

SiC 驱动应用手册

即插即用驱动和解决方案

该应用手册仅针对飞仕得 SiC 系列驱动, 主要介绍了产品的安装方式以及使用说明。方便客户了解产品的工作原理和注意事项。具体产品的引脚定义, 电气性能参数, 型号等内容请阅读对应产品的规格书。

适用于 2FHD0620, 2FHD0225, 2FHD0220, 2FHD0420V 和 2FHC06M33。

目录

安装介绍	3
螺丝	3
驱动安装	3
线束使用说明	6
软件介绍	8
驱动功率	8
栅极电压调节	8
原边功能介绍	11
1. 工作模式	12
2. 故障反馈	14
3. NTC 信号	15
保护功能介绍	17
1. 欠压保护	17
2. 短路保护及软关断	17
3. 有源米勒钳位 (AMC)	20
定制开发	22
三防漆	23
技术支持	26
法律免责声明	26
厂家信息	26

安装介绍

螺丝

在飞仕得 SiC 驱动上有两类螺丝：M3 螺丝和 M4 螺丝。根据不同种类的螺丝，我们提供如下扭矩作为参考：

螺丝规格	扭矩要求 (N.m)
M3 (金属)	≈1.5
M3 (塑料)	≈0.7
M4 (金属)	≈2
M4 (塑料)	≈0.7

注：实际扭矩请根据实际应用工况选择

驱动安装

EconoDUAL™:

安装时区分上下半桥后将模块对准模块的辅助端子（上桥臂侧有 5 个辅助端子，从 DC 侧到 AC 侧分别为 NTC 端子*2，上管栅极，上管源极，上管漏极，下桥臂侧有两个辅助端子，从 DC 侧到 AC 侧分别为下管源极和下管栅极），将驱动放置于模块上，确保每个辅助端子均插入驱动预留的孔位当中。然后进行焊接。焊接时注意虚焊的问题。

在使用 2FHD0620 时，可能会搭配 A1EDB2V 实现 ED 模块的并联，其并联示意图如图 1 所示。请注意上桥臂线束连接时使用的端子，因为有 NTC 信号的输入和输出之分（下桥臂无该问题），错误地使用端子可能会导致未知的风险，务必根据示意图上端子使用顺序进行连接。在此基础上，您也可以将主板和从板按照示例图中相反方向放置（从右到左并联）。但是请注意端子的使用顺序。

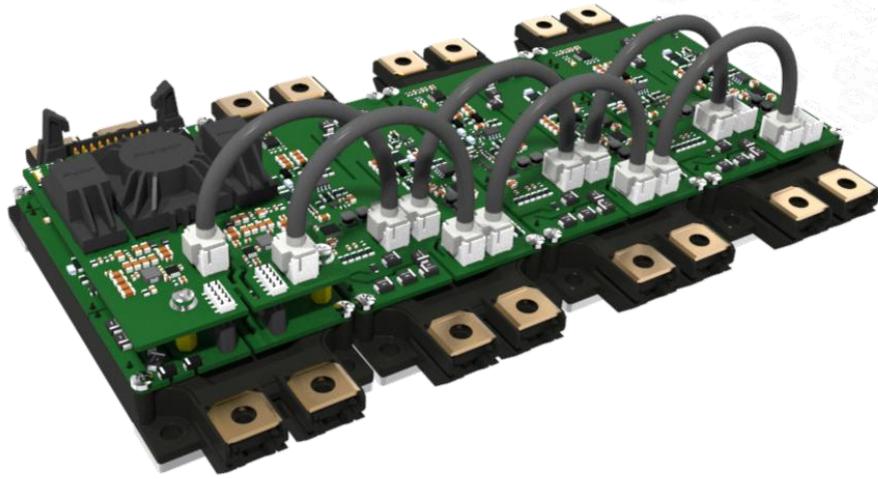


图 1 ED 模块并联示意图

62mm:

62mm 驱动的安装不依靠焊接而是依靠位于驱动背面的接插件。如图 2 所示。在驱动背面有四个小端子，用于直接插在 62mm 模块的辅助端子上。驱动的铜片和模块的上桥臂的漏极 (D) 相连，二者通过螺丝固定。

