。

5.3 电气特性逻辑引脚

V_S = 6 V 到 18 V，T_J = -40 °C 到 +150 °C

典型值：V_S = 13.5 V，T_J = 25 °C

数字输入控制（DI）引脚 = IN, DEN, DSEL

Table 7 Electrical Characteristics: Logic Pins - General

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or Test Condition	Number
		Min.	Typ.	Max.			
Digital Input Voltage Threshold	$V_{DI(TH)}$	0.8	1.3	2	V	See Figure 11 and Figure 12	P_5.4.0.1
Digital Input Clamping Voltage	$V_{DI(CLAMP1)}$	–	7	–	V	I_{DI} = 1 mA See Figure 11 and Figure 12	P_5.4.0.2
Digital Input Clamping Voltage	$V_{DI(CLAMP2)}$	6.5	7.5	8.5	V	I_{DI} = 2 mA See Figure 11 and Figure 12	P_5.4.0.3
Digital Input Hysteresis	$V_{DI(HYS)}$	–	0.25	–	V	See Figure 11 and Figure 12	P_5.4.0.4
Digital Input Current (“high”)	$I_{DI(H)}$	2	10	25	µA	V_{DI} = 2 V See Figure 11 and Figure 12	P_5.4.0.5
Digital Input Current (“low”)	$I_{DI(L)}$	2	10	25	µA	V_{DI} = 0.8 V See Figure 11 and Figure 12	P_5.4.0.6

6 电源

CTS1010-2EPA由V_S供电，不仅用于内部逻辑，还用于功率输出级供电。具有欠压检测电路，当V_S电压低于欠压阈值时，该电路可禁止功率输出级的激活和诊断。

6.1 操作模式

CTS1010-2EPA有以下工作模式：

- 休眠模式
- 活动模式
- 待机模式

操作模式之间的转换根据以下变量确定：

- INn 引脚上的逻辑电平
- DEN 引脚上的逻辑电平

状态图包括可能的跳转如图 13所示。CTS1010-2EPA的行为以及一些参数可能会根据芯片的操作模式而发生变化。此外，由于监控电源V_S电压的欠压检测电路，同一操作模式下，可以观察到一些参数的变化。

有三个参数描述CTS1010-2EPA的每个操作模式：

- 输出通道状态
- 诊断状况
- VS 引脚上的消耗电流（在睡眠模式下通过 I_{VS} 测量，其他所有工作模式下通过 I_{GND} 测量）。

表8 显示了在不同工作模式下, 电源电压V_S和最重要的功能（通道状态，诊断）的关系。

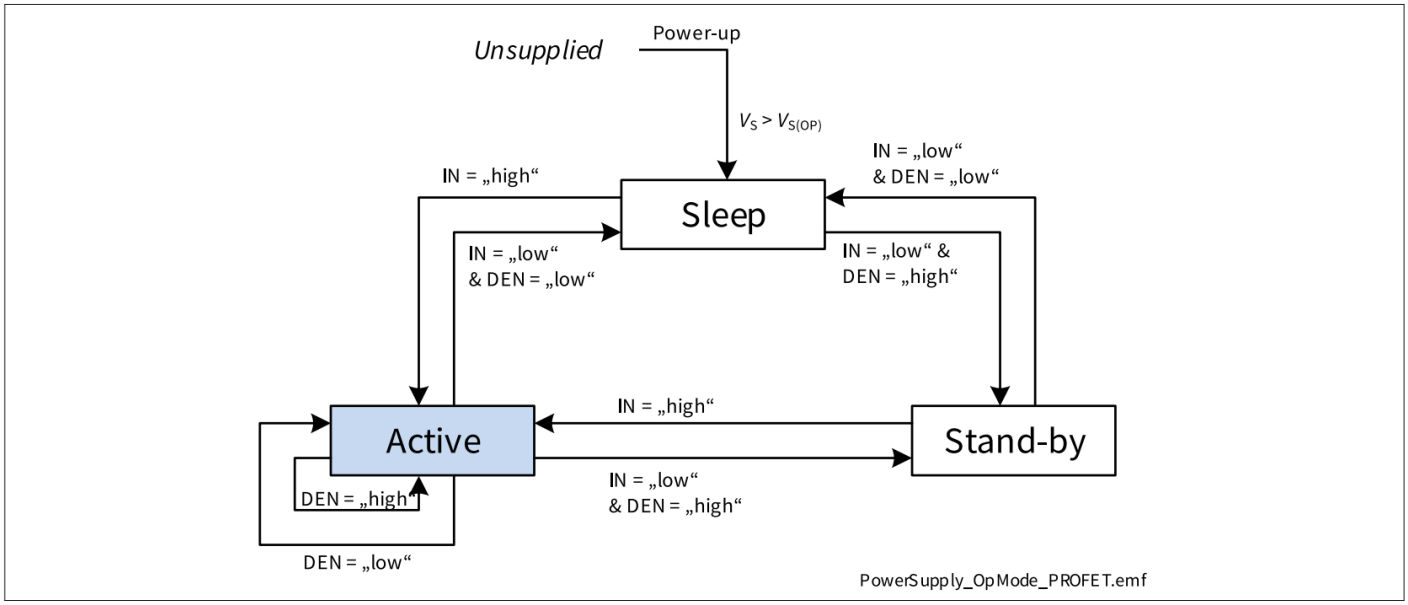


Figure 13 Operation mode state diagram

Table 8 Device function in relation to operation modes and V_S voltage

Operative Mode	Function	V_S in undervoltage	V_S not in undervoltage
Sleep	Channels	OFF	OFF

（表格续下页.....）

Table 8 (continued) Device function in relation to operation modes and V_S voltage

Operative Mode	Function	V_S in undervoltage	V_S not in undervoltage
	Diagnosis	OFF	OFF
Active	Channels	OFF	available
	Diagnosis	OFF	available in OFF and ON states
Stand-by	Channels	OFF	OFF
	Diagnosis	OFF	available in OFF state

6.1.1 未上电

在此状态下，器件要么未上电（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（INn、DEN、DSEL）均置位至“低电平”时，器件处于休眠模式。当 CTS1010-2EPA 处于休眠模式时，所有输出通道均关闭。消耗电流最小（参见参数$I_{VS(SLEEP)}$）。当器件处于休眠模式时，没有过温或过载保护机制。仅当没有保护激活时，器件才能进入休眠模式（计数器 = 0，请参见第 8.3.1 章 了解更多详情）。

6.1.4 待机模式

当 DEN 引脚置位为“高电平”且输入引脚置位为“低电平”时，器件处于待机模式。通道处于关闭状态，可进行关断状态下负载开路诊断。根据负载工况，IS 引脚可能出现故障电流 $I_{IS(FAULT)}$ 或负载开路电流 $I_{IS(OLOFF)}$ 状态。在待机模式下，器件的消耗电流增加。

6.1.5 活动模式

活动模式是CTS1010-2EPA的正常工作模式。一旦一个输入引脚IN置位为“高”，器件就会进入活动模式。器件消耗电流由$I_{GND(ACTIVE)}$指定（在 GND 引脚处测量，因为 Vs 引脚处的电流包括负载电流）。过载、过温和过压保护都是有激活的。也可以进行诊断。

6.2 Undervoltage on V_S

在$V_{S(OP)}$和$V_{S(UV)}$ 之间 ，欠压机制被触发。如果器件工作（在活动模式下）并且供电电压低于欠压阈值$V_{S(UV)}$ ，则内部逻辑将关闭输出通道。

一旦供电电压V_S高于工作阈值$V_{S(OP)}$，相应输入引脚置位为“高”的通道将再次开启。具有重启延迟时间$t_{DELAY(UV)}$ ，当欠压情况由短路事件引起时（根据AEC -Q100-012），可保护器件，如图 14 所示。

如果器件处于休眠模式，且一个输入置位为“高”，则当V_S>$V_{S(OP)}$时，相应的通道导通，无需等待$t_{DELAY(UV)}$。

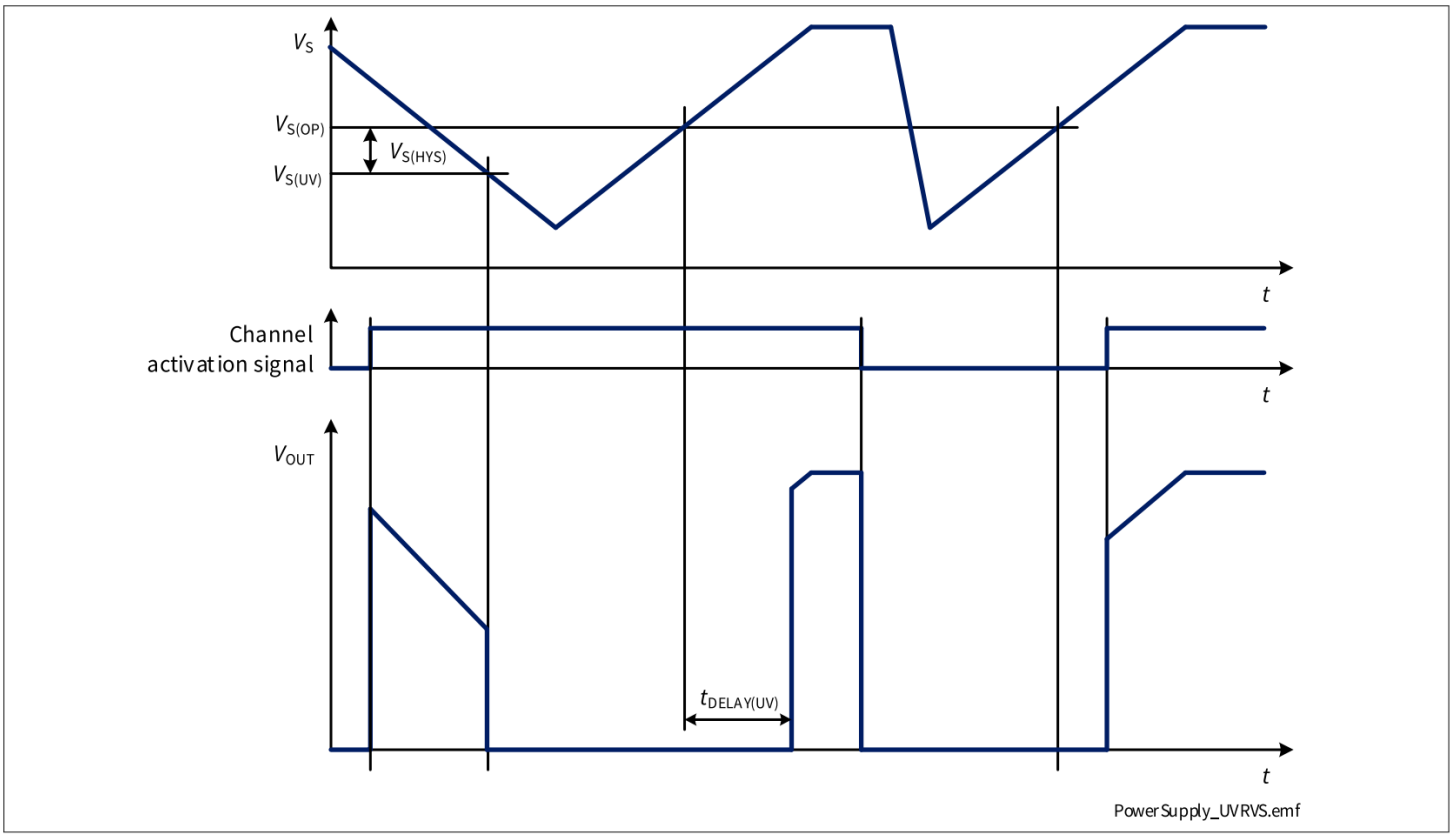


Figure 14 V_S undervoltage behavior

6.3 电源电气特性参数

V_S = 6 V 到 18 V，T_J = -40 °C 到 +150 °C

典型值：V_S = 13.5 V，T_J = 25 °C

测试条件是典型阻性负载连接到输出（除非另外说明）：R_L = 3.3 Ω

Table 9 Electrical Characteristics: Power Supply - General

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or Test Condition	Number
		Min.	Typ.	Max.			
VS pin							
Power Supply Undervoltage Shutdown	$V_{S(UV)}$	1.8	2.3	4.8	V	V_S decreasing IN = “high” From $V_{DS} \le$ 0.5 V to $V_{DS} = V_S$ See Figure 14	P_6.4.0.1
Power Supply Minimum Operating Voltage	$V_{S(OP)}$	2.0	3.0	5.0	V	V_S increasing IN = “high” From $V_{DS} = V_S$ to $V_{DS} \le$ 0.5 V See Figure 14	P_6.4.0.3
Power Supply Undervoltage Shutdown Hysteresis	$V_{S(HYS)}$	–	0.7	–	V	$V_{S(OP)} - V_{S(UV)}$ See Figure 14	P_6.4.0.6
Power Supply Undervoltage Recovery Time	$t_{DELAY(UV)}$	2.5	5	7.5	ms	$dV_S/dt \le$ 0.5 V/µs $V_S \ge$ -1 V See Figure 14	P_6.4.0.7

6.4 电气特性电源 - 产品特定

V_S = 6 V 到 18 V，T_J = -40 °C 到 +150 °C

典型值：V_S = 13.5 V，T_J = 25 °C

测试条件是典型阻性负载连接到输出（除非另外说明）：R_L = 3.3 Ω

6.4.1 CTS1010-2EPA

Table 10 Electrical Characteristics: Power Supply CTS1010-2EPA

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or Test Condition	Number
		Min.	Typ.	Max.			
Power Supply Current Consumption in Sleep Mode with Loads at $T_J \leq 85$ °C	$I_{VS(SLEEP)_85}$	–	0.03	0.6	µA	V_S = 18 V V_{OUT} = 0 V IN = DEN = “low” $T_J \leq 85$ °C	P_6.5.2.1
Power Supply Current Consumption in Sleep Mode with Loads at T_J = 150 °C	$I_{VS(SLEEP)_150}$	–	5	20	µA	V_S = 18 V V_{OUT} = 0 V IN = DEN = “low” T_J = 150 °C	P_6.5.2.2
Operating Current in Active Mode (all Channels ON)	$I_{GND(ACTIVE)}$	–	3	4	mA	V_S = 18 V IN = DEN = “high”	P_6.5.2.3
Operating Current in Stand-by Mode	$I_{GND(STBY)}$	–	1.2	1.8	mA	V_S = 18 V IN = “low” DEN = “high”	P_6.5.2.5

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15 显示$R_{DS\,(ON)}$在整个 T_J 范围内的变化。y 轴上的值“2”对应于在 T_J = 150 °C 时测得的最大 $R_{DS(ON)}$。

