

极限参数 (Ta=25°C)

符号	含义	参数	单位
V _{S MAX.}	原边电源电压最高值	+16	V
I _{S MAX.}	原边电源电流的最大值	430	mA
P _{DC/DC}	DC/DC 隔离电源输出的总功率	6	W
V _{in}	最高 PWM 输入电平 (V _{in A} ; V _{in B})	V _S +0.5	V
V _{IH}	最高逻辑信号输入电压 (模式选择、复位信号及外部故障)	V _S +0.5	V
I _{OC}	最大逻辑信号输出电流 (集电极开路输出电流)	10	mA
I _{outAV}	每通道输出的平均电流	120	mA
I _{outPEAK}	每通道输出的峰值电流	±15	A
V _{CES}	SiC-MOSFET 集电极 - 发射极电压	1700	V
V _{isol IO}	输入 - 输出隔离电压 (1 minute, AC)	5000	V
V _{isol AB}	输出 A- 输出 B 隔离电压 (1 minute, AC)	4000	V
R _{Gon/off min}	最小门极开通 / 关断电阻	1.6	Ω
Q _{out/pulse}	输出电荷	±10	μC
dv/dt	电压变化率	75	kV/μs
f _{SW max}	最高工作频率	200	kHz
T _{op}	工作温度	-40...+80	°C
T _{stg}	储存温度	-45...+85	°C

电气参数 (Ta=25°C)

符号	含义	参数			单位
		Min.	Typ.	Max.	
V _S	原边电源电压	14.5	15	15.5	V
I _S	原边空载电流 f _{SW} =0 f _{SW} =20kHz f _{SW} =100kHz		75 95 125		mA
V _{IT+}	输入高电平门槛: 15V 电平 5V 电平	12 3.2			V
V _{IT-}	输入低电平门槛: 15V 电平 5V 电平			4.5 1.9	V
R _{in}	输入阻抗		33		kΩ
V _{G(on)}	门极开通电压		+19		V
V _{G(off)}	门极关断电压		-4.5		V
t _{d(on)IO}	开通信号输入 - 输出延时		250		ns
t _{d(off)IO}	关断信号输入 - 输出延时		250		ns
t _{d(err)}	故障信号返回延时 V _{CE} 故障发生 - 错误信号输出		110		ns
t _{md}	窄脉冲抑制		100		ns
V _{DS(stat)}	V _{CE} 监测参考电压		7.5		V
V _{level}	逻辑电平 (外部故障输入; 复位信号; 模式选择)		+8		V
t _{P(reset)}	V _{in} 输入双低自动复位时间		10		μs
t _{TD}	死区时间 (出厂默认)	50	500		ns
C _{PS}	一二次之间的分布电容		8		pf

* 注意! Pin3; Pin4 二个引脚不得直接连接到电源 V_S 或地 GND, R_{TD} 最小值为 1kΩ; 对应的 t_{TD} 约为 50ns。



POWER-SEM Dual SiC Driver 2DI 615-SiC

双路大功率 SiC-MOSFET 驱动核

特点

- 基于 ASIC 设计的双路 SiC-MOSFET 驱动核
- 为 600V-1700V SiC-MOSFET 设计
- 可选择半桥互锁模式或二个单路模式
- 监测 V_{CEsat} 提供短路及过流保护
- 纳米晶变压器隔离
- 电源欠压保护 (<12.5V 保护)
- 故障记忆
- 半桥模式下具有上下管互锁功能
- 死区时间可调
- 集成双路 DC/DC 隔离电源
- ±15A 峰值电流输出
- SiC-MOSFET 门极驱动电压 +19V/-4.5V
- 250ns 信号转换时间
- 110ns 故障信号回馈时间
- 100ns 窄脉冲抑制消除射频干扰
- 最高工作频率 200kHz
- 具备故障同步功能, 低电平有效
- 原边 - 付边的空气间隙距离 39mm
- 提供表面贴装型号适合规模生产

应用

- 单路或桥式电路
- 变频器
- 电焊机
- 感应加热
- 逆变器
- 大功率 UPS
- 大功率高频开关电源



驱动器内部的核心芯片组 (ASICs) 及功率输出级器件均为静电敏感 MOS 工艺器件, 虽然我们在驱动器的各个端口都做了 ESD 保护, 但在在使用过程中仍然需要特别注意, 谨防静电危害!