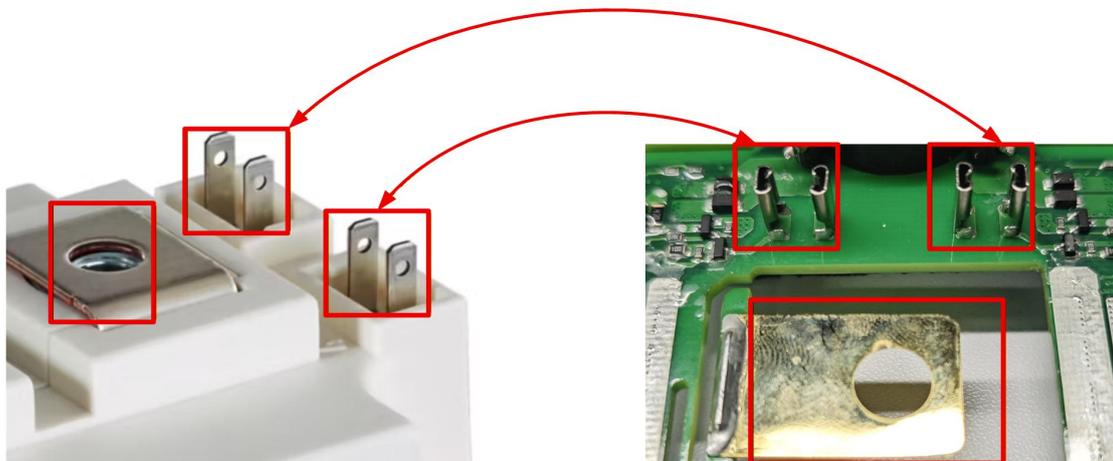


图 2 62mm 驱动安装示意图

62mm 的模块安装方式如图 3 所示，PCB 板和母排的距离推荐 $\geq 8\text{mm}$ ，因为过短的间距会导致母排和驱动之间的干涉。请务必关注这个问题。如果母排或者铜排过低，可以通过垫高来解决问题。根据我们的测试由铜柱导入的额外杂感相对于整个母排来说可以忽略不计。

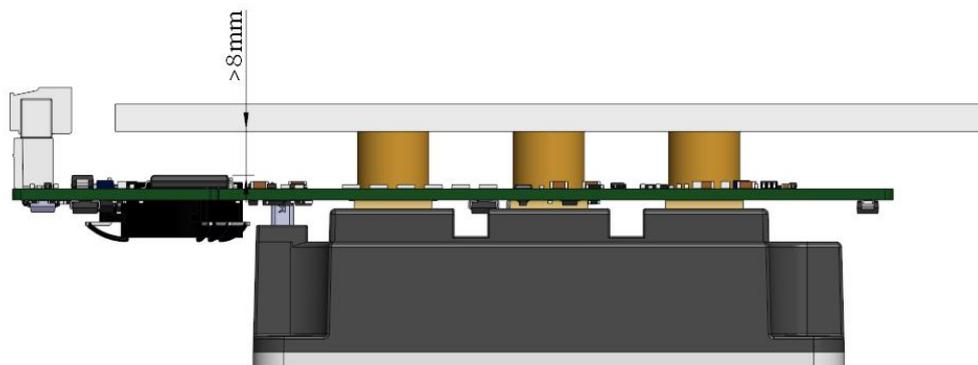


图 3 62mm 模块安装示意图

在驱动上我们预留了四个 M4 螺丝的孔位用于固定驱动板。建议使用绝缘的螺柱，具体高度取决于模组设计。

解决方案（XHP2，Linpak 以及其他封装）：

针对 3300V 的 SiC 模块和客户多样化的产品需求，我们也推出了一套驱动解决方案方便客户使用。该方案通过分立的主板+从板的方式实现了模块单管或者并联使用，信号和电源通过专用线束传输。这种方案的优势在于设计极其灵活，通过改变从板可以适配所有封装的模块。如图 4 所示。主板上留有用于固定 PCB 的螺丝孔，需要放置于整机的空位中。从板可以直接根据对应模块封装安装在模块上。