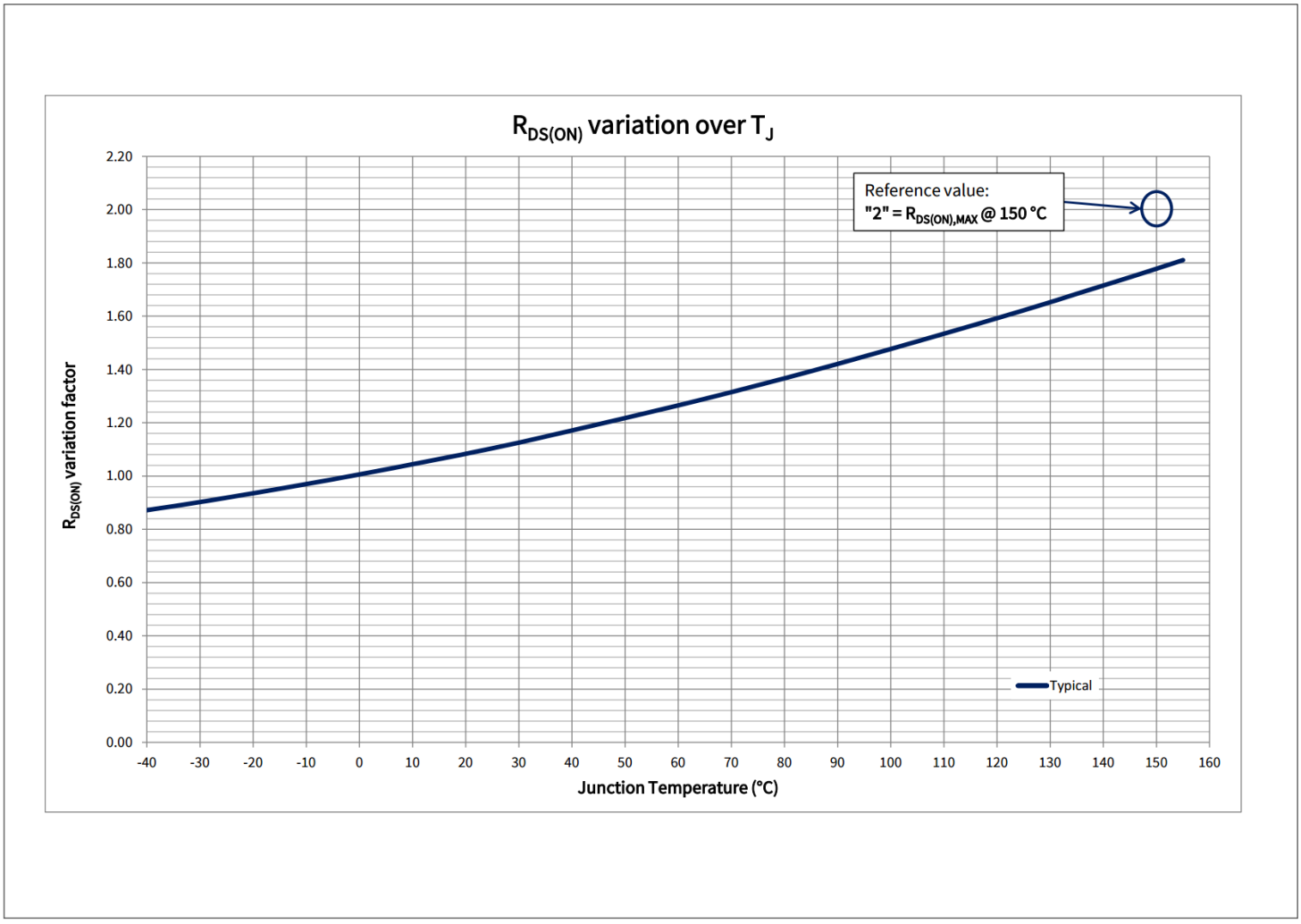


Figure 15 $R_{DS(ON)}$ variation factor

7.2 驱动负载

7.2.1 驱动阻性负载

驱动阻性负载时，如图 16 所示开关时间和转换速率需要考虑。开关能量值E_{ON}和E_{OFF} 与负载阻抗和时间t_{ON}和t_{OFF}成正比。

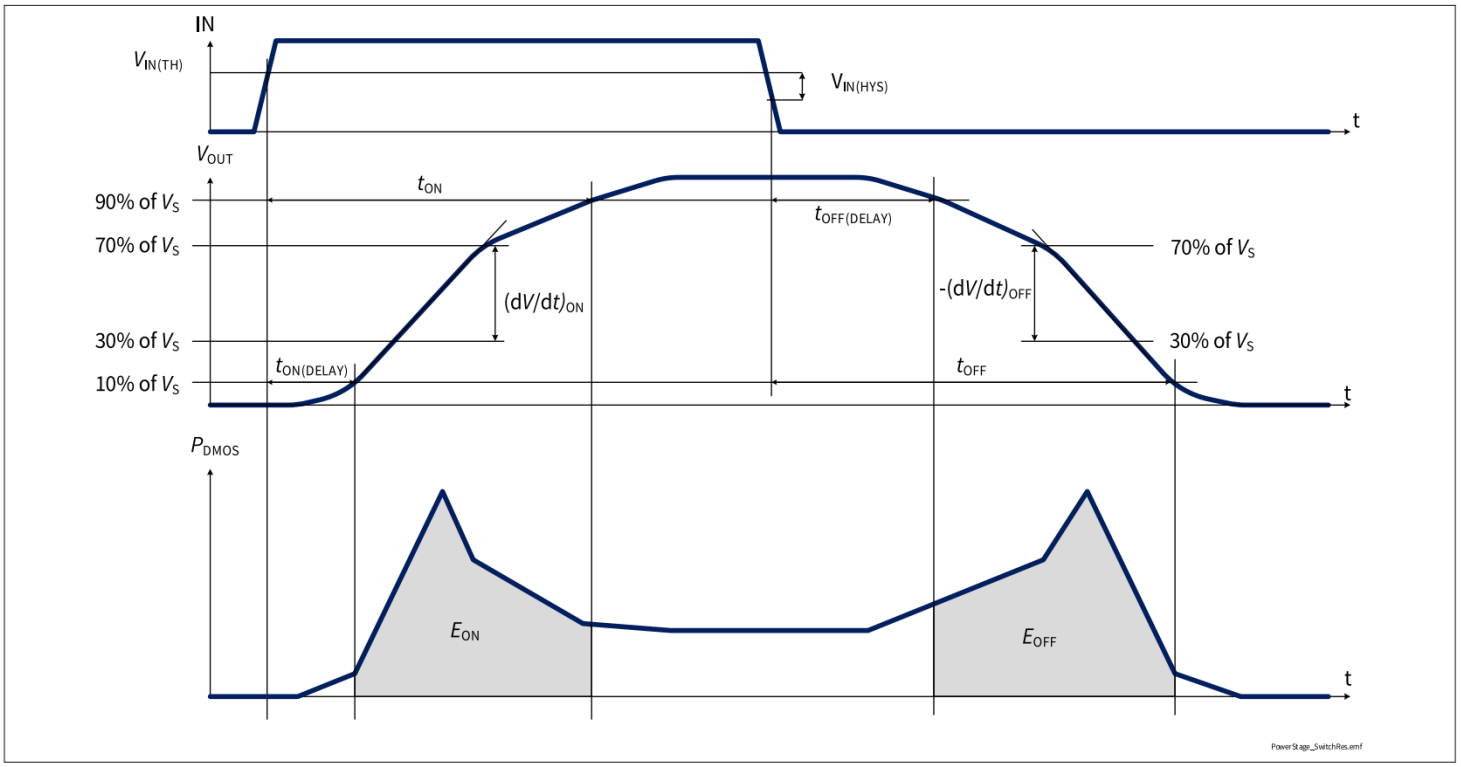


Figure 16 Switching a Resistive Load

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，因为电感会继续驱动电流。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 17 显示了基本的框架。钳位结构在第 6.1 章列出的所有操作模式下保护器件。

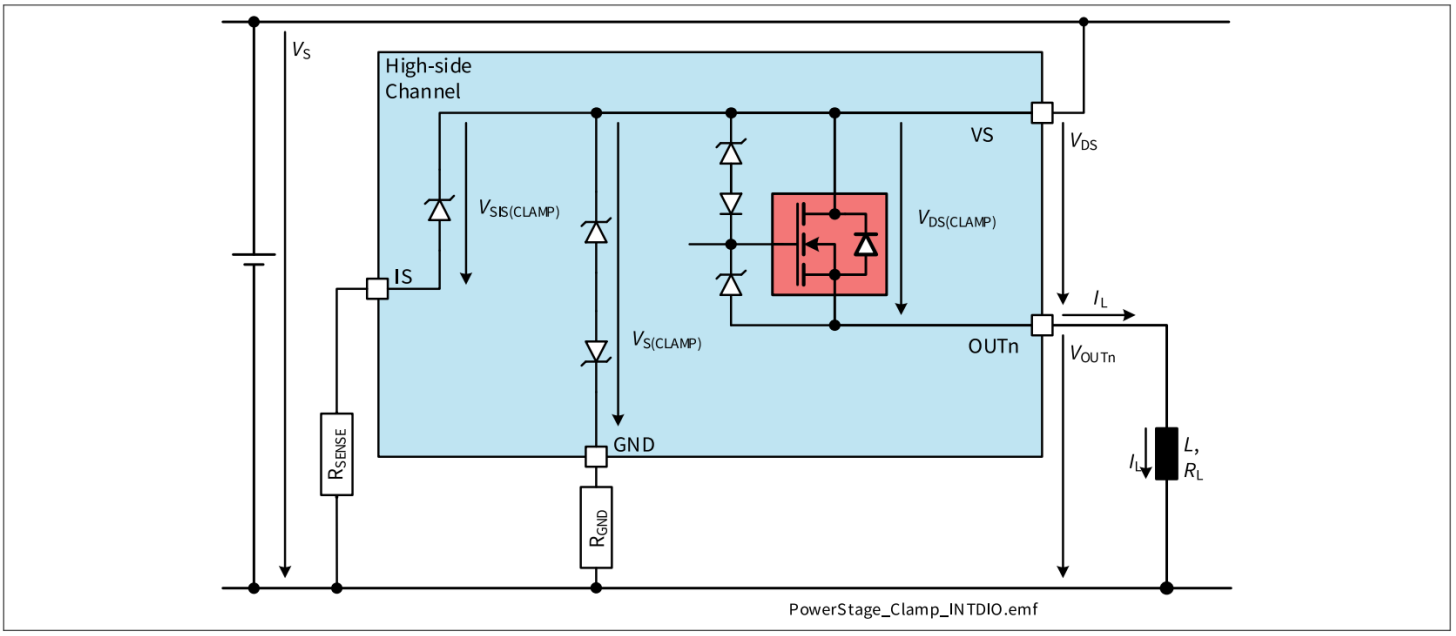


Figure 17 Output Clamp concept

在感性负载退磁过程中，能量在CTS1010-2EPA中耗散。能量计算公式如下 (1):

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

最大能量，也就是给定电流的最大电感，受到元件热设计限制。

7.2.3 输出电压限制

为了提高电流采样精度，需要监控V_{DS}电压。当输出电流I_L减小而通道被诊断时（DEN 引脚置位为“高”，用 DSEL 引脚选择通道 - 见图 18) 使 V_{DS} 等于或低于 $V_{DS\,(SLC)}$ 时，输出 DMOS 会被部分放电。这会增加输出通道 DMOS电阻，即使输出电流非常小，也会使得 V_{DS} = $V_{DS\,(SLC)}$。V_{DS}增加使电流检测电路能够更高效地工作，从而在输出低电流范围内提供更好的k_{ILIS}精度。

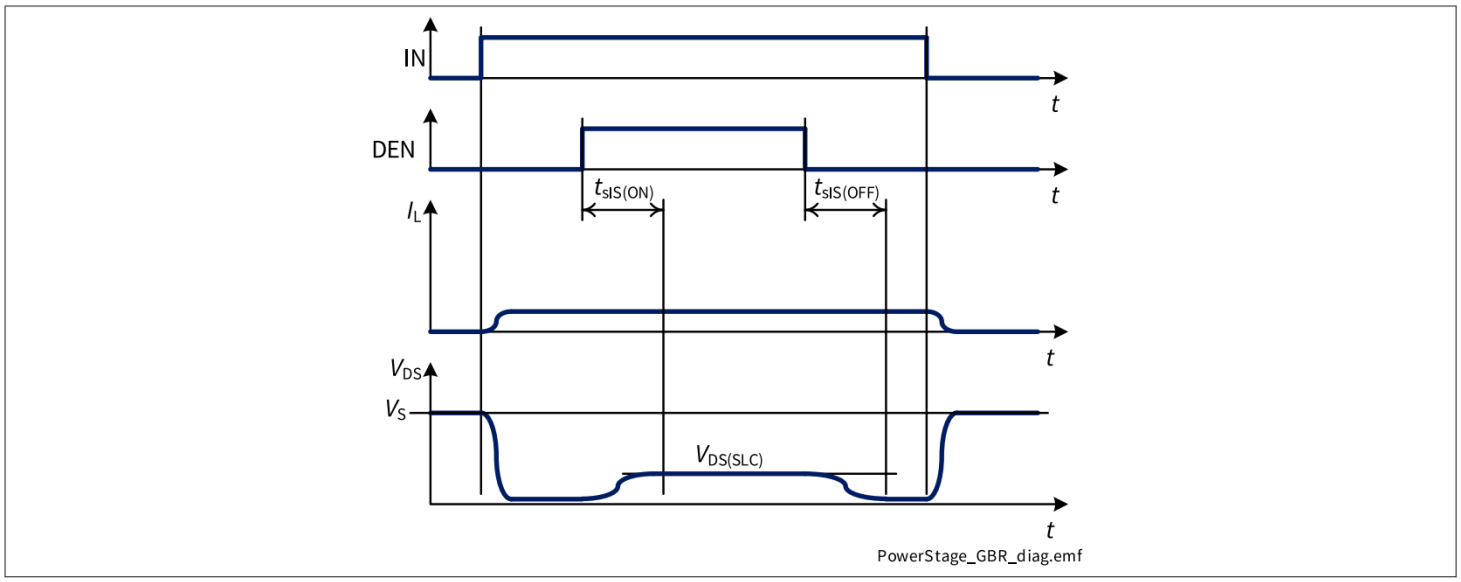


Figure 18 Output Voltage Limitation activation during diagnosis

7.3 开关特性

7.3.1 并行切换通道

当并联两个通道驱动单个负载发生短路时，可能会发生双通道异步关闭，从而额外的热应力全部施加到最后关闭的通道上。因此，不建议使用该器件进行通道并联配置。

7.3.2 H 桥配置的跨电流鲁棒性

在桥式配置中CTS1010-2EPA作为高边开关时（因此与低边开关配对，如图 19所示），低边开关输出的最大斜率必须低于$|dV_{OUT}/dt|$。

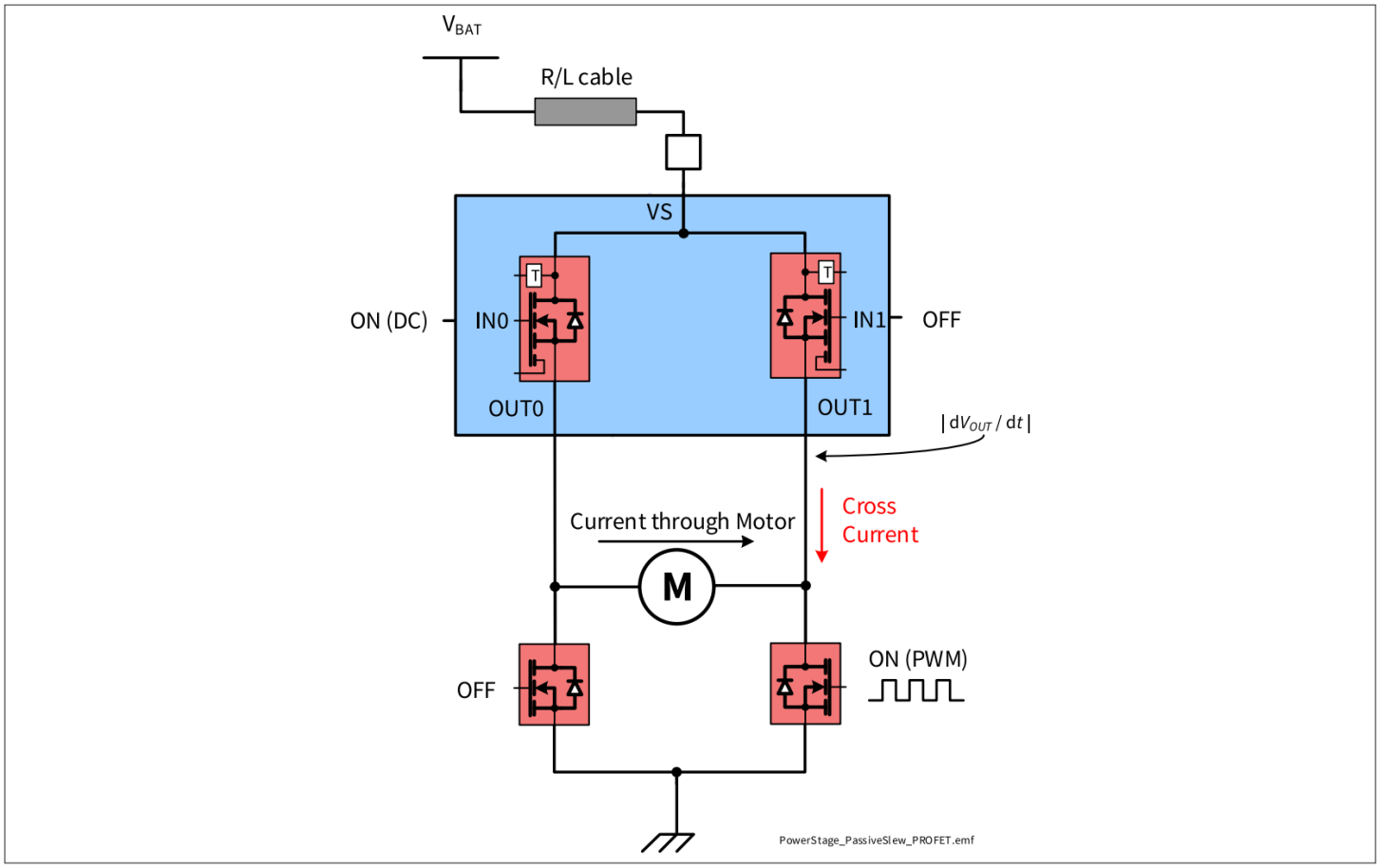


Figure 19 High-Side switch used in Bridge configuration

7.4 功率开关电气特性

V_S = 6 V 到 18 V，T_J = -40 °C 到 +150 °C

典型值：V_S = 13.5 V，T_J = 25 °C

测试条件是典型阻性负载连接到输出（除非另外说明）：R_L = 3.3 Ω

Table 11 Electrical Characteristics: Power Stages - General

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or Test Condition	Number
		Min.	Typ.	Max.			
Voltages							
Drain to Source Clamping Voltage at T_J = -40 °C	$V_{DS(CLAMP)_-40}$	33	36.5	42	V	I_L = 5 mA T_J = -40°C See Figure 17	P_7.4.0.1
Drain to Source Clamping Voltage at $T_J \geq$ 25 °C	$V_{DS(CLAMP)_25}$	35	38	44	V	I_L = 5 mA $T_J \geq$ 25°C See Figure 17	P_7.4.0.2