引脚功能与定义

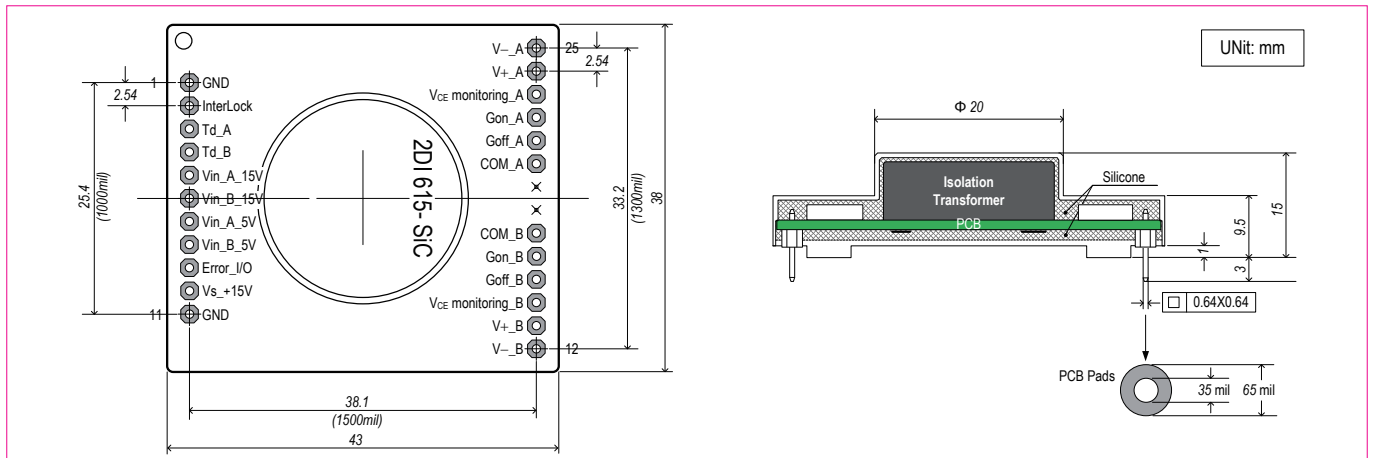
原边

引脚	符号	功能
1	GND	电源地及信号地
2	Interlock	互锁模式选择： 接地：二个单路模式 悬空：半桥互锁模式
3	T _{DA}	A 通道互锁死区时间设置 (半桥模式有效)
4	T _{DB}	B 通道互锁死区时间设置 (半桥模式有效)
5	V _{in} 15V A	A 通道 15V 电平 PWM 输入端 (不用时必须接地)
6	V _{in} 15V B	B 通道 15V 电平 PWM 输入端 (不用时必须接地)
7	V _{in} 5V A	A 通道 5V 电平 PWM 输入端 (不用时必须接地)
8	V _{in} 5V B	B 通道 5V 电平 PWM 输入端 (不用时必须接地)
9	Error In/Out	错误信号输入 / 输出端 集电极开路输出, 低电平有效
10	V _s	驱动器供电电源, +15V
11	GND	电源地及信号地