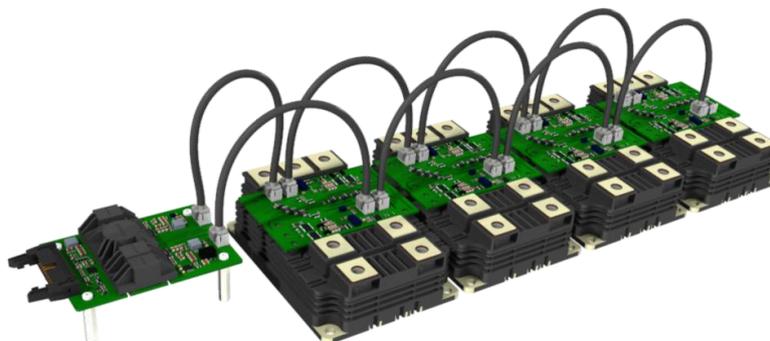


图 4 解决方案示意图

目前的解决方案统一使用主板 2FHC06M33，已经有针对 XHP2 封装和 Linpak 封装的从板可供选择。从板在安装时均采用螺丝固定。

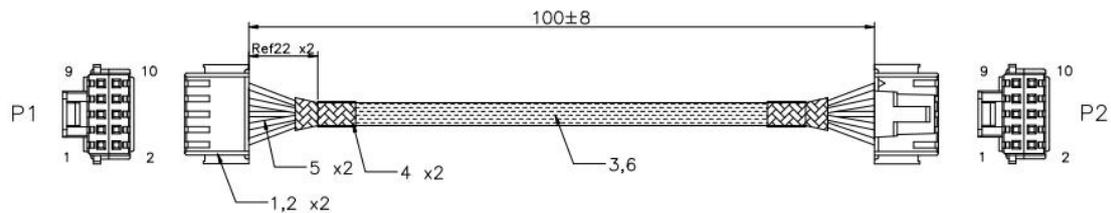
线束使用说明

并联线束：

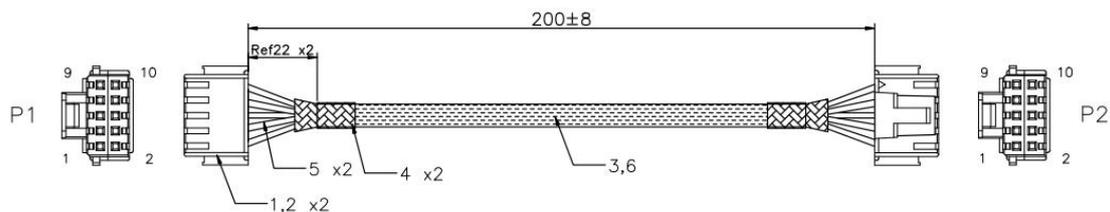
驱动搭配线束可以实现模块并联使用，飞仕得推荐使用为 SiC 特别定制的线束。用户可根据实际需求选择合适长度的线束，或者向我们的推荐供应商直接购买。

注：线束是为 SiC 驱动专门设计的，如果客户使用自己的线束，飞仕得不能保证其性能。

线束型号	线束长度 (mm)	引脚定义	供应商	图片
JWDET-00618	200	三脚为地	锦凌	见例 1
JWDET-00810	100			



例 1 100mm 并联线束



例 2 200mm 并联线束

NTC 线束：

在部分驱动上留有 NTC 采样用的端子，由于整机系统各不相同，因此我们的驱动不提供标准线束。如果您十分需要线束，请联系飞仕得获得相关的技术支持。母座的具体规格如下：

母座型号	/	供应商	图片
(G) B2B-XH-A (LF) (SN) (P)	/	JST	

软件介绍

飞仕得由于采用了数字驱动 IC，所以很多参数配置无法通过硬件实现，需要软件支持。飞仕得可以为客户提供必要的软件工具包，其对应的使用说明请参照**应用手册-驱动核应用指南**。烧录软件需要一个 I2C-USB 的转接头并且按照一定的线序来连接烧写头。具体的信息可以在我们的**应用手册-烧写工具**里面找到。

注：应用手册中会介绍不同功能对应的软件界面和修改方法。如果您确实有自己修改程序，调试驱动的需求，请联系飞仕得获得进一步的技术支持。一般情况下我们不会主动提供调试工具。

驱动功率

电源功率≠驱动可用功率

驱动功率分为电源输出功率和栅极可用功率。电源输出功率取决于驱动电源设计，而栅极可用功率取决于两个关键因素：静态功耗以及栅极电阻的温度。驱动的静态功耗会消耗掉部分的电源功率，具体值可以在对应产品的规格书中找到。需要注意的是，当驱动有并联应用的工况时，要考虑额外的从板上的静态功耗。