7.4.1 电气特性功率级 - PROFET ™

Table 12 Electrical Characteristics: Power Stages - PROFET™

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or Test Condition	Number
		Min.	Typ.	Max.			
Timings							
Switch-ON Delay	$t_{ON(DELAY)}$	10	35	60	µs	V_S = 13.5 V V_{OUT} = 10% V_S See Figure 16	P_7.4.1.1
Switch-OFF Delay	$t_{OFF(DELAY)}$	10	25	50	µs	V_S = 13.5 V V_{OUT} = 90% V_S See Figure 16	P_7.4.1.2
Switch-ON Time	t_{ON}	30	60	110	µs	V_S = 13.5 V V_{OUT} = 90% V_S See Figure 16	P_7.4.1.3
Switch-OFF Time	t_{OFF}	15	50	100	µs	V_S = 13.5 V V_{OUT} = 10% V_S See Figure 16	P_7.4.1.4
Voltage Slope							
Switch-ON Slew Rate	$(dV/dt)_{ON}$	0.3	0.6	0.9	V/µs	V_S = 13.5 V V_{OUT} = 30% to 70% of V_S See Figure 16	P_7.4.1.6

（表格续下页……）

Table 12 (continued) Electrical Characteristics: Power Stages - PROFET™

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or Test Condition	Number
		Min.	Typ.	Max.			
Switch-OFF Slew Rate	$-(dV/dt)_{OFF}$	0.3	0.6	0.9	V/µs	V_S = 13.5 V V_{OUT} = 70% to 30% of V_S See Figure 16	P_7.4.1.7
Voltages							
Output Voltage Drop Limitation at Small Load Currents	$V_{DS(SLC)}$	2	7	18	mV	DEN = “high” channel selected with DSEL pin I_L = 20 mA See Figure 18	P_7.4.1.9

7.5 电气特性 - 功率输出级

V_S = 6 V 到 18 V，T_J = -40 °C 到 +150 °C

典型值：V_S = 13.5 V，T_J = 25 °C

测试条件是典型阻性负载连接到输出（除非另外说明）：R_L = 3.3 Ω

7.5.1 功率输出级 - 10 mΩ

Table 13 Electrical Characteristics: Power Stages - 10 mΩ

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or Test Condition	Number
		Min.	Typ.	Max.			
Output characteristics							
ON-State Resistance at T_J = 25 °C	$R_{DS(ON)_25}$	–	9.5	–	mΩ	T_J = 25 °C	P_7.5.2.1
ON-State Resistance at T_J = 150 °C	$R_{DS(ON)_150}$	–	–	19.5	mΩ	T_J = 150 °C I_L = 4 A	P_7.5.2.2
Nominal Load Current per Channel (all Channels Active)	$I_{L(NOM)}$	–	6.5	–	A	T_A = 85 °C $T_J \leq$ 150 °C	P_7.5.2.8
Nominal Load Current per Channel with Resistive Load (all Channels Active)	$I_{L(NOM)_R}$	–	7	–	A	T_A = 85 °C $T_J \leq$ 150 °C $\Delta T_J \leq$ 60 K	P_7.5.2.17
Output Leakage Current at $T_J \leq$ 85 °C	$I_{L(OFF)_85}$	–	0.01	0.5	µA	V_{OUT} = 0 V V_{IN} = “low” $T_A \leq$ 85 °C	P_7.5.2.9

（表格续下页……）

Table 13 (continued) Electrical Characteristics: Power Stages - 10 mΩ

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or Test Condition	Number
		Min.	Typ.	Max.			
Output Leakage Current at T_J = 150 °C	$I_{L(OFF)_150}$	–	2.3	7	µA	V_{OUT} = 0 V V_{IN} = “low” T_A = 150 °C	P_7.5.2.10
Voltage Slope							
Passive Slew Rate (e.g. for Half Bridge Configuration)	$\lvert dV_{OUT} / dt \rvert$	–	–	10	V/µs	V_S = 13.5 V See Figure 19	P_7.5.2.12
Voltages							
Drain Source Diode Voltage	$\lvert V_{DS(DIODE)} \rvert$	–	650	700	mV	I_L = -190 mA T_J = 150 °C	P_7.5.2.13
Switching Energy							
Switch-ON Energy	E_{ON}	–	0.39	–	mJ	V_S = 18 V See Figure 16	P_7.5.2.14
Switch-OFF Energy	E_{OFF}	–	0.52	–	mJ	V_S = 18 V See Figure 16	P_7.5.2.15

8 保护措施

CTS1010-2EPA具有过温、过载和过压保护功能。当器件未处于睡眠模式时，过温保护和过载保护有效。过压保护在所有工作模式下均有效。当 GND 和 VS 引脚被反接供电时，电池反接保护生效。

8.1 过温保护

该器件为每个通道配备了绝对过温保护电路($T_{J(ABS)}$) 和动态过温保护电路 ($T_{J(DYN)}$)。当通道温度 T_J 超过两个阈值 ($T_{J(ABS)}$ 或$T_{J(DYN)}$) 之一时，过热通道将被关闭，以防止损坏。通道将保持关闭状态，直到温度达到 表 14 中规定的“重启”条件。过温保护行为如图20 （绝对过温保护）和 图 21 （动态过温保护）所示。 $T_{J(REF)}$ 是动态过温保护的基准温度。

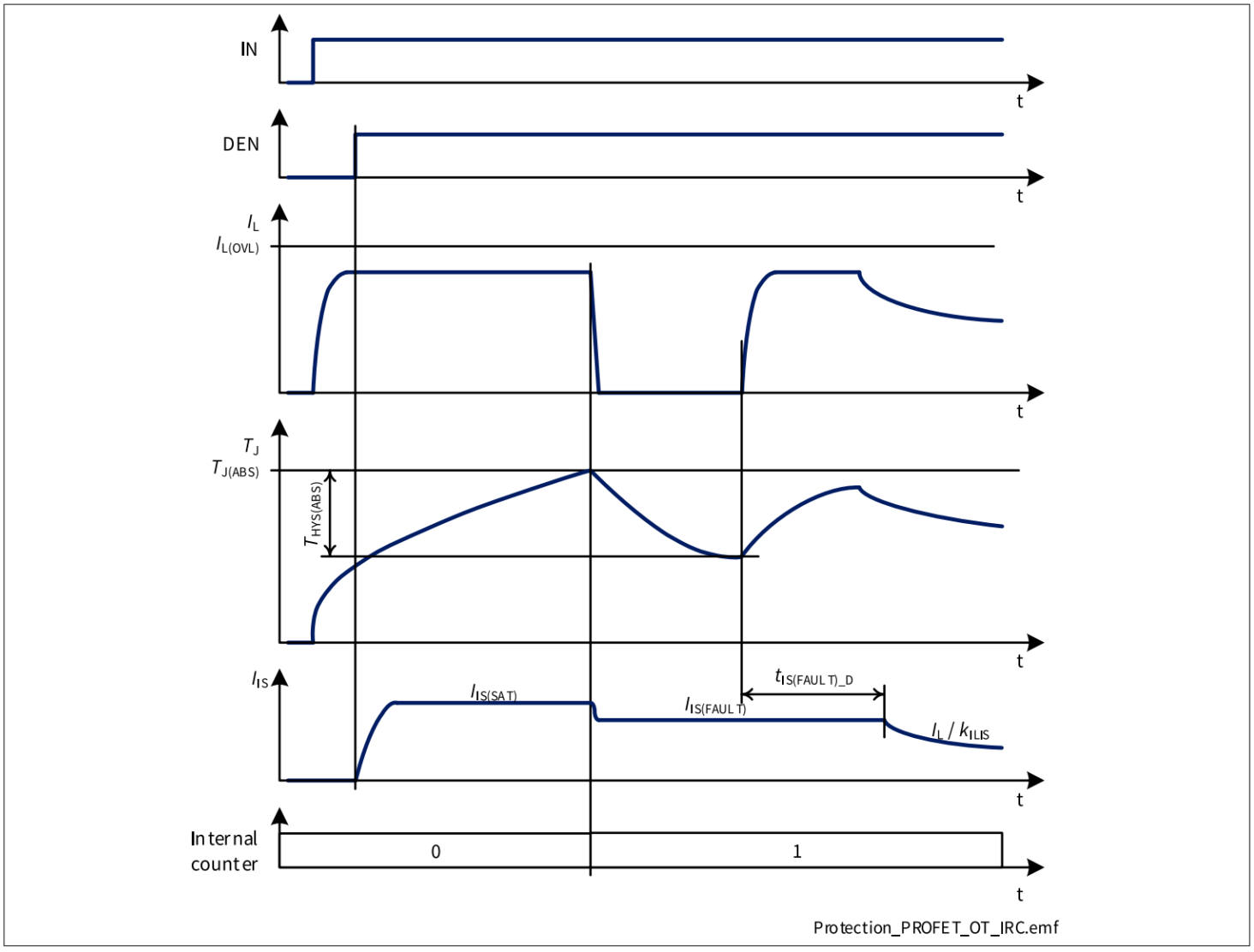


Figure 20 Overtemperature Protection (Absolute)

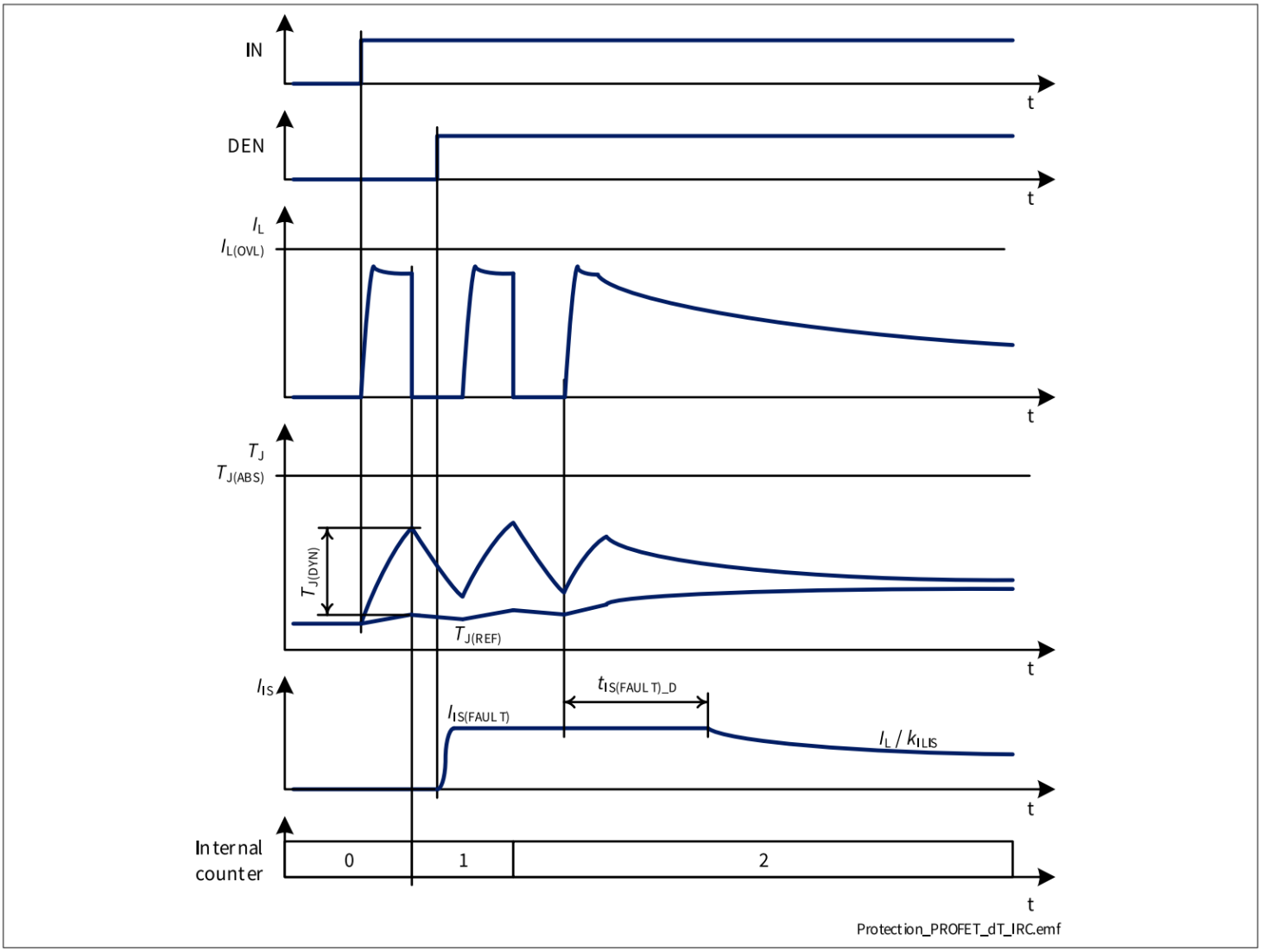


Figure 21 Overtemperature Protection (Dynamic)

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 过载保护

CTS1010-2EPA 具有过载或对地短路保护功能。两个过载保护阈值定义（见 图 22 ）并根据功率DMOS两端的V_{DS} 电压自动切换：

- $I_{L(OVL0)}$ when V_{DS} < 13 V
- $I_{L(OVL1)}$ when V_{DS} > 22 V

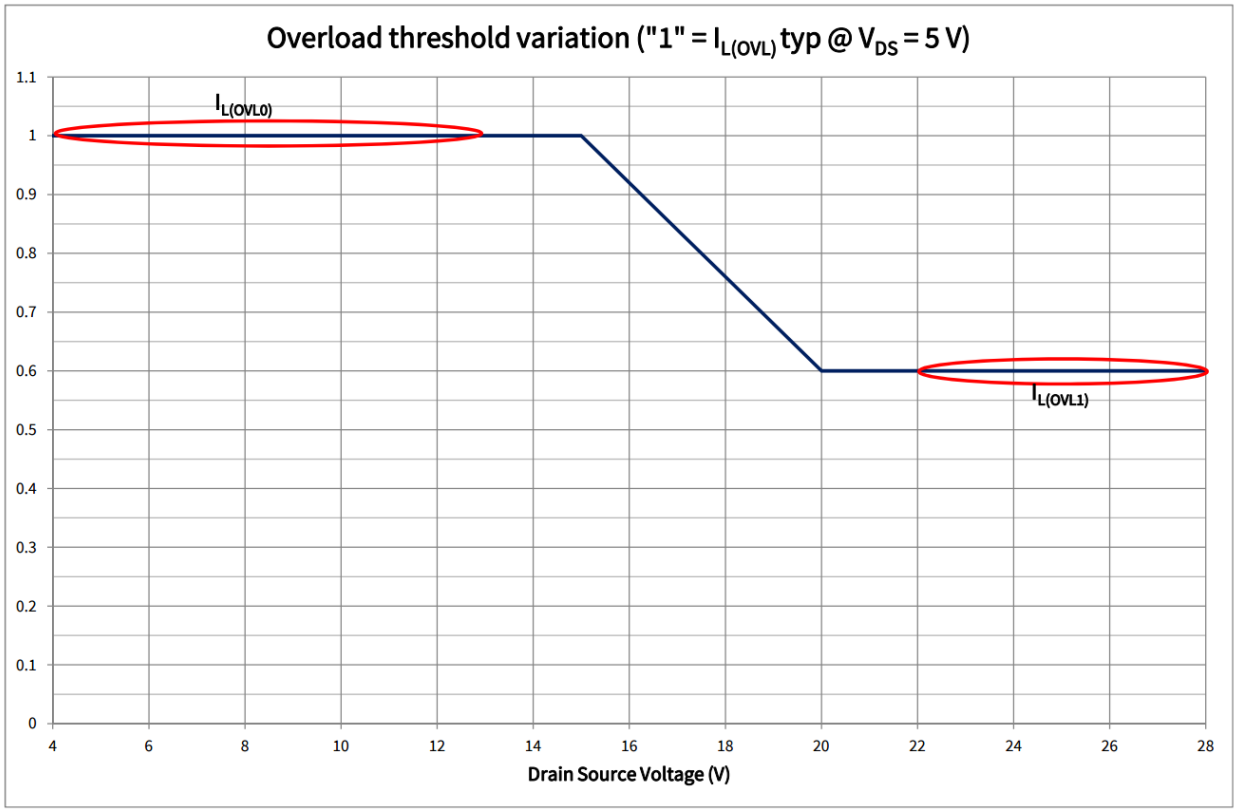


Figure 22 Overload Current Thresholds variation with V_{DS}

为了在低温下允许更高的冲击电流，过载保护阈值在低温下设置为最大值，并随着T_j的增加而减小（见图 23)。$I_{L(OVL0)}$ 典型值在结温高达 +75 °C 时保持不变。