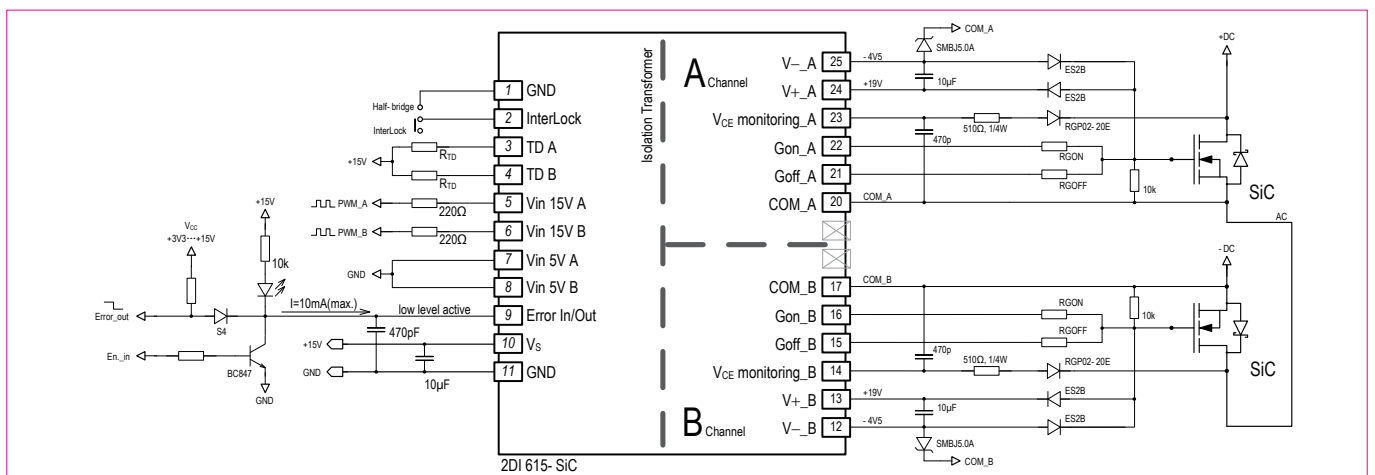
付边

引脚	符号	功能
25	V-	A 通道隔离电源 -4.5V
24	V+	A 通道隔离电源 +19V
23	V _{CE} monitoring	A 通道 V _{DS} 监测端 通过隔离二极管接 SiC-MOSFET 漏极 D
22	R _{GON}	A 通道开通信号输出端 通过门极电阻 R _{Gon} 连接到 SiC-MOSFET 门极 G
21	R _{GOFF}	A 通道关断信号输出端 通过门极电阻 R _{Goff} 连接到 SiC-MOSFET 门极 G
20	COM	A 通道模拟地, 直接连接到 SiC-MOSFET 源极 S
19	N.C	空脚 (没有引脚)
18	N.C	空脚 (没有引脚)
17	COM	B 通道模拟地, 直接连接到 SiC-MOSFET 源极 S
16	R _{GON}	B 通道开通信号输出端 通过门极电阻 R _{Gon} 连接到 SiC-MOSFET 门极 G
15	R _{GOFF}	B 通道关断信号输出端 通过门极电阻 R _{Goff} 连接到 SiC-MOSFET 门极 G
14	V _{CE} monitoring	B 通道 V _{DS} 监测端 通过隔离二极管接 SiC-MOSFET 漏极 D
13	V+	B 通道隔离电源 +19V
12	V-	B 通道隔离电源 -4.5V

外形及安装尺寸



引脚排列与典型应用：



一、产品简介

2DI 615 SiC-MOSFET 驱动器是专为 V_{CE} 电压为 1700V 以下的 SiC-MOSFET 模块设计的智能型通用大功率驱动器，驱动器核心基于 DMOS 工艺的专用芯片组 (ASICs) 设计，外围简单，体积小，使用灵活，性价比高。驱动核采用有机硅胶整体真空灌封，具有抗冲击，耐侯，抗老化及超高的介电强度 ($\geq 25kV/mm$) 和优异的防水防潮特性。驱动器具有很强的适应能力，通过改变外接的几个参数或功能即可适应不同的应用，只需简单调整 SiC-MOSFET 门极电阻 R_G 的值即可驱动不同型号的 SiC-MOSFET。

驱动器可以以半桥互锁或者二个单路独立的模式驱动两只 SiC-MOSFET，为了提供高抗干扰能力，控制信号采用 +15V 电平，整个逻辑处理同样用 +15V 电压完成。

驱动器内部集成的变压器分三个部分：两个脉冲变压器和双通道的 DC-DC 开关电源。DC/DC 电源原付边之间可以承受 50Hz 交流 5kV/1 分钟的高隔离电压，使得控制侧免受来自付边侧的高电压损害，确保控制侧的安全。DC-DC 电源的原边 +15V 电源可以直接来自控制系统，多块驱动器可以共用一个 +15V 电源，无需隔离。开关信号经过编码后通过纳米非晶变压器来传输， dv/dt 高达 $75kV/\mu s$ ，具有很强的抗干扰能力。

二、系统构成与应用

2.1 信号电平

驱动器的信号输入分别设有 15V 电平输入端 V_{in15V} 及 5V 信号输入端 V_{in5V} ， V_{in15V} 的输入电平最高值为 $V_S+0.5V$ ； V_{in5V} 的输入电平最高值为 $5V+0.5V$ ，输入阻抗均为 $33k\Omega$ 。不用的输入端必须可靠接地，不得悬空。输入级内置的施密特触发器翻转阈值分别为：

V_{IN}	V_{IT+} (High)	V_{IT-} (Low)
15V input level	12.4V	4.5V
5V input level	3.2V	1.9V