栅极电阻温度是限制栅极可用功率的核心因素。往往我们规定在 85°C 的环温下，栅极电阻的温度必须控制在 130°C 左右。我们规格书中的单路最大功率是在 85°C 的环温下评估的。此外，当有并联应用时，单路的功率需求会变为**单管单路功率*并联数**。

以 2FHD0620 为例，电源可以提供 6W 的额定输出，但是单管单路的栅极可用功率在 85°C 下仅为 1W，并非单管单路可以用到 6W 的电源额定功率。四并联时可用总功率的需求就会来到 $1W*4=4W$ 。每块从板有 0.5W 的静态功耗，此时电源 6W 的额定功率就会被用尽。

栅极电压调节

SiC 驱动支持栅极总压和正负压的调节。飞仕得 SiC 驱动采用稳正压的方式，通过副边的驱动芯片实现。其调节方法为程序调节。如图 5 所示界面可以调节需要的正压幅值：

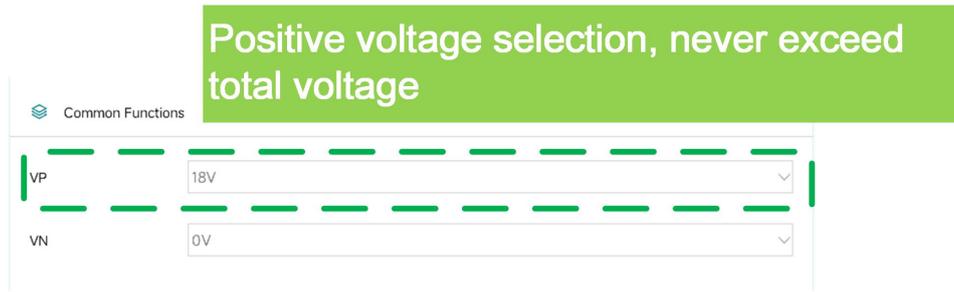


图 5 正压选择

针对除 2FHD0225 以外的 SiC 驱动而言，在副边上下桥臂均有一颗反馈电阻(0603 封装)用于调节栅极的总压 (Vout)。其反馈电阻位置如下：

2FHD0620 (上层 PCB 背面)：