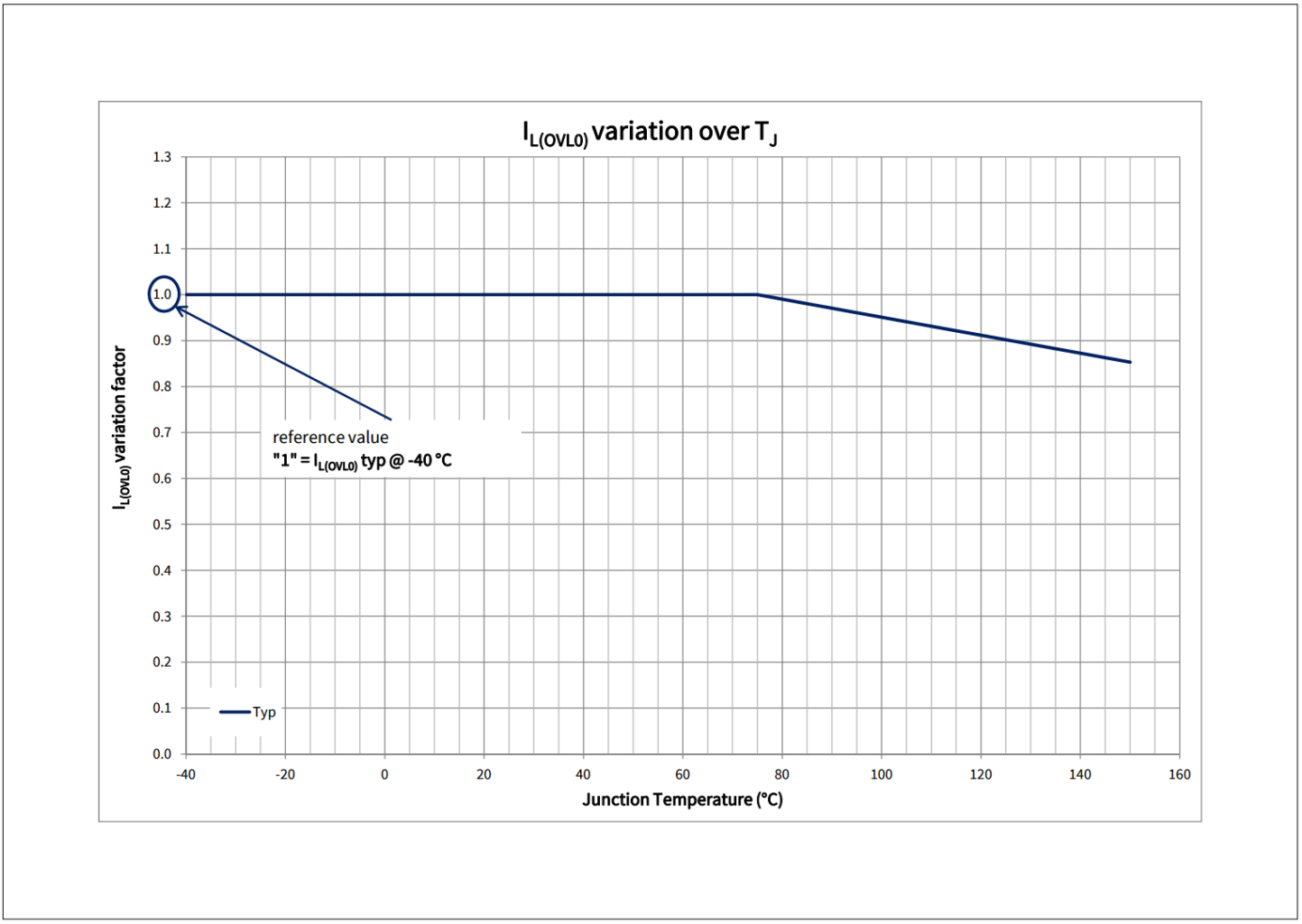


Figure 23 Overload Current Thresholds variation with T_J

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$V_S \geq V_{S(JS)}$ 时，过载保护电流设置为 $I_{L(OVL_JS)}$，如图 24 所示。

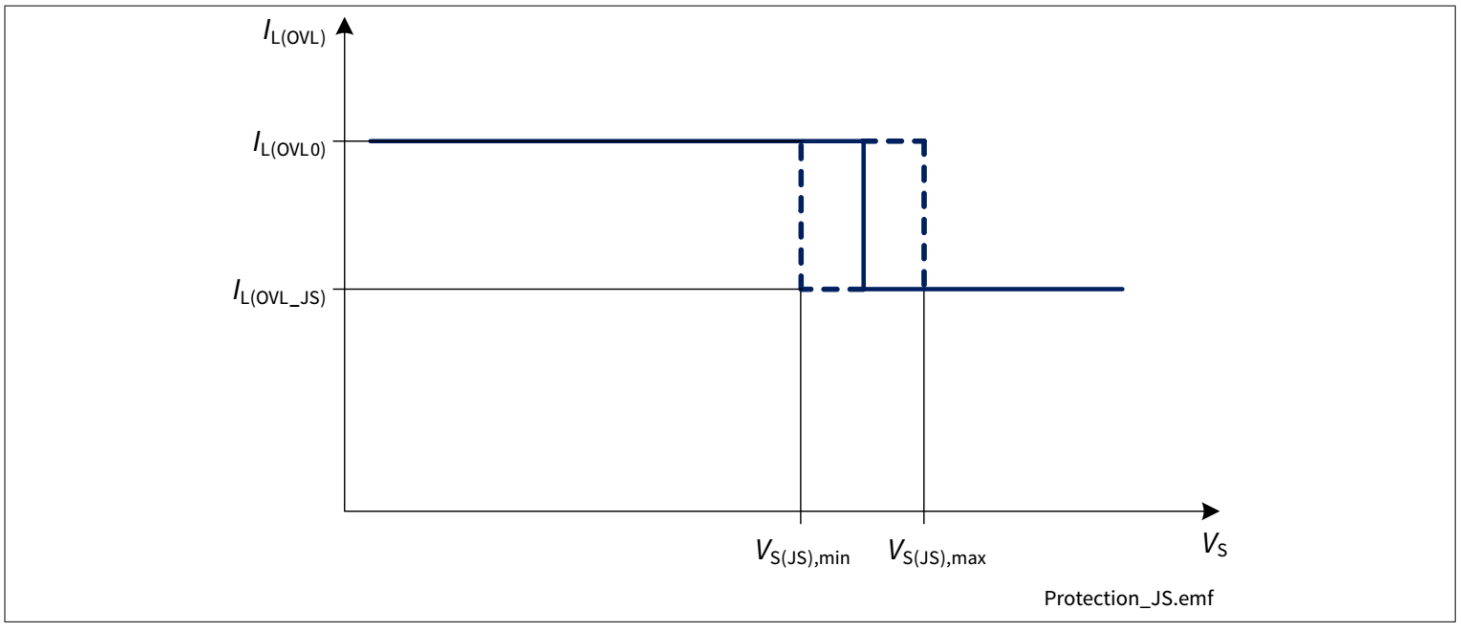


Figure 24 Overload Detection Current variation with V_S voltage

当$I_L \geq I_{L(OVL)}$($I_{L(OVL0)}$，$I_{L(OVL1)}$或$I_{L(OVL_JS)}$)之一时，通道关闭。通道可以根据章节 8.3 中描述的重启策略重新启动。

8.3 发生错误时保护和诊断机制

任何触发保护机制的事件（过温或过载）都会产生两种响应：

- 受影响的通道关闭，内部计数器递增
- 如果受影响的通道诊断激活, IS引脚上设置为故障电流$I_{IS(FAULT)}$ (参见章节 9.2.2 获得更多细节)。

如果所有保护机制都满足 表 14 中所述的“重启”条件，则通道可以再次开启。此外，该器件有一个内部重启计数器（每个通道一个），以最大限度地提高故障时的稳健性。

Table 14 Protection “Restart” Condition

Fault condition	Switch OFF event	“Restart” 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)
Overload	$I_L \geq I_{L(OVL)}$	$I_L < 50$ mA T_J within $T_{J(ABS)}$ and $T_{J(DYN)}$ ranges (including hysteresis)

8.3.1 重启策略

当IN置位为“高”时，相应通道开启。如果发生故障，相应输出将关闭。只有满足保护机制的“重启”条件，通道才允许重启（见表 14）。

在关闭之前， 允许通道重启$n_{RETRY(CR)}$ 次。经过t_{RETRY} 时间后 ，如果输入引脚置位为“高”，通道将再次打开$n_{RETRY(NT)}$ 次，然后再次关闭（“重启”周期）。在$n_{RETRY(CYC)}$ 个连续“重启”周期后 ，通道锁存为 OFF。需要将输入引脚IN置位为“低电平”并持续超过$t_{DELAY(CR)}$ 的时间 ，以解除通道锁存（“计数器复位延迟”时间）并将内部计数器复位为默认值。

在“计数器复位延迟”时间内，如果输入置位为“高”，则通道保持关闭状态，计数$t_{DELAY(CR)}$ 复位，一旦输入引脚再次置位为“低电平”，计数就重新开始计数。如果输入引脚保持“低电平”的时间长于$t_{DELAY(CR)}$ ，则内部重试计数器会复位到默认值，从而允许在下一次通道激活时进行$n_{RETRY(CR)}$ 重试。

重启策略如图 27(流程图)， 图 25 (时序图 - 输入引脚始终为“高”)和图 26 (时序图—PWM 控制的通道)所示。

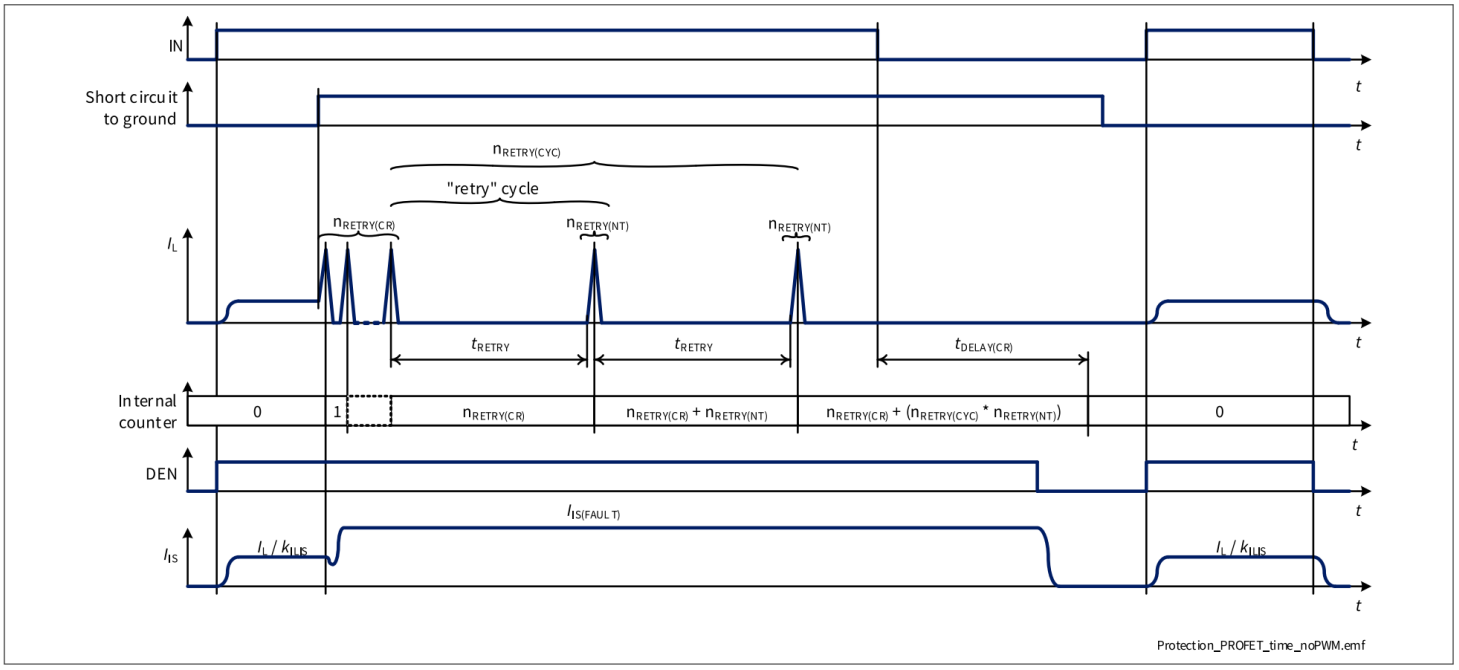


Figure 25 Retry Strategy Timing Diagram

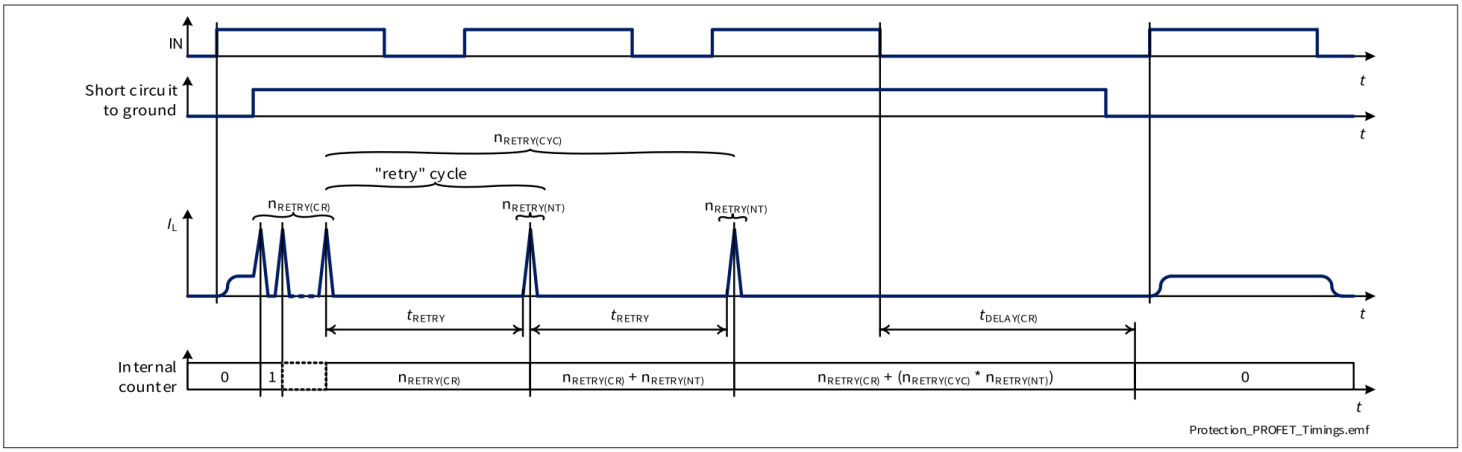


Figure 26 Retry Strategy Timing Diagram - Channel operated in PWM

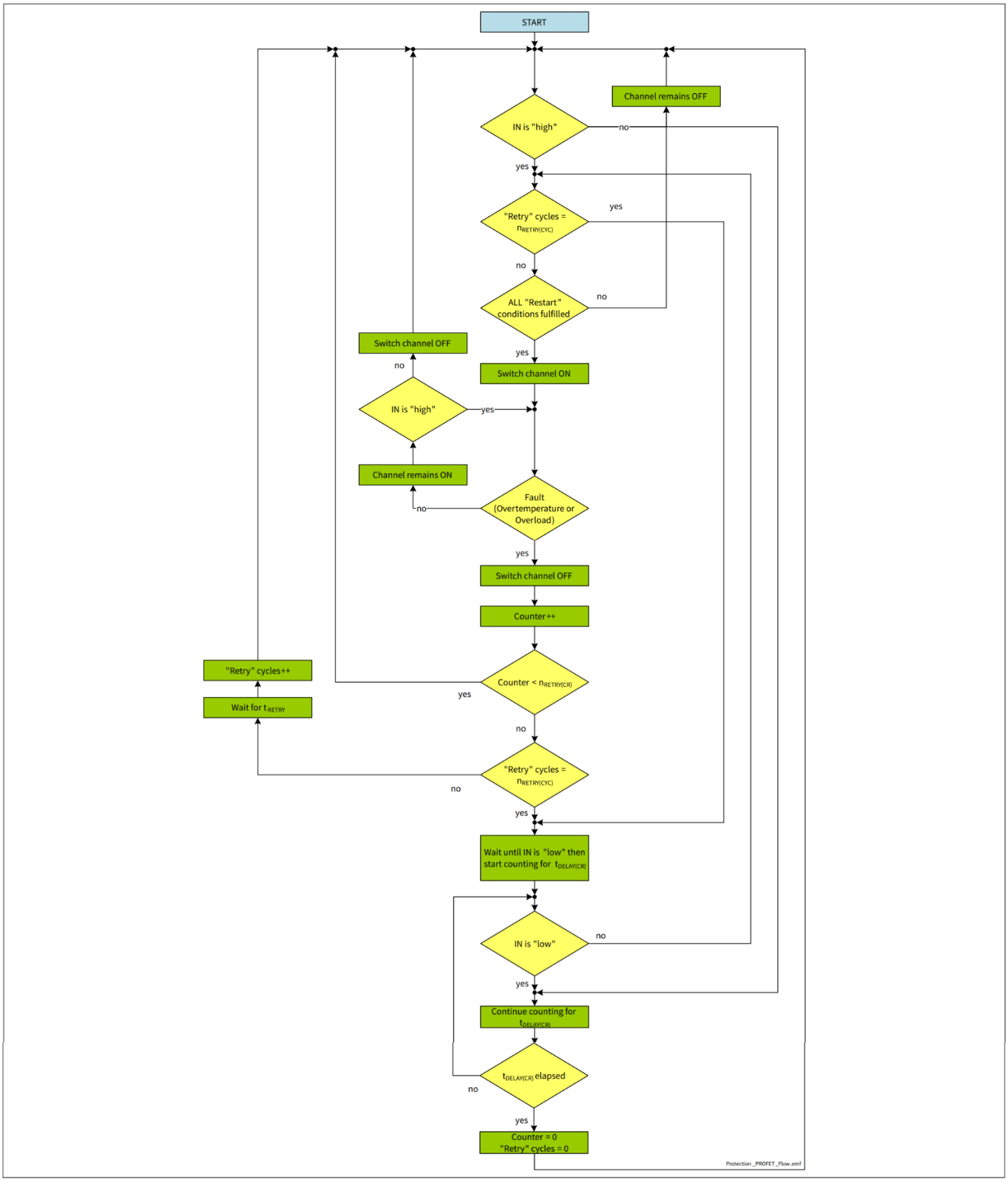


Figure 27 Retry Strategy Flowchart

当输入引脚为“低电平”时，通过向 DEN 引脚施加脉冲（上升沿，然后是下降沿），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 $t_{DEN(CR)}$以确保内部计数器的复位。