不论是独立工作模式还是半桥工作模式，驱动器均为正逻辑控制，即**输入高电平时 SiC-MOSFET 开通；输入低电平时 SiC-MOSFET 关断。**

驱动器内置窄脉冲抑制电路，小于 100ns 的窄脉冲将被抑制。为或得高抗扰性能，建议使用 15V 电平控制，且控制器与驱动器之间的连接线要尽可能的短，如果连接线较长建议使用屏蔽电缆连接或外接干扰抑制网络。

电平转换推荐使用推荐使用 CD4504B 六路 TTL 转 COMS 电平转换电路，电路简单而且经济。如图所示

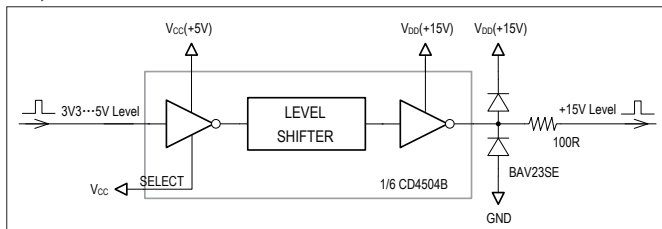


图 2.1, CD4504B 六路 TTL 转 COMS 电平转换电路

2.2 逻辑电平及故障管理

逻辑电平：

这里的“逻辑电平”包括：故障输入、模式选择及故障复位。

逻辑电平输入（故障输入和模式选择）的最高值为： $V_S+0.5V$ ，翻转阈值为 8V，利用现有的 15V 做逻辑信号非常合适。

故障复位：

故障双低自动复位，故障后驱动器可以通过 $V_{in A}$ ； $V_{in B}$ 两个 PWM 信号激活复位，当二个 PWM 信号同时为低电平超过 $10\mu s$ ，驱动器将解除“故障记忆”并自动复位。如图 2.2a

故障管理：

驱动器可以监测到 SiC-MOSFET 的短路、过流及原边、付边的电源欠压故障。

如果驱动器通过 V_{CEsat} 监测到过电流故障则驱动器立即封锁 SiC-MOSFET 驱动信号，并通过 "Error In/Out" 端口 ($X_S, 10$ 引脚) 向外部输出一个**低电平故障**信号。“故障记忆”电路封锁所有脉冲输出并保持到当两个 PWM 的输入信号同时为低电平大于 $10\mu s$ 时复位。“Error In/Out”端口 ($X_S, 10$ 引脚) 的故障输出为集电极开路输出，内置 $50k\Omega$ 上拉电阻，最大灌入电流为 $10mA$ ，多块驱动器可共用一条故障输出线路，外部无需接上拉电阻。

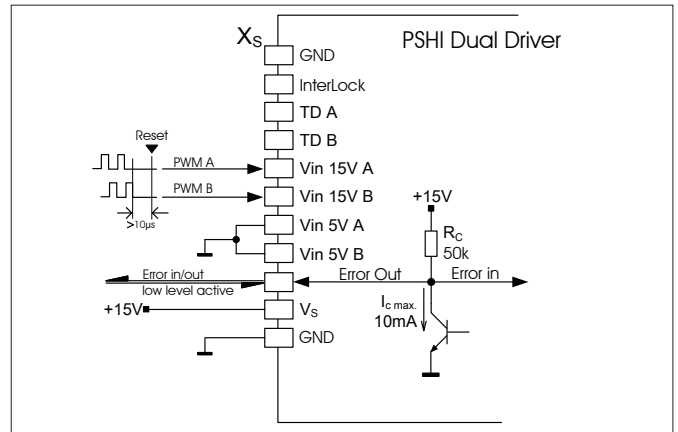


图 2.2a 故障复位与集电极开路输出

另外，“Error In/Out”端口同时也是外部故障的输入端，阈值为 8V，当“Error In/Out”端口 ($X_S, 10$ 引脚) 接收到外部输入的低电平 ($< 8V$) 故障信号时，驱动器立即封锁所有驱动信号输出。外部故障输入不会激活“故障记忆”，当外部故障信号消失后封锁自动解除。多块驱动器的 $X_S, 10$ 引脚可以连接到一起用来实现故障连锁。

注意！当“Error In/Out”端口的外部（控制器）上拉电平低于 12V 时（例如 5V），“Error In/Out”端口到控制器需要外接一只二极管做电平隔离。否则，驱动器“Error In/Out”端口的外部故障输入功能将被激活并封锁所有驱动信号。如果上拉电平为 15V，则直接连接，无需隔离。如图 2.2b