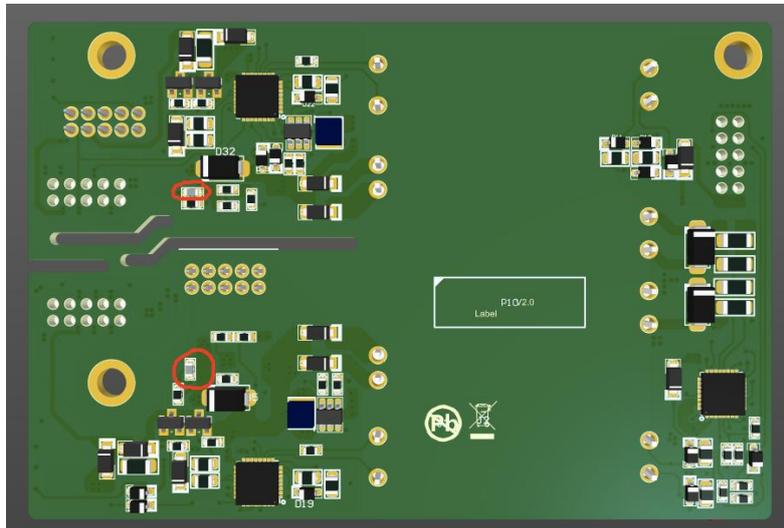


图 6 2FHD0620 反馈电阻位置

2FHD0220 (PCB 正面)：

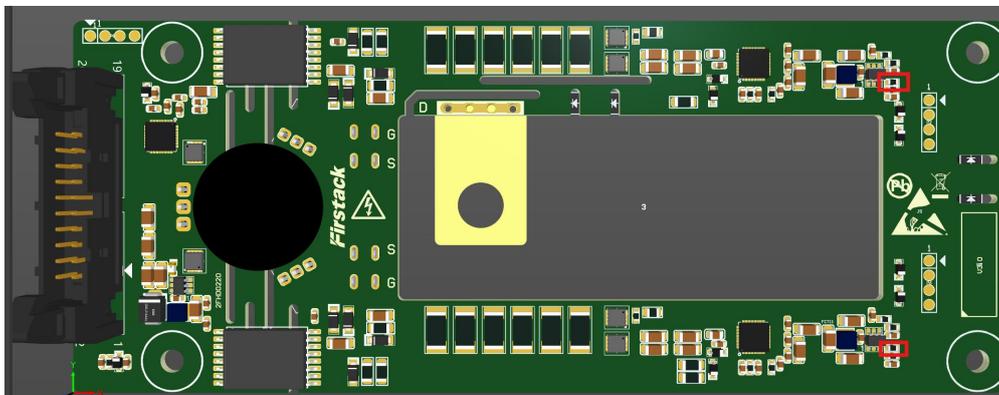


图 7 2FHD0220 反馈电阻位置

2FHD0420V (主板 PCB 正面) :

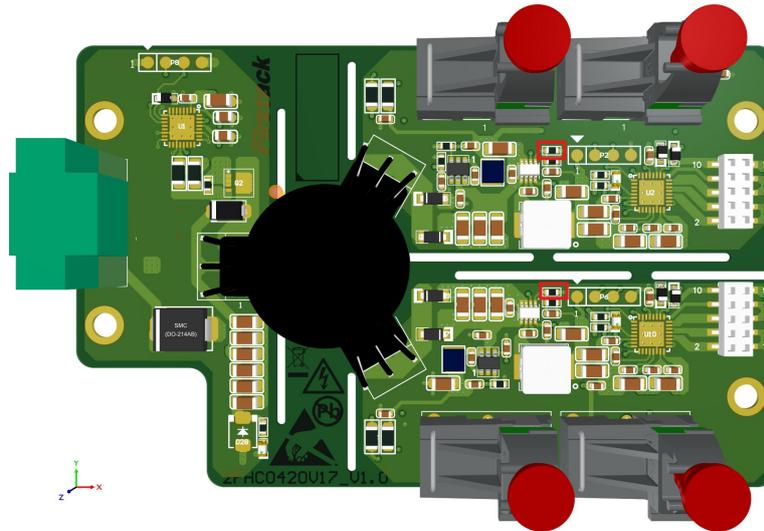


图 8 2FHD0420V 反馈电阻位置

2FHC06M33 (主板 PCB 背面) :

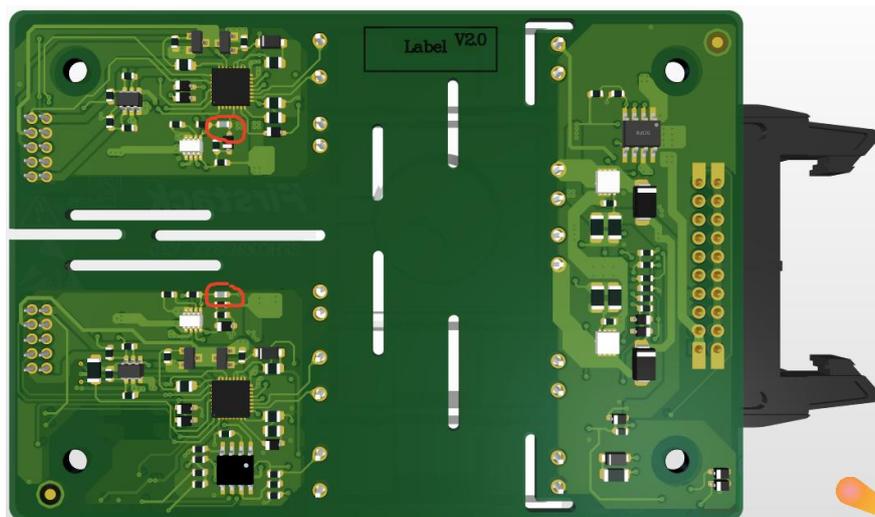


图 9 2FHC06M33 反馈电阻位置

反馈电阻 (R_{feed}) 的计算公式为:

$$2FHD0620, 2FHD0220: R_{feed} = \frac{0.8V \times 100k\Omega}{V_{out} - 0.8V}$$

$$2\text{FHD06M33}, 2\text{FHD0420V} : R_{\text{feed}} = \frac{0.6V \times 100k\Omega}{V_{\text{out}} - 0.6V}$$