DSEL 引脚必须选择需要解锁的通道，并在 DEN 引脚切换两次（上升沿后跟下降沿）时保持相同的逻辑值。时序如 图 28 所示。

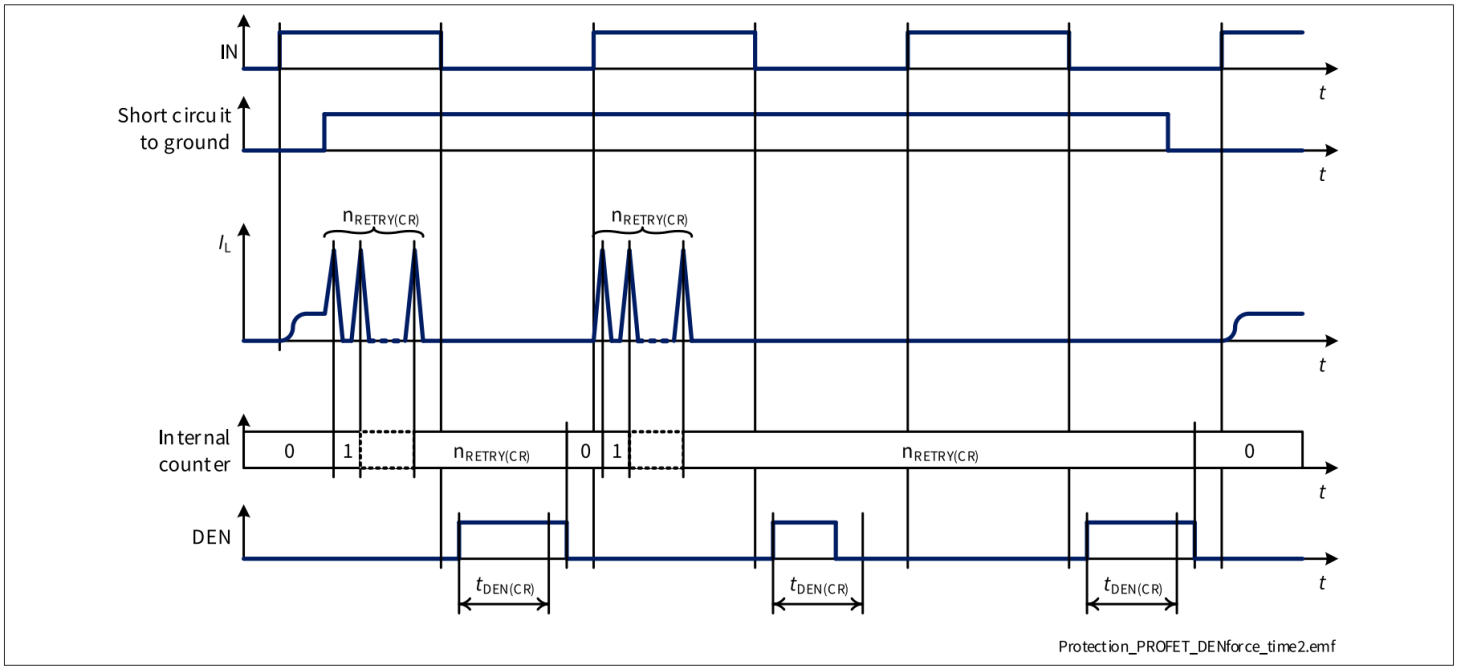


Figure 28 Retry Strategy Timing Diagram with Forced Reset

8.4 其他保护

8.4.1 反接保护

在反接条件（也称为反接电池）中，功率耗散是由DMOS通道的本征体二极管引起的。逻辑电路的每个ESD二极管也会计入总功耗。流经输出级的反向电流必须通过所连接的负载加以限制。同时，流经数字输入引脚的电流还必须通过外部电阻限制（可参阅第 4.1 章“绝对最大额定值”及第 10 章“应用信息”）。

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，输出通道仍然工作并跟随输入引脚。除了 第 7.2.2章 中描述的感性负载的输出钳位外，有一个钳位机制可用于逻辑和输出通道的过压保护，监控 VS 和 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阻性的，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™+2 12V 设备可以承受高达 10 µH的线束电感（$I_{L(NOM)}$）在应用中，如果电流和/或上述电感超过允许值，建议使用外部抑制二极管（如 第 10 章 中所示的二极管 D_{Z2}）来处理能量，并为负载电流提供明确的路径。

8.5.2 地线丢失

如果器件接地丢失，建议在数字输入引脚和 MCU 控制器之间连接一个电阻，以确保通道关断（如 第 10 章 中所述）。

注释： *如果数字输入引脚被拉至地（通过电阻或低电平），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 电气特性保护参数

V_S = 6 V 到 18 V，T_J = -40 °C 到 +150 °C
典型值：V_S = 13.5 V，T_J = 25 °C
测试条件是典型阻性负载连接到输出（除非另外说明）：R_L = 3.3 Ω

Table 15 Electrical Characteristics: Protection - General

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or Test Condition	Number
		Min.	Typ.	Max.			
Thermal Shutdown Temperature (Absolute)	$T_{J(ABS)}$	150	175	200	°C	See Figure 20	P_8.6.0.1
Thermal Shutdown Hysteresis (Absolute)	$T_{HYS(ABS)}$	–	30	–	K	See Figure 20	P_8.6.0.2
Thermal Shutdown Temperature (Dynamic)	$T_{J(DYN)}$	–	80	–	K	See Figure 21	P_8.6.0.3
Power Supply Clamping Voltage at T_J = -40 °C	$V_{S(CLAMP)_-40}$	33	36.5	42	V	I_{VS} = 5 mA T_J = -40 °C See Figure 17	P_8.6.0.6
Power Supply Clamping Voltage at $T_J \geq$ 25 °C	$V_{S(CLAMP)_25}$	35	38	44	V	I_{VS} = 5 mA $T_J \geq$ 25°C See Figure 17	P_8.6.0.7
Power Supply Voltage Threshold for Overcurrent Threshold Reduction in case of Short Circuit	$V_{S(JS)}$	20.5	22.5	24.5	V	Setup acc. to AEC-Q100-012	P_8.6.0.8

8.6.1 电气特性保护参数 - PROFET™

Table 16 Electrical Characteristics: Protection - PROFET™

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or Test Condition	Number
		Min.	Typ.	Max.			
Automatic Retries in Case of Fault after a Counter Reset	$n_{RETRY(CR)}$	–	5	–		See Figure 25 and Figure 26	P_8.6.1.1
Automatic Retries in Case of Fault after the First t_{RETRY} Activation	$n_{RETRY(NT)}$	–	1	–		See Figure 25 and Figure 26	P_8.6.1.3
Maximum “Retry” Cycles allowed before Channel Latch OFF	$n_{RETRY(CYC)}$	–	2	–		See Figure 25 and Figure 26	P_8.6.1.4
Auto Retry Time after Fault Condition	t_{RETRY}	40	70	100	ms	See Figure 25 and Figure 26	P_8.6.1.5

（表格续下页……）

Table 16 (continued) Electrical Characteristics: Protection - PROFET™

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or Test Condition	Number
		Min.	Typ.	Max.			
Counter Reset Delay Time after Fault Condition	$t_{DELAY(CR)}$	40	70	100	ms	See Figure 25 and Figure 26	P_8.6.1.6
Minimum DEN Pulse Duration for Counter Reset	$t_{DEN(CR)}$	50	100	150	µs	See Figure 28	P_8.6.1.7

8.7 保护电气特性 - 功率输出级

V_S= 6 V 到 18 V, T_J= -40 °C 到 +150 °C

典型值: V_S = 13.5 V, T_J = 25 °C

测试条件是典型阻性负载连接到输出（除非另外说明）： R_L = 3.3 Ω

8.7.1 保护功率输出级 - 10 mΩ

Table 17 Electrical Characteristics: Protection - 10 mΩ

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or Test Condition	Number
		Min.	Typ.	Max.			
Overload Detection Current at T_J = -40 °C	$I_{L(OVL0)_-40}$	70	78	86	A	T_J = -40°C dI/dt = 0.4 A/µs See Figure 22 and Figure 23	P_8.7.2.1
Overload Detection Current at T_J = 25 °C	$I_{L(OVL0)_25}$	67	77	86	A	T_J = 25°C dI/dt = 0.4 A/µs See Figure 22 and Figure 23	P_8.7.2.7
Overload Detection Current at T_J = 150 °C	$I_{L(OVL0)_150}$	56	66	74	A	T_J = 150°C dI/dt = 0.4 A/µs See Figure 22 and Figure 23	P_8.7.2.8
Overload Detection Current at High V_{DS}	$I_{L(OVL1)}$	–	42	–	A	dI/dt = 0.4 A/µs See Figure 22	P_8.7.2.5
Overload Detection Current Jump Start Condition	$I_{L(OVL_JS)}$	–	42	–	A	$V_S > V_{S(JS)}$ dI/dt = 0.4 A/µs See Figure 24	P_8.7.2.6

9 诊断

出于诊断目的，CTS1010-2EPA 在引脚 IS 处提供数字和模拟信号的组合。这些信号通常被命名为 SENSE 并写入I_{IS}。如果禁用诊断（DEN 引脚置位为“低电平”），IS 引脚将变为高阻态。

如果使用电流采样诊断，则必须在 IS 引脚和模块接地之间连接检测电阻 R_{SENSE}。R_{SENSE}值必须高于 820Ω（或 400Ω，当电池上存在中央电池防反接保护时），以限制检测电路中的功率损失。典型值为 R_{SENSE} = 1.2 kΩ。

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 29 。

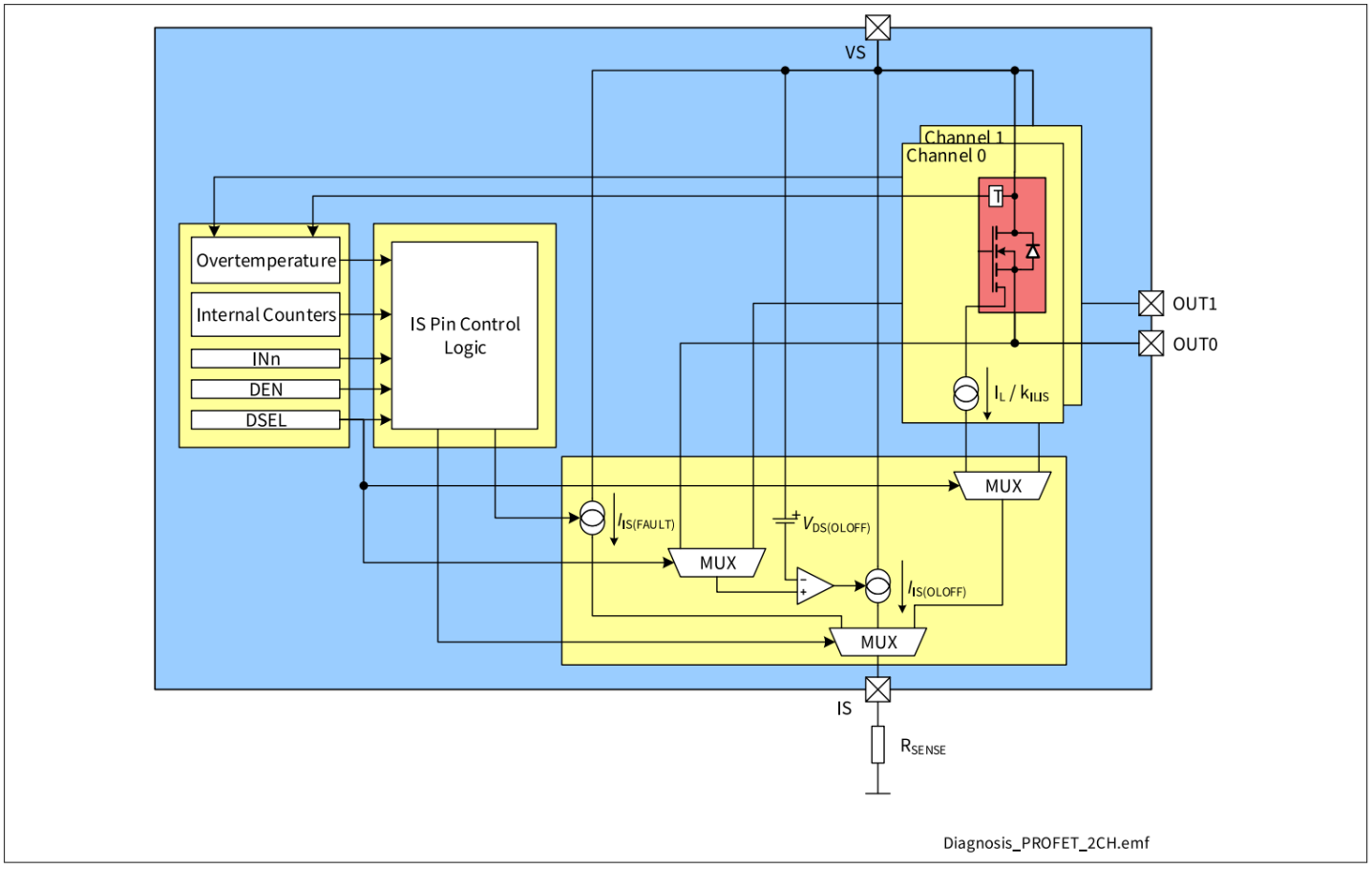


Figure 29 Diagnosis Block Diagram

9.1 概述

表 18 提供了CTS1010-2EPA 运行模式下，IS引脚上的参考状态。

Table 18 SENSE Signal, Function of Application Condition

Application Condition	Input level	DEN level	V_{OUT}	Diagnostic Output
Normal operation	“low”	“high”	~ GND	Z $I_{IS(FAULT)}$ if counter > 0
Short circuit to GND			~ GND	Z $I_{IS(FAULT)}$ if counter > 0

（表格续下页……）

Table 18 (continued) SENSE Signal, Function of Application Condition

Application Condition	Input level	DEN level	V_{OUT}	Diagnostic Output
Overtemperature			Z	$I_{IS(FAULT)}$
Short circuit to V_S			V_S	$I_{IS(OLOFF)}$ ($I_{IS(FAULT)}$ if counter > 0)
Open Load			< V_S - $V_{DS(OLOFF)}$ > V_S - $V_{DS(OLOFF)}$ 1)	Z $I_{IS(OLOFF)}$ (in both cases $I_{IS(FAULT)}$ if counter > 0)
Normal operation	"high"		~ V_S	$I_{IS} = I_L / k_{ILIS}$
Overcurrent			< V_S	$I_{IS(FAULT)}$
Short circuit to GND			~ GND	$I_{IS(FAULT)}$
Overtemperature			Z	$I_{IS(FAULT)}$
Short circuit to V_S			V_S	$I_{IS} < I_L / k_{ILIS}$
Open Load			~ V_S 2)	$I_{IS} = I_{IS(EN)}$
Under load (e.g. Output Voltage Limitation condition)			~ V_S 3)	$I_{IS(EN)} < I_{IS} < I_{L(NOM)} / k_{ILIS}$
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 $I_{L(OL)o}$
3) 输出电流必须高于 $I_{L(OL)o}$

9.1.1 SENSE 信号真值表

如果 DEN 设置为"高"，则使用 DSEL 引脚启用或禁用所选通道的 SENSE。如表19 所示。

Table 19 Diagnostic Truth Table

DEN	DSEL	IS
"low"	not relevant	Z
"high"	"low"	SENSE output 0
"high"	"high"	SENSE output 1

9.2 通道打开时诊断

当满足以下条件时，引脚 IS 处将提供与负载电流成比例的电流（比率 $k_{ILIS} = I_L / I_{IS}$）：

- 高边输出开启，并且 $V_{DS} < V_{DS(OLOFF)}$
- 该通道的诊断是使能的
- 没有故障（如 第 8.3 章 所述）或之前的故障未清除（参见 第 9.2.2 章 了解更多详情）