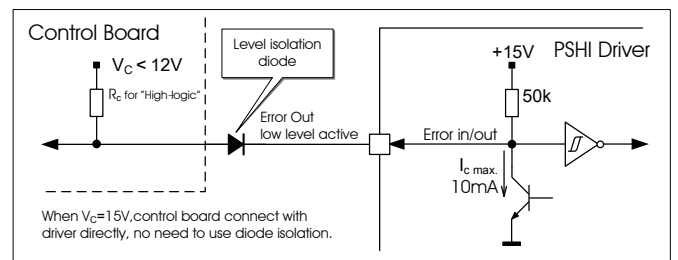


图 2.2b 外部上拉电平低于 8V 时的连接

“Error In/Out”端口同样可以做为使能控制端使用，高电平使能，低电平封锁，如图所示

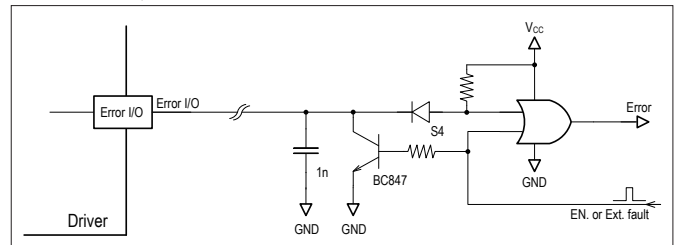


图 2.1, 有使能控制的故障输出接口示意图

2.3 工作模式选择

2DI 615 有两种工作模式驱动 SiC-MOSFET，可选择二个单路的独立模式或半桥互锁模式。

独立模式：在这种模式下，2DI 615 中的两个通道之间没有电气关联。A 通道和 B 通道独立工作并且可以同时开通。独立模式可以通过将 X_{S,3} 引脚“互锁模式选择”接地（如连接到 X_{S,2} 引脚）来激活，该模式下死区时间无效，死区时间设置端 T_DA(X_{S,4} 引脚)和 T_DB(X_{S,5} 引脚)悬空。

半桥互锁模式：该模式可以在驱动器的两个通道之间产生互锁，禁止上下管同时导通，只允许一个通道有效，并产生一个互锁死区时间。死区时间的设定可通过 T_DA(X_{S,4} 引脚)和 T_DB(X_{S,5} 引脚)的外接电阻来实现。半桥互锁模式可以通过将 X_{S,3} 引脚互锁模式选择“悬空或连接到电源 V_S（如 X_{S,11} 引脚）来激活。死区作用如图 2.3

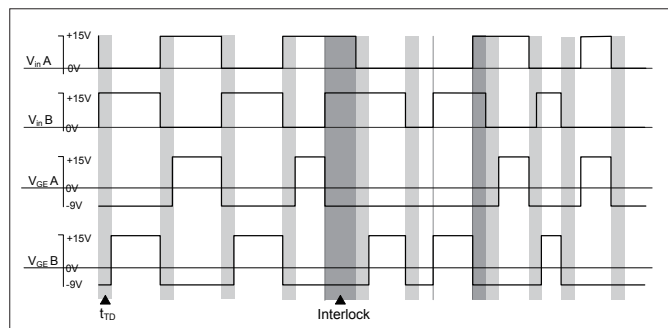


图 2.3 互锁与死区作用时间

互锁死区时间的设置：在半桥模式下，2DI 615 在两个通道之间产生一个内部互锁死区时间。这个互锁死区时间 T_D 出厂默认为 5μs。在两个输入端 T_DA(X_{S,4} 引脚)和 T_DB(X_{S,5} 引脚)对电源 V_S 外接一个电阻与驱动器内部的 R_{T_D} 电阻并联可以减少互锁死区时间；对地 GND（如引脚 X_{S,2}）外接一个电容与驱动器内部的 C_{T_D} 电容并联可增加互锁死区时间。要根据实际应用来调整。互锁死区时间相对应的电阻值如表 2.3 所示。

R _{T_D}	t _{T_D}	R _{T_D}	t _{T_D}
不接	5 μs	100 kΩ	2.5 μs
820 kΩ	4.5 μs	68 kΩ	2 μs
430 kΩ	4.0 μs	43 kΩ	1.5 μs
330 kΩ	3.8 μs	33 kΩ	1.25 μs
220 kΩ	3.4 μs	22 kΩ	0.9 μs
150 kΩ	3 μs	10 kΩ	0.45 μs