2FHD0225 采用了更加集成化的电源方案，总压调节通过原边的一颗反馈电阻即可。R_{feed} 空贴时副边总压为 20.85V，R_{feed} 为 51kΩ 时副边总压为 22.8V。如果想配置更多的电压值 V_{out}，可以根据以下公式进行计算：

$$(1) \quad A = \frac{\frac{8}{15} \times 200k\Omega}{V_{\text{OUT}} + \frac{1}{15}}$$

$$(2) \quad R_{\text{feed}} = \frac{5.1k\Omega \times (A - 3.57k\Omega) + A \times 3.57k\Omega}{5.1k\Omega - A}$$

注 1： 如果定制栅极电压用于测试，我们只提供小批量的样品，一旦量产请先联系飞仕得销售团队

原边功能介绍

1. 工作模式

针对 SiC 模块应用，除 2FHD0220 外我们的标准驱动支持 15V 的 PWM 信号输入，而非 5V 信号。因为 SiC 器件在运行中产生的电磁干扰更大，5V 信号很有可能会导致驱动出现误动作以及其他意料之外的故障。如果您需要 5V 输入阈值的型号，请联系飞仕得获得相关技术支持。

关于工作模式，我们的驱动可以提供直接模式，半桥模式和互锁模式，它们之间的逻辑如下：

直接模式：

IN1 和 IN2 相互独立，互不影响。CH1 和 CH2 可以同时打开，死区时间由客户自己根据系统实际需求设置。

半桥模式：

IN1 为驱动信号输入端 (PWM)，IN2 为信号输入使能端 (EN)；IN2 为低电平，两输出通道被封锁，输出信号均为低电平；IN2 为高电平，两输出通道被使能，输出信号跟随输入信号 IN1 变化。

IN2 为高电平时，IN1 由低变高，CH2 栅极信号立即封锁，经过一个死区时间 T_d 之后，CH1 栅极开通。由于没有外部硬件电路来配置死区时间，所以我们的驱动可以保持高温下死区时间维持 10% 的误差，常温下仅为 4%。其信号逻辑如图 10 所示。

注 1： SiC 驱动的一般标准品默认为直接模式，若配置半桥模式，死区时间 T_d 通过软件设定，外部不可更改。IN2 由低电平转至高电平时，需经过一个死区，输出才会跟随 IN1 变化。

注 2： IN1 和 IN2 并非直接代表上桥臂和下桥臂，具体对应情况取决于模块本身结构。

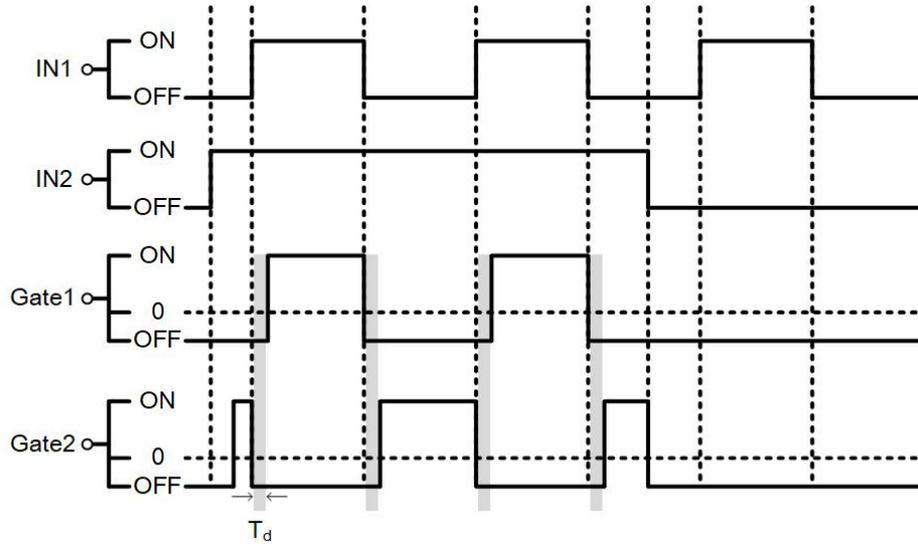


图 10 半桥模式信号逻辑图

互锁模式：

在互锁模式下，当输入信号同为高是则驱动会自动忽略该信号，防止上下桥臂直通。具体信号逻辑如图 11 所示。当 IN1 和 IN2 同为高时，驱动会自动拉低信号，保持栅极关断。