只要有故障或者之前的故障未清除，IS 引脚上电流为 $I_{IS(FAULT)}$。

9.2.1 电流采样（k_{ILIS}）

检测电流的精度取决于温度和负载电流。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 31所示。蓝线代表理想的k_{ILIS}线，而红线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 µs）。

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} @ $I_{L(CAL)}$，限值定义为 Δk_{ILIS}

校准后k_{ILIS} 的降额使用 图 30的公式计算，由Δk_{ILIS}指定。

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

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

Figure 30 Δk_{ILIS} calculation formulas

校准在 $T_{A(CAL)}$ = 25°C 下进行。参数 Δk_{ILIS} 包括从 $I_{L(CAL)_L}$ 到 $I_{L(CAL)_H}$ 范围内的温度漂移和电流漂移。

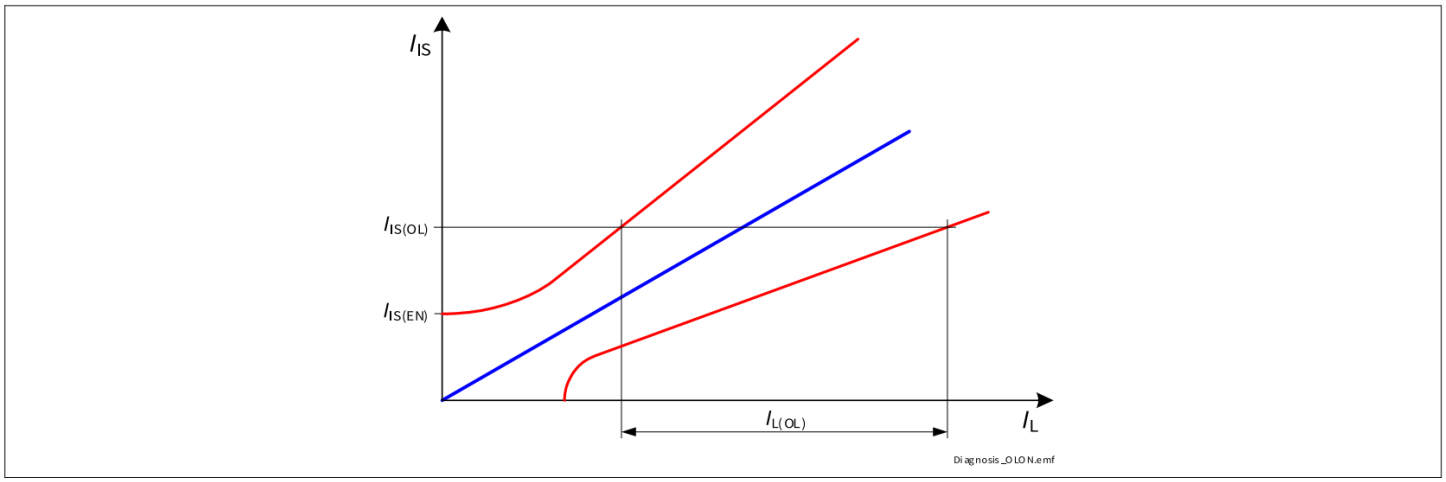


Figure 31 Current Sense Ratio in Open Load at ON condition

9.2.2 故障电流（$I_{IS(FAULT)}$）

一旦发生保护事件，从复位状态开始改变内部重启计数器的值（参见 第 8.3 章 更多详情），当 DEN 置位为“高”且受影响的通道被选中时，引脚 IS 提供电流 $I_{IS(FAULT)}$。 可能出现以下 3 种情况：

- 如果通道处于开启状态，且重试次数低于“$n_{RETRY(CR)} + n_{RETRY(CYC)} * n_{RETRY(NT)}$”，则在允许通道重启后，将提供电流 $I_{IS(FAULT)}$并持续$t_{IS(FAULT)_D}$时间，此后$I_{IS}=I_L/k_{ILIS}$ （如图 32 所示）。在重启周期内（定时器t_{RETRY} 运行时），每次检查通道诊断时都会提供电流$I_{IS(FAULT)}$。
- 如果通道为 ON，且重试次数等于“ $n_{RETRY(CR)} + n_{RETRY(CYC)} * n_{RETRY(NT)}$”，则提供电流$I_{IS(FAULT)}$，直到内部计数器复位（通过 $t_{DELAY(CR)}$ 时间到期或通过 DEN 引脚脉冲，如 第 8.3.1 章 所述）
- 如果通道关闭，且内部计数器未被复位，则每次检查通道诊断时都会提供电流$I_{IS(FAULT)}$

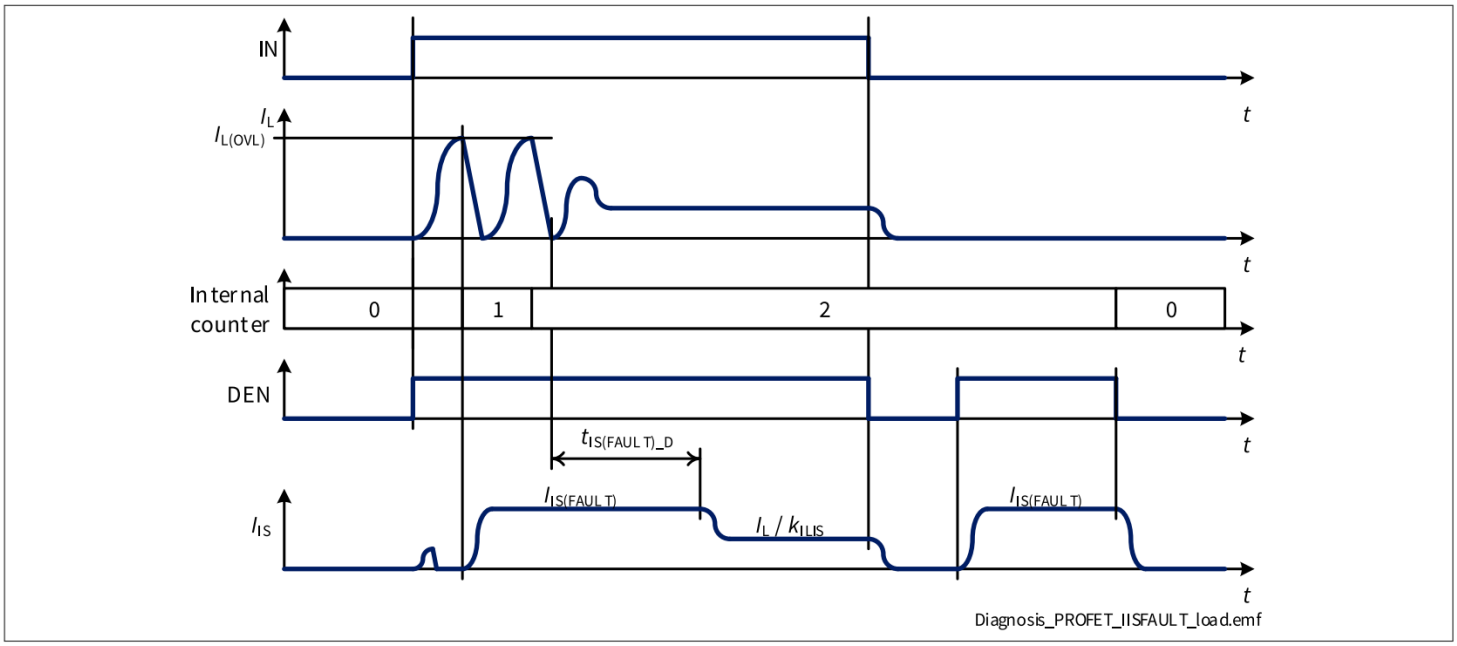


Figure 32 $I_{IS(FAULT)}$ at Load Switching

图33 将SENSE信号的行为添加到图26中所示的时序图中，而图34 显示了 $I_{IS} = I_L/k_{ILIS}$, $I_{IS(SAT)}$ and $I_{IS(FAULT)}$之间的关系。

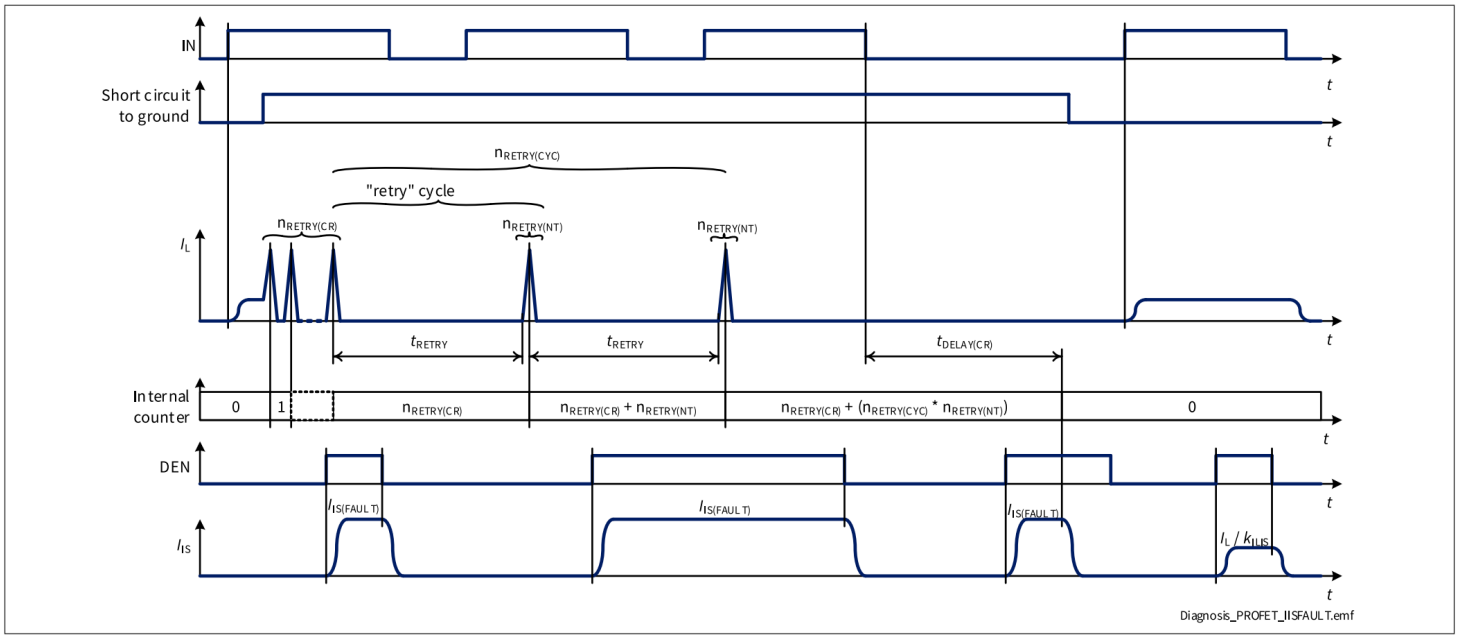


Figure 33 SENSE behavior in Fault condition

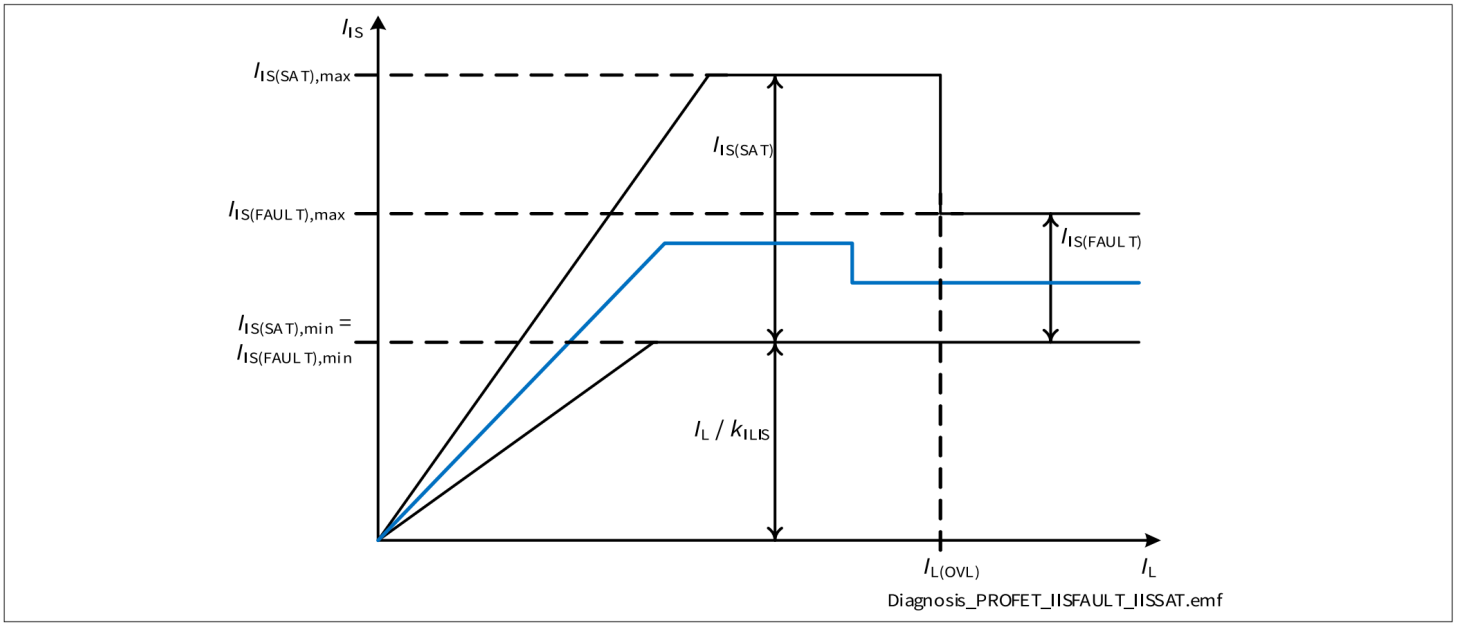


Figure 34 SENSE behavior - overview

9.3 通道关闭时诊断

当通道处于关闭状态，CTS1010-2EPA监测输出电压并和内部电压阈值进行比较。基于电压比较器，使用一些外部元件（下拉电阻和可切换的上拉电流源），可检测负载是否丢失或是输出对电源短路。如果芯片检测到故障条件（内部计数器的值与复位值不同，如 章节9.2.2 所述），通道关闭时，每次检测通道诊断时， IS管脚上电流为 $I_{IS(FAULT)}$。

9.3.1 开路负载电流（$I_{IS(OLOFF)}$）

在OFF状态下，当DEN引脚设置为“高”并且使用DSEL引脚选择通道时， V_{DS} 电压与阈值电压/临界电压 $V_{DS(OLOFF)}$ 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 $V_{DS} > V_{DS(OLOFF)}$。 当诊断启用并且 $V_{DS} \le V_{DS(OLOFF)}$ 时， IS 引脚提供电流 $I_{IS(OLOFF)}$。
图 35 显示了在不同 V_{DS}时， $I_{IS(OLOFF)}$ 和 $I_{IS(FAULT)}$ 的关系。这两个电流不重叠，因此始终可以区分通道关闭情况下负载开路和故障状态。

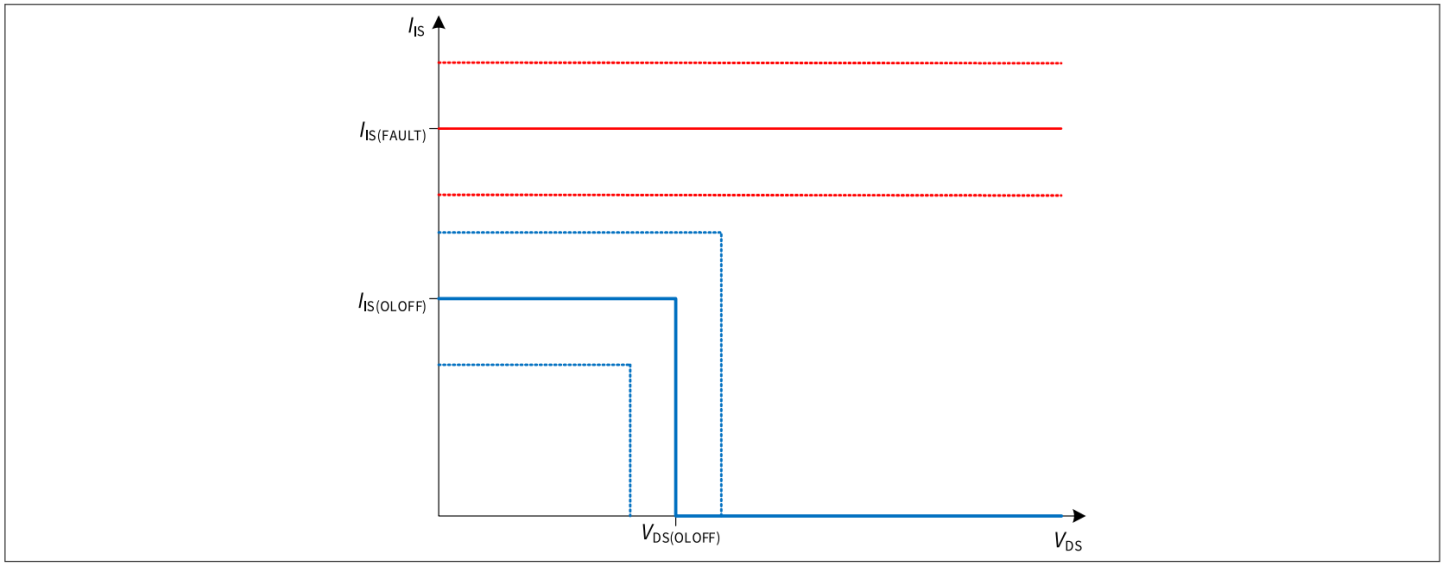


Figure 35 I_{IS} in OFF State

通道关闭状态下的开路检测，需要在输入引脚IN下降沿之后等待$t_{IS(OLOFF)_D}$时间，IS管脚上才能反馈正确的状态，这段时间主要进行内部比较器的建立。图36 显示负载始终开路，芯片开路检测时序。