表 2.3 互锁死区时间 t_{T_D} 与电阻值 R_{T_D} 的对应关系

互锁死区时间的误差由外部的电阻值来决定，实际应用时要尽量选择阻值误差小的电阻使用。

注意！X_{S,4}、X_{S,5} 二个引脚不得直接连接到电源 V_S 或地 GND。如果只需要互锁并不需要死区，可以通过 T_DA（引脚 X_{S,4}）和 T_DB（引脚 X_{S,5}）对电源 V_S 外接一个小阻值电阻来获得一个很小的死区时间来实现（例如 R_{T_D} = 1kΩ，t_{T_D} 大约为 0.05μs）。

2.4 电源

2DI 615 内部集成了一个双路 DC-DC 隔离电源，可以产生驱动 SiC-MOSFET 所需要的 +19V/-4.5V 付边电压。因此驱动器仅需要一个 +15V 的供电电源。如果是用来驱动一个大功率的 SiC-MOSFET，这里的 V_S 需要安装一个额外的稳压电容 C_{DC}。该稳压电容 C_{DC} 最大值不要大于 50μF。

2DI 615 具有原边及付边欠压监测的功能。如果原边或付边的供电电压低于 +12.5V，这时将产生一个故障信号关断驱动器，同时通过 X_{S,10} 引脚向外部发出一个低电平的故障信号。

2.5 SiC-MOSFET 的连接

2DI 615 可以通过两个独立的通道驱动二个单管 SiC-MOSFET，也可以以半桥模式驱动一个 SiC-MOSFET 半桥，驱动器适配板的最大尺寸取决于所要驱动的 SiC-MOSFET 门极输入电容 C_{ies} 的容量和开关频率。

在计算门极电流时还需要把 SiC-MOSFET 内部的门极电阻考虑进去，因为许多大功率 SiC-MOSFET 内部已经集成了一个门极电阻 R_{Gint}（参考 SiC-MOSFET 说明），只简单地通过外部门极电阻来计算门极电流是不实际的。

驱动功率和峰值电流的近似值可以由以下公式得出：

$$P_G = f_{SW} \times \Delta V_{GE}^2 \times C_{ies} \times 3$$

$$P = P_G + P_S$$

$$I_{G\ MAX} = \frac{\Delta V_{GE}}{R_{G\ min}}$$

f_{sw}：开关频率

C_{ies}：IGBT 门极输入电容

ΔV_{GE}：门极电压差

P_S：驱动器的功耗

R_{G min} = R_{G extem} + R_{G intern}

驱动器的最高开关频率和平均电流的近似值可以由以下公式得出：

$$f_{SW\ max} = \frac{I_{outAV} (mA)}{Q_G (\mu C)}$$

f_{sw max}：最高开关频率

I_{outAV}：驱动器单路的平均电流

Q_G：门极电压差 ΔV_{GE} 下的 IGBT 门极总电荷

门极的连接：

SiC-MOSFET 门极通过外部门极电阻 R_{GON} 及 R_{GOFF} 分别连接到驱动器的 R_{GON}(X_{A,3}；X_{B,4} 引脚)；R_{GOFF}(X_{A,2}；X_{B,3} 引脚) 端口。SiC-MOSFET 的辅助发射极与驱动器的模拟地 COM（引脚 X_{A,1}；X_{B,5}）输出直接连接。驱动器门极输出的开通电压 V_{GE} 为 +15V，关断电压为 -9V，外部门极电阻 R_{GON} 及 R_{GOFF} 要根据所驱动的 SiC-MOSFET 参数做相应选择（参考 SiC-MOSFET 厂家所提供的 datasheet）。

除门极电阻 R_{GON} 及 R_{GOFF} 之外，还要有一个门极-发射极电阻 R_{GE} 及门极箝位电路。推荐 R_{GE} 电阻值为 10kΩ，门极箝位由击穿电压为 18V 的齐纳二极管或双向抑制二极管 TVS 实现。这些二极管可以保证 SiC-MOSFET 门极电压不会因为存在寄生效应（例如米勒效应）而大幅上升。

为防止关断尖峰对 SiC-MOSFET 带来的危害，有必要在 SiC-MOSFET 门极增加一个有源箝位电路将电压尖峰控制在安全范围之内，有源箝位电路一般由一只或几只单向瞬态浪涌抑制二极管 (TVS) 及一只反向阻断二极管构成，尖峰电压的阈值由 TVS 的击穿电压决定，阈值电压设定为 SiC-MOSFET 阻断电压的 80% 较为合适。