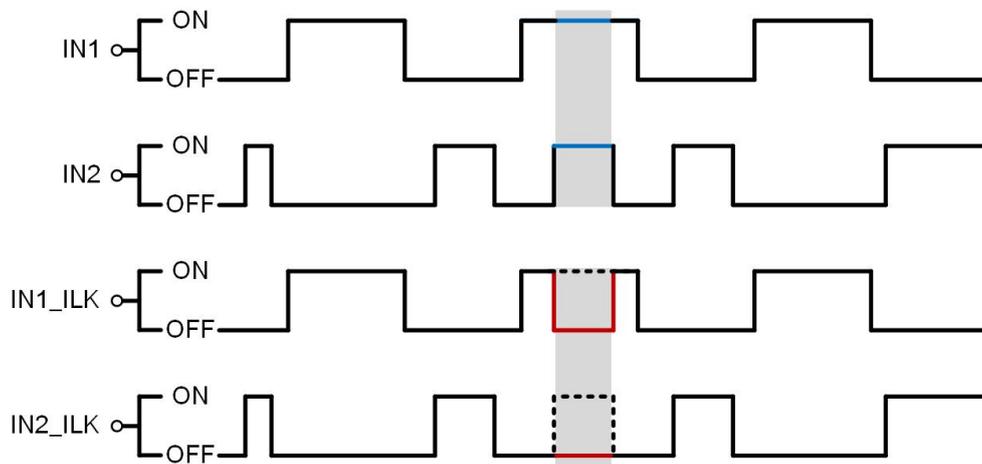


图 11 互锁信号逻辑图

工作模式和半桥模式的死区只能通过程序更改，更改界面如图 12 所示。

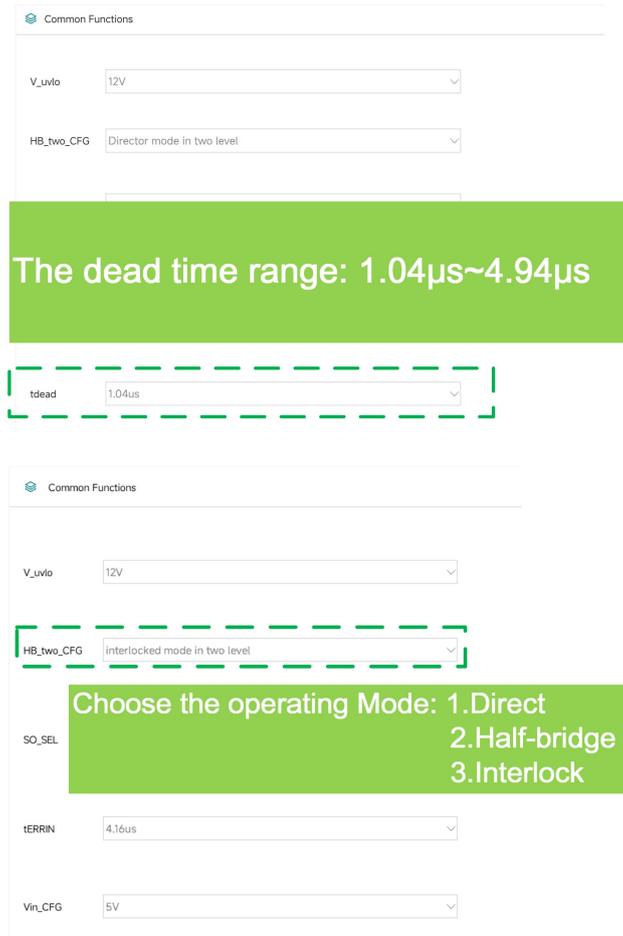


图 12 更改工作模式和死区时间

2. 故障反馈

输出端 S0x 为晶体管漏极开路形式，默认为单独的故障信号以便精准定位问题。也可以将它们连接在一起，以提供公共故障信号。该信号有两种状态：高电平和低电平。高电平代表正常，低电平代表故障。目前飞仕得所有的 SiC 即插即用驱动和解决方案均已将 S0x 引脚上拉到 15V 信号。如果您的控制板不支持 15V 输入，请联系飞仕得对驱动进行定制。我们推荐采用 15V 的高电平，可以最大限度地避免误报故障的情况。