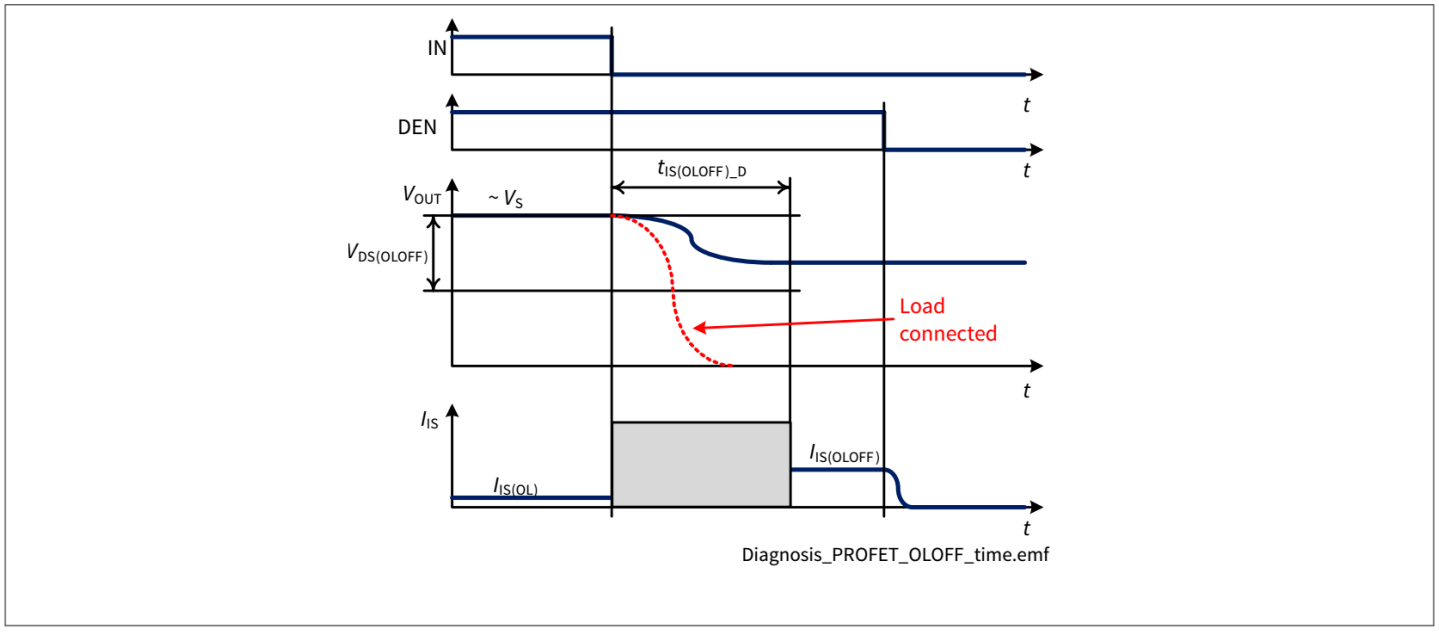


Figure 36 Open Load in OFF Timings - load disconnected

9.4 诊断时序

图 37 和 图 39 显示了 SENSE 建立 $t_{sIS(ON)}$ 和禁用 $t_{sIS(OFF)}$ 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（在 t_{ON} 之前）无法建立正确的信号，因此 $t_{sIS(DIAG)} = t_{sIS(ON)} + t_{ON}$。

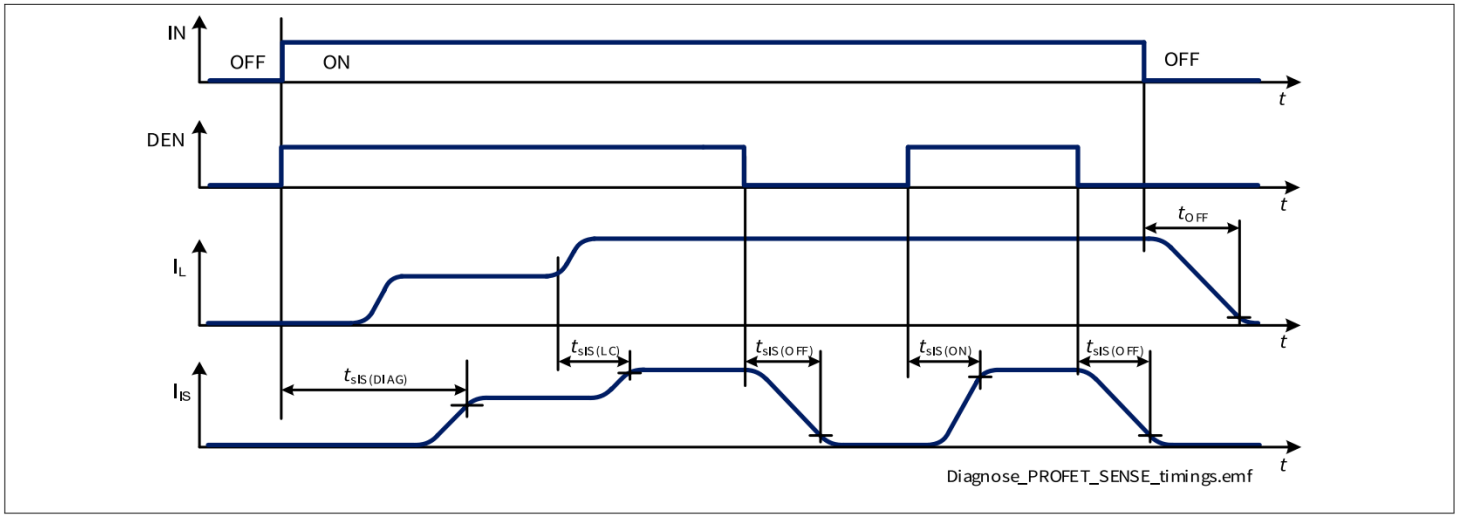


Figure 37 SENSE Settling / Disabling Timing

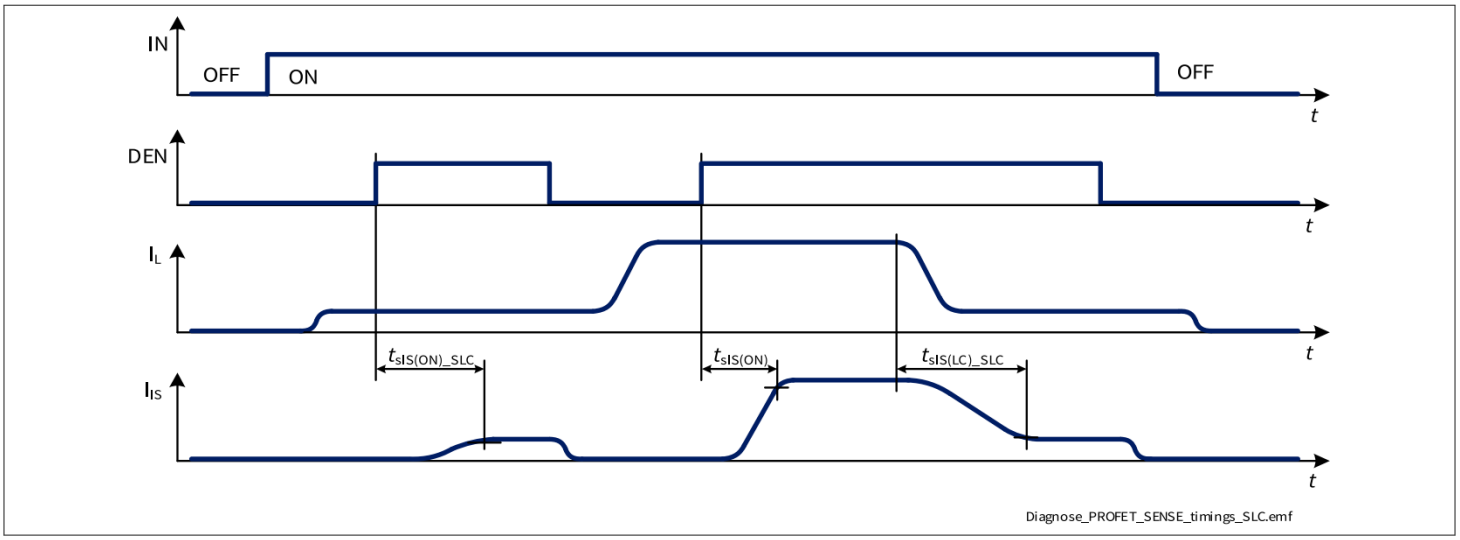


Figure 38 SENSE Timing with Small Load Current

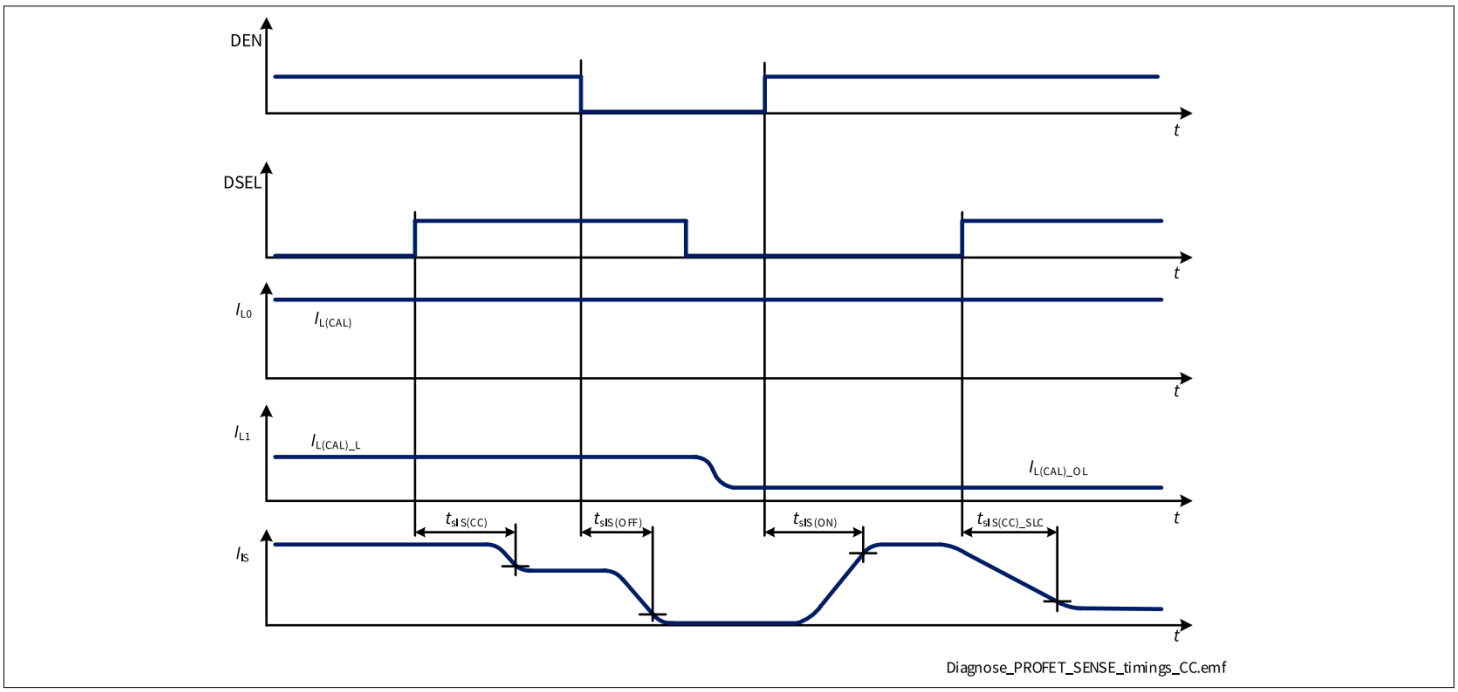


Figure 39 SENSE Settling Timing - Channel Change

9.5 诊断电气特性参数

V_S = 6 V 到 18 V，T_J = -40 °C 到 +150 °C
典型值：V_S = 13.5 V，T_J = 25 °C
测试条件是典型阻性负载连接到输出（除非另外说明）：R_L = 3.3 Ω

Table 20 Electrical Characteristics: Diagnosis - General

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or Test Condition	Number
		Min.	Typ.	Max.			
SENSE Saturation Current	$I_{IS(SAT)}$	4.4	–	15	mA	V_S = 8 V to 18 V R_{SENSE} = 1.2 kΩ See Figure 34	P_9.6.0.13
SENSE Saturation Current	$I_{IS(SAT)}$	4.1	–	15	mA	V_S = 6 V to 18 V R_{SENSE} = 1.2 kΩ See Figure 34	P_9.6.0.14
SENSE Leakage Current when Disabled	$I_{IS(OFF)}$	–	0.01	0.5	µA	DEN = “low” $I_L \geq I_{L(NOM)}$ V_{IS} = 0 V	P_9.6.0.2
SENSE Leakage Current when Enabled at $T_J \leq 85$ °C	$I_{IS(EN)_85}$	–	0.2	1	µA	$T_J \leq 85$°C DEN = “high” I_L = 0 A See Figure 31	P_9.6.0.3
SENSE Leakage Current when Enabled at T_J = 150 °C	$I_{IS(EN)_150}$	–	0.2	1	µA	T_J = 150 °C DEN = “high” I_L = 0 A See Figure 31	P_9.6.0.4
Saturation Voltage in k_{ILIS} Operation (V_S - V_{IS})	V_{SIS_k}	–	0.5	1	V	V_S = 6 V IN = DEN = “high” $I_L \leq 1.2 * I_{L(NOM)}$	P_9.6.0.6
Saturation Voltage in Open Load at OFF Diagnosis (V_S - V_{IS})	V_{SIS_OL}	–	0.5	1	V	V_S = 6 V IN = “low” DEN = “high”	P_9.6.0.7
Saturation Voltage in Fault Diagnosis (V_S - V_{IS})	V_{SIS_F}	–	0.5	1	V	V_S = 6 V IN = “low” DEN = “high” counter > 0	P_9.6.0.8
Power Supply to IS Pin Clamping Voltage at T_J = -40 °C	$V_{SIS(CLAMP)_-40}$	33	36.5	42	V	I_{IS} = 1 mA T_J = -40 °C See Figure 17	P_9.6.0.9
Power Supply to IS Pin Clamping Voltage at $T_J \geq 25$ °C	$V_{SIS(CLAMP)_25}$	35	38	44	V	I_{IS} = 1 mA $T_J \geq 25$ °C See Figure 17	P_9.6.0.10

9.5.1 诊断电气特性参数 - PROFET™

Table 21 Electrical Characteristics: Diagnosis - PROFET™

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or Test Condition	Number
		Min.	Typ.	Max.			
SENSE Fault Current	$I_{IS(FAULT)}$	4.4	5.5	10	mA	See Figure 34 and Figure 35	P_9.6.1.1
SENSE Open Load in OFF Current	$I_{IS(OLOFF)}$	1.9	2.5	3.5	mA	See Figure 34 and Figure 35	P_9.6.1.2
SENSE Delay Time at Channel Switch ON after Last Fault Condition	$t_{IS(FAULT)_D}$	–	500	–	µs	See Figure 32	P_9.6.1.3
SENSE Open Load in OFF Delay Time	$t_{IS(OLOFF)_D}$	30	70	120	µs	$V_{DS} < V_{OL(OFF)}$ from IN falling edge to $I_{IS} = I_{S(OLOFF),MIN} * 0.9$ DEN = “high” counter = 0 See Figure 36	P_9.6.1.4
Open Load V_{DS} Detection Threshold in OFF State	$V_{DS(OLOFF)}$	1.3	1.8	2.3	V	See Figure 35	P_9.6.1.5
SENSE Settling Time with Nominal Load Current Stable	$t_{sIS(ON)}$	–	5	20	µs	$I_L = I_{L(CAL)}$ from DEN rising edge to $I_{IS} = I_L / (k_{ILIS,MAX} @ I_L) * 0.9$ See Figure 37	P_9.6.1.6
SENSE Settling Time with Small Load Current Stable	$t_{sIS(ON)_SLC}$	–	–	60	µs	$I_L = I_{L(CAL)_OL}$ from DEN rising edge to $I_{IS} = I_L / (k_{ILIS,MAX} @ I_L) * 0.9$	P_9.6.1.13
SENSE Disable Time	$t_{sIS(OFF)}$	–	5	20	µs	From DEN falling edge to $I_{IS} = I_{IS(OFF)}$ See Figure 37	P_9.6.1.8
SENSE Settling Time after Load Change	$t_{sIS(LC)}$	–	5	20	µs	from $I_L = I_{L(CAL)_L}$ to $I_L = I_{L(CAL)}$ (see $\Delta k_{ILIS(NOM)}$) See Figure 37	P_9.6.1.9
SENSE Settling Time after Load Change with Small Load Current	$t_{sIS(LC)_SLC}$	–	250	400	µs	DEN = “high” from Load Change to $I_{IS} = I_L / (k_{ILIS} @ I_L)$ from $I_{L(CAL)}$ to $I_{L(CAL)_OL}$	P_9.6.1.14