1×P6SMB440A 适合 600V SiC-MOSFET；

2×P6SMB440A 适合 1200V SiC-MOSFET；

3×P6SMB440A 适合 1700V SiC-MOSFET；

驱动器到 SiC-MOSFET 门极的连接线推荐使用双绞线连接，并且应尽可能地短（一般不要超过 200mm）。另外，建议把门极电阻 R_{GON} 及 R_{GOFF}、电压箝位二极管 D_Z 及门极-发射极电阻 R_{GE} 以及有源箝位电路放置在一小块门极 PCB 上，门极 PCB 必须尽量紧挨着 SiC-MOSFET 安装。如图 2.5

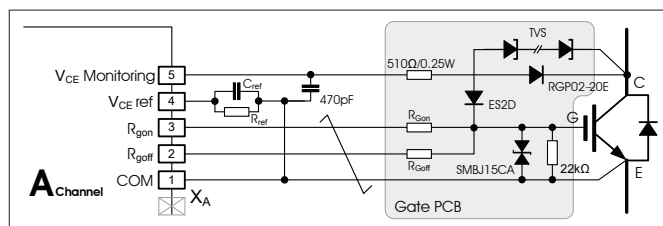


图 2.5 门极，集电极连接示意图

集电极的连接：

V_{CE sat} 监控

"V_{CE sat} 监控电路"负责 SiC-MOSFET 短路（过电流）监测，它在 SiC-MOSFET 处于导通状态时监测 SiC-MOSFET 的集电极-发射极电压 V_{CEsat}，V_{CEsat} 监控端（引脚 X_{A,5}；X_{B,1}）通过一个超快速高反向耐压的隔离二极管 (GRP02-20E) 和一个缓冲电阻 R_{CE}(510Ω;1/4W) 连接到 SiC-MOSFET 的集电极 C，直接测量

V_{CEsat} 来实现对短路（过电流）故障的监测。当 SiC-MOSFET 发生短路时， V_{CEsat} 监控电路立即关断 SiC-MOSFET 并封锁输出，同时发送一个故障信号到原边侧的故障记忆电路。

注意：由于隔离二极管的负极与高电压连接，建议负极用接线鼻子直接压接到 SiC-MOSFET 的集电极 C 的端子上，并做好二极管（包括引脚）的绝缘处理。如果隔离二极管与门极电阻一起被安装在 SiC-MOSFET 门极的 PCB 上面，必须注意隔离二极管的正极与负极之间及负极与其它元件之间的布线要有足够的隔离距离，以防爬电。

2.6 参考曲线 V_{CEref}

参考电压 V_{CEref} 可以根据 SiC-MOSFET 开关特性进行动态调整，当 SiC-MOSFET 关断时该值被复位。 V_{CEref} 不是静态的，而是在 SiC-MOSFET 导通瞬间开始大约从 15V 依照时间常数 τ （受 C_{ref} 控制）以指数形式下降到 V_{CEstat} （由 R_{ref} 决定）。（参见图 2.6a）

V_{CEsat} 监测的阈值 V_{CEstat} 是 V_{CEref} 的稳态值，受电阻 R_{ref} 控制，可通过电阻 R_{ref} 来调整到 SiC-MOSFET 所需要的最大值，正常状态下它的取值应为 $V_{CEstat} > V_{CEsat}$ ，最大不应超过 10V。 V_{CEref} 的延时时间受电容 C_{ref} 及电阻 R_{ref} 控制（见图 2.7），它控制 SiC-MOSFET 导通后到 V_{CEstat} 监测启动之间的盲区时间 t_{dead} 。为了避免误报故障，在 SiC-MOSFET 导通瞬间（这时的 $V_{CE} > V_{CEref}$ ）必须要为 V_{CEsat} 下降提供足够的盲区时间 t_{dead} 。因为 V_{CE} 信号监测的内部门极电压被限定在 10V，当 V_{CEref} 下降到 10V 时（即离开监测盲区 t_{dead} 后）只要 $V_{CEstat} > V_{CEref}$ ，“ V_{CEsat} 监控电路”即被触发并关断 SiC-MOSFET。