（表格续下页……）

Table 21 (continued) Electrical Characteristics: Diagnosis - PROFET™

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or Test Condition	Number
		Min.	Typ.	Max.			
SENSE Settling Time after Channel Change	$t_{sIS(CC)}$	–	5	20	µs	Start channel: $I_L = I_{L(CAL)}$ End channel: $I_L = I_{L(CAL)_L}$ (see $\Delta k_{ILIS(NOM)}$) See Figure 39	P_9.6.1.10
SENSE Settling Time after Channel Change with Small Load Current	$t_{sIS(CC)_SLC}$	–	–	60	µs	DEN = “high” from DSEL toggling to $I_{IS} = I_L / (k_{ILIS,MIN} @ I_L) * 1.1$ Start channel: $I_L = I_{L(CAL)}$ End Channel: $I_L = I_{L(CAL)_OL}$ (see $\Delta k_{ILIS(NOM)}$ and $\Delta k_{ILIS(OL)}$)	P_9.6.1.15

9.6 电气特性诊断 - 功率输出级

V_S = 6 V 到 18 V，T_J = -40 °C 到 +150 °C

典型值：V_S = 13.5 V，T_J = 25 °C

测试条件是典型阻性负载连接到输出（除非另外说明）：R_L = 3.3 Ω

9.6.1 诊断功率输出级 - 10mΩ

Table 22 Electrical Characteristics: Diagnosis - 10 mΩ

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or Test Condition	Number
		Min.	Typ.	Max.			
Open Load Output Current at I_{IS} = 4 µA	$I_{L(OL)_4u}$	7	19	34	mA	$I_{IS} = I_{IS(OL)}$ = 4 µA See Figure 31	P_9.7.2.1
Current Sense Ratio at $I_L = I_{L02}$	k_{ILIS02}	-34.5%	5000	+34.5%		I_{L02} = 20 mA	P_9.7.2.6
Current Sense Ratio at $I_L = I_{L05}$	k_{ILIS05}	-25.5%	5000	+25.5%		I_{L05} = 100 mA	P_9.7.2.9
Current Sense Ratio at $I_L = I_{L08}$	k_{ILIS08}	-22.5%	5000	+22.5%		I_{L08} = 250 mA	P_9.7.2.12

（表格续下页……）

Table 22 (continued) Electrical Characteristics: Diagnosis - 10 mΩ

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or Test Condition	Number
		Min.	Typ.	Max.			
Current Sense Ratio at $I_L = I_{L11}$	k_{ILIS11}	-13.0%	5000	+13.0%		I_{L11} = 1 A	P_9.7.2.15
Current Sense Ratio at $I_L = I_{L13}$	k_{ILIS13}	-10.0%	5000	+10.0%		I_{L13} = 2 A	P_9.7.2.17
Current Sense Ratio at $I_L = I_{L15}$	k_{ILIS15}	-9.0%	5000	+9.0%		I_{L15} = 4 A	P_9.7.2.19
Current Sense Ratio at $I_L = I_{L17}$	k_{ILIS17}	-8.0%	5000	+8.0%		I_{L17} = 7 A	P_9.7.2.21
SENSE Current Derating with Low Current Calibration	$\Delta k_{ILIS(OL)}$	-16	0	+16	%	$I_{L(CAL)_OL} = I_{L05}$ $I_{L(CAL)_OL_H} = I_{L08}$ $I_{L(CAL)_OL_L} = I_{L02}$ $T_{A(CAL)}$ = 25 °C See Figure 30	P_9.7.2.27
SENSE Current Derating with Nominal Current Calibration	$\Delta k_{ILIS(NOM)}$	-4	0	+4	%	$I_{L(CAL)} = I_{L15}$ $I_{L(CAL)_H} = I_{L17}$ $I_{L(CAL)_L} = I_{L13}$ $T_{A(CAL)}$ = 25 °C See Figure 30	P_9.7.2.29

10 应用信息

注释： *以下信息是为了帮助设计和实现器件的应用，而不是对器件的功能、性能或质量做出任何承诺或保证。*

10.1 应用电路简图

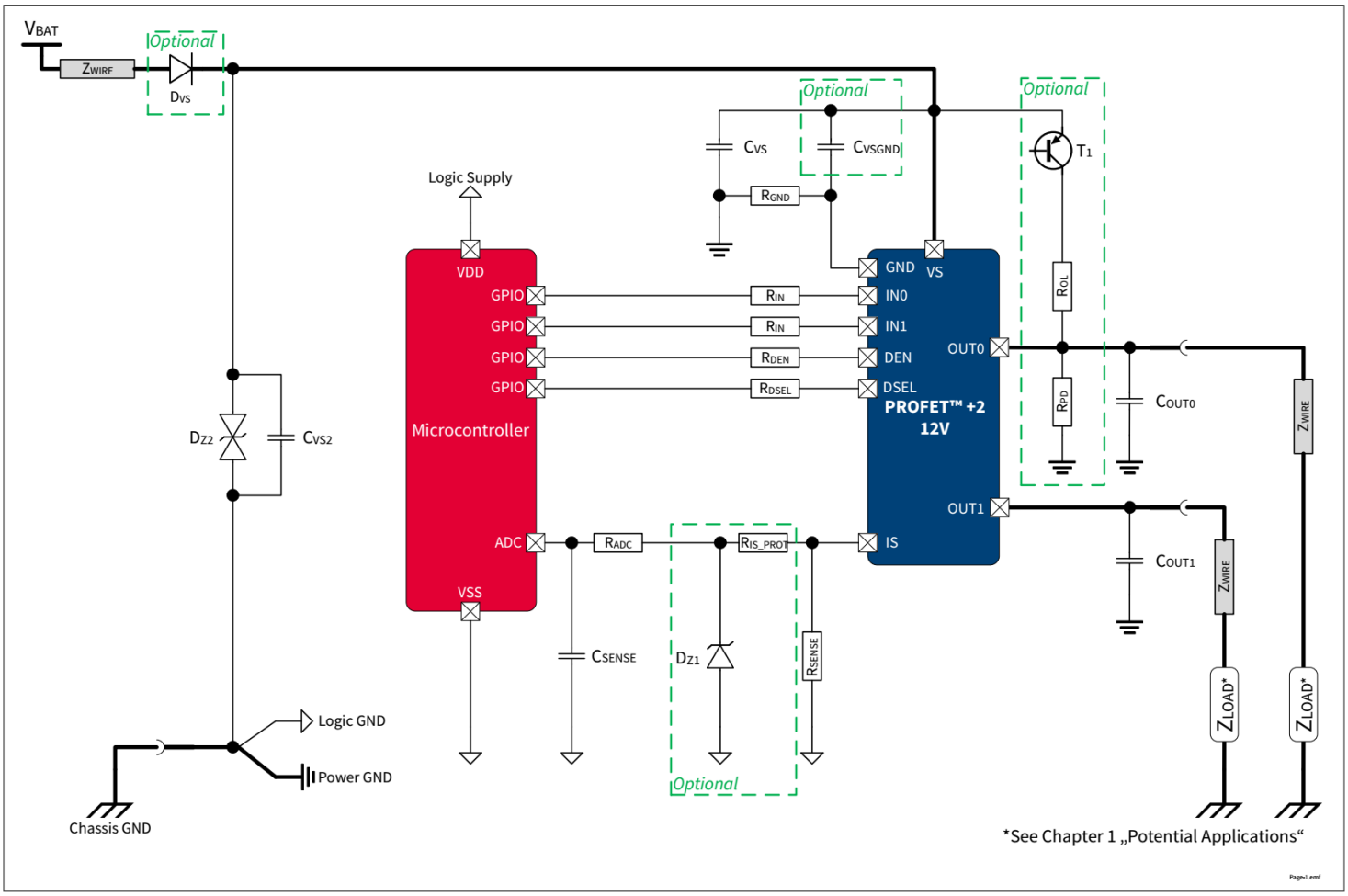


Figure 40 CTS1010-2EPA Application Diagram

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。*

10.2 外部组件

Table 23 Suggested Component values

Reference	Value	Purpose
R_{IN}	4.7 kΩ	Protection of the microcontroller during Overvoltage and Reverse Polarity Necessary to switch OFF CTS1010-2EPA output during Loss of Ground
R_{DEN}	4.7 kΩ	Protection of the microcontroller during Overvoltage and Reverse Polarity Necessary to switch OFF CTS1010-2EPA output during Loss of Ground
R_{DSEL}	4.7 kΩ	Protection of the microcontroller during Overvoltage and Reverse Polarity Necessary to switch OFF CTS1010-2EPA output during Loss of Ground
R_{PD}	47 kΩ	Output polarization (pull-down) Ensures polarization of CTS1010-2EPA outputs to distinguish between Open Load and Short to V_S in OFF Diagnosis
R_{OL}	1.5 kΩ	Output polarization (pull-up) Ensures polarization of CTS1010-2EPA output during Open Load in OFF diagnosis
C_{OUT}	10 nF	Protection of CTS1010-2EPA output during ESD events and BCI
T_1	BC 807	Switch the battery voltage for Open Load in OFF diagnosis
C_{VS}	100 nF	Filtering of voltage spikes on the battery line
C_{VSGND}	47 nF	Buffer capacitor for fast transient A placeholder on PCB layout is recommended
D_{VS}	AUIR324x, for example	Q-diode for reverse battery
D_{Z2}	33 V TVS Diode	Transient Voltage Suppressor diode Protection during Overvoltage and in case of Loss of Battery while driving an inductive load
C_{VS2}	–	Filtering / buffer capacitor located at V_{BAT} connector
R_{SENSE}	1.2 kΩ	SENSE resistor
R_{IS_PROT}	4.7 kΩ	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_{ADC}	4.7 kΩ	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_{ADC} * C_{SENSE}) longer than 1 µs is recommended
R_{GND}	47 Ω	Protection in case of Overvoltage and Loss of Battery while driving inductive loads

10.3 附加申请信息

- 如需更多信息，请点击 http://www.infineon.cn

11 封装外形

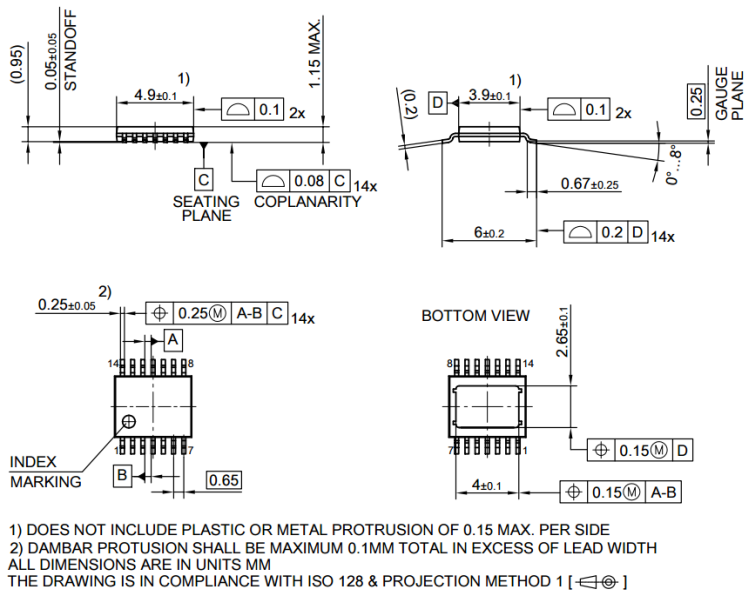


Figure 41 PG-TSDSO-14 (Thin (Slim) Dual Small Outline 14 pins) Package Outline

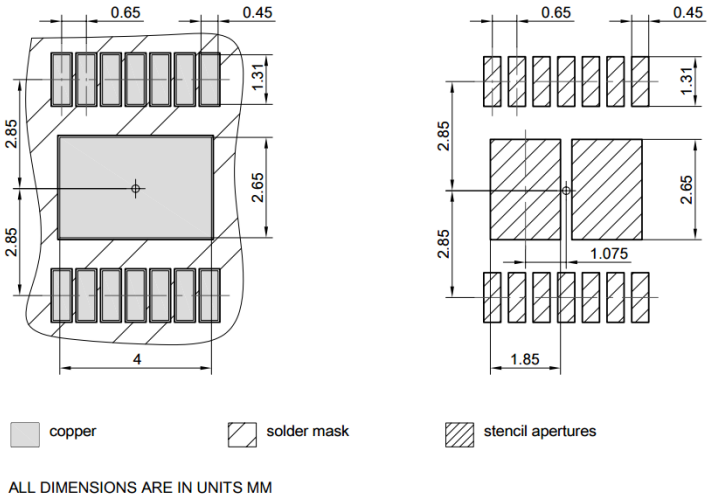


Figure 42 PG-TSDSO-14 (Thin (Slim) Dual Small Outline 14 pins) Package pads and stencil

Green product (RoHS compliant)

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）。

有关封装的更多信息，请访问

https://www.infineon.com/packages

修订记录

Version	Date of release	Description of changes
Rev. 1.00	2026-06-16	Datasheet available

Trademarks

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

Edition 2026-06-16

Published by

Infeon Technologies

AG 81726 Munich,

Germany

© 2026 Infeon Technologies AG All Rights Reserved.

Do you have a question about any aspect of this document?

Email: erratum@infineon.com

Document reference IFX-clx1751013910512

Important notice

Products which may also include samples and may be comprised of hardware or software or both ("Product(s)") are sold or provided and delivered by Infineon Technologies AG and its affiliates ("Infineon") subject to the terms and conditions of the frame supply contract or other written agreement(s) executed by a customer and Infineon or, in the absence of the foregoing, the applicable Sales Conditions of Infineon. General terms and conditions of a customer or deviations from applicable Sales Conditions of Infineon shall only be binding for Infineon if and to the extent Infineon has given its express written consent.

For the avoidance of doubt, Infineon disclaims all warranties of non-infringement of third-party rights and implied warranties such as warranties of fitness for a specific use/purpose or merchantability. Infineon shall not be responsible for any information with respect to samples, the application or customer's specific use of any Product or for any examples or typical values given in this document.

If this document is marked as 'Preliminary', 'Target', 'Draft' or 'Proposal', Infineon reserves the right to change all information given in this document at any time without notice. Subject to the development and release of a Product for series supply by Infineon, the technical specifications of the Product are set forth in the relevant datasheet provided by Infineon without such marking.

The data contained in this document is exclusively intended for technically qualified and skilled customer representatives. It is the responsibility of the customer to evaluate the suitability of the Product for the intended application and the customer's specific use and to verify all relevant technical data contained in this document in the intended application and the customer's specific use. The customer is responsible for properly designing, programming, and testing the functionality and safety of the intended application, as well as complying with any legal requirements related to its use.

Unless otherwise explicitly approved by Infineon, Products may not be used in any application where a failure of the Products or any consequences of the use thereof can reasonably be expected to result in personal injury.

However, the foregoing shall not prevent the customer from using any Product in such fields of use that Infineon has explicitly designed and sold it for, provided that the overall responsibility for the application lies with the customer. Infineon expressly reserves the right to use its content for commercial text and data mining (TDM) according to applicable laws, e.g. Section 44b of the German Copyright Act (UrhG). If the Product includes security features:

Because no computing device can be absolutely secure, and despite security measures implemented in the Product, Infineon does not guarantee that the Product will be free from intrusion, data theft or loss, or other breaches ("Security Breaches"), and Infineon shall have no liability arising out of any Security Breaches.

If this document includes or references software:

The software is owned by Infineon under the intellectual property laws and treaties of the United States, Germany, and other countries worldwide. All rights reserved. Therefore, you may use the software only as provided in the software license agreement accompanying the software.

If no software license agreement applies, Infineon hereby grants you a personal, non-exclusive, non-transferable license (without the right to sublicense) under its intellectual property rights in the software

(a) for software provided in source code form, to modify and reproduce the software solely for use with Infineon hardware products, only internally within your organization, and (b) to distribute the software in binary code form externally to end users, solely for use on Infineon hardware products. Any other use, reproduction, modification, translation, or compilation of the software is prohibited.

For further information on the Product, technology, delivery terms and conditions, and prices, please contact your nearest Infineon office or visit www.infineon.com.

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.

版本 **2026-06-16**

Infineon Technologies AG 出版，
德国 **Neubiberg 85579**

版权 © **2026 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

重要通知

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，如无上述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档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。

如果本文档包含或引用软件：
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**。