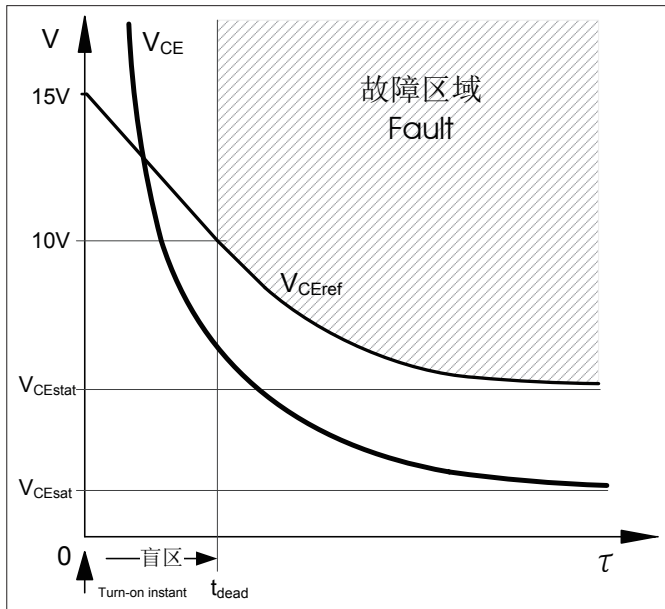


图 2.6a V_{CEsat} 电压监控曲线 V_{CEref} 及 SiC-MOSFET 导通瞬间的 V_{CE} 电压波形示意图

调整盲区时间 t_{dead} 可以调整“ V_{CE} 监控电路”的监控灵敏度，通过调整电容 C_{ref} 的值可以延长或缩短监测盲区来实现。

2DI 615 驱动器内置的 V_{CEref} 参数（出厂默认值）为 $R_{ref}=51\text{ k}\Omega$ ， $C_{ref}=470\text{ pF}$ ，对应的 $V_{CEstat}=7.5\text{ V}$ ， $t_{dead}=6.0\mu\text{s}$ 。实际使用时可以在 V_{CEref} （引脚 $X_A, 4$ ； $X_B, 2$ ）与模拟地 COM（引脚 $X_A, 1$ ； $X_B, 5$ ）之间外接相应的 R_{ref} 、 C_{ref} 与内部的电阻及电容并联来得到合适的 V_{CEref} 参数。如图 2.5

V_{CEref} 参数出厂默认值可以满足大部分 1700V SiC-MOSFET 模块直接使用。

如果是驱动 V_{CE} 电压为 1200V 的 SiC-MOSFET，建议安装一个 51kΩ 的 R_{ref} 电阻，对应的 $V_{CEstat} = 6.3\text{ V}$ ； $t_{dead} = 4.0\mu\text{s}$ 。

如果是驱动 V_{CE} 电压为 600V 的 SiC-MOSFET，建议安装一个 33kΩ 的 R_{ref} 电阻，对应的 $V_{CEstat} = 5.3\text{ V}$ ； $t_{dead} = 3.5\mu\text{s}$ 。如表 2.6

由于大部分 600V SiC-MOSFET 短路 SOA 的 t_{psc} 只有 $6\mu\text{s}$ ，驱动器的盲区时间 t_{dead} 必须小于 $5\mu\text{s}$ 。

R_{ref}	C_{ref}	V_{CEstat}	t_{dead}	推荐值
---	---	7.5 V	6.0 μs	出厂默认值
100 k Ω	---	6.8 V	4.8 μs	
	47 pF		5.5 μs	
51 k Ω	---	6.3 V	4.0 μs	
	47 pF		4.5 μs	
33 k Ω	---	5.3 V	3.5 μs	
	100 pF		4.2 μs	

表 2.6 外接阻容 R_{ref} ； C_{ref} 与 V_{CEstat} ； t_{dead} 的对应关系表

另外，在前期不接 SiC-MOSFET 的情况下测试驱动器的性能时，必须将二个通道的 V_{CE} 监测端屏蔽（C 和 E 短接）后才能观察到门极输出信号，否则驱动器将判定为 V_{CE} 故障而封锁输出。如图 2.6b

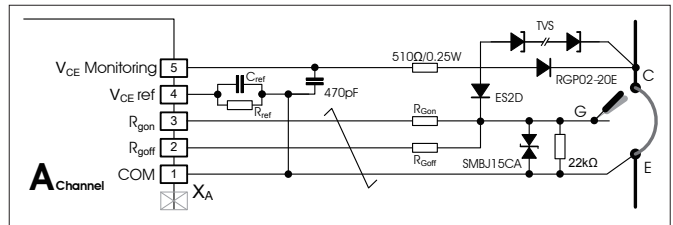


图 2.6b 驱动器的前期检测