飞仕得驱动的故障引脚默认设置为高正常，低故障。高电平上拉至电源电压（15V），通过低电平的时间来区分故障类型，具体信息见下表：

故障类型	短路	副边欠压	原边欠压	其他故障
低电平持续时间（ms）	10	20	40	80

表 1 故障类型

当故障发生时，有两个同时独立进行的过程：故障反馈和芯片复位。他们之间的逻辑如图 13 所示。 V_{BLOCK} 是驱动的复位信号， T_{SOx} 为低电平持续时间，最长为 80ms， T_{FBL} 是 80ms 的故障阻断时间。当原边 asic 芯片接收到故障信号后，就会直接反馈故障信息到上位机，但是芯片复位的时间取决于故障何时消失，只有在故障结束后经过 80ms 的故障阻断时间 T_{FBL} 后，驱动才会复位，可以重新开始控制功率器件。

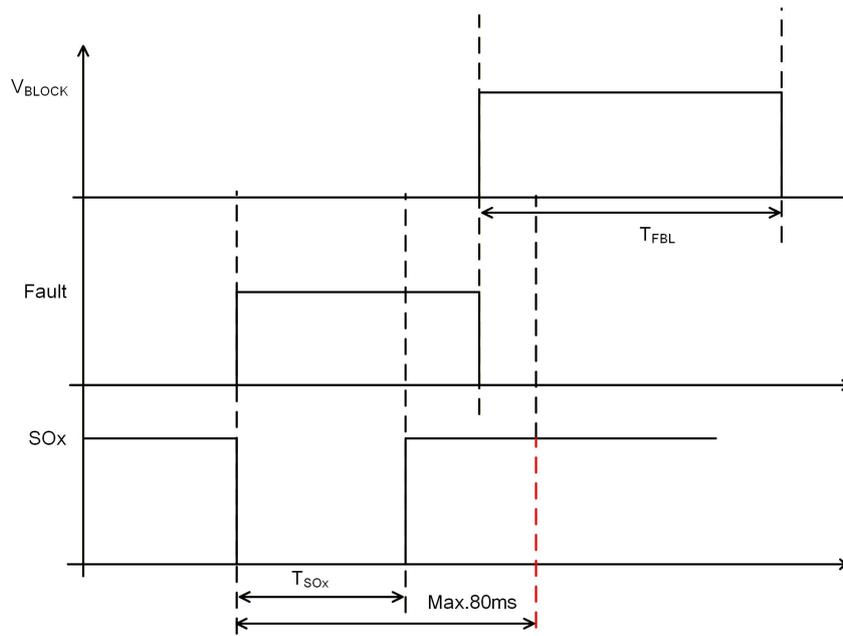


图 13 故障时驱动信号逻辑

3. NTC 信号

2FHD0620 系列和 2FHC06M33 系列集成了隔离 NTC 采样功能，目前默认采用可变占空比传输 NTC 信号，不同占空比对应的 NTC 电阻阻值如下表所示：

温度 (°C)	Rntc (kΩ)	占空比%	温度 (°C)	Rntc (kΩ)	占空比%
-40	99.092	6.0%	70	1.120	50.0%
-35	75.144	8.0%	75	0.968	52.0%
-30	57.533	10.0%	80	0.840	54.0%
-25	44.448	12.0%	85	0.732	56.0%
-20	34.610	14.0%	90	0.640	58.0%
-15	27.156	16.0%	95	0.561	60.0%
-10	21.483	18.0%	100	0.493	62.0%

-5	17.120	20.0%	105	0.435	64.0%
0	13.727	22.0%	110	0.385	66.0%
5	11.082	24.0%	115	0.342	68.0%
10	9.003	26.0%	120	0.304	70.0%
15	7.359	28.0%	125	0.271	72.0%
20	6.049	30.0%	130	0.243	74.0%
25	5.000	32.0%	135	0.217	76.0%
30	4.156	34.0%	140	0.195	78.0%
35	3.472	36.0%	145	0.176	80.0%
40	2.914	38.0%	150	0.158	82.0%
45	2.458	40.0%			
50	2.083	42.0%			
55	1.773	44.0%			
60	1.515	46.0%			
65	1.300	48.0%			

表 2 占空比-温度对照表

当温度超过表格中的最大最小值，占空比将不再变化。根据实际需求，飞仕得也可以提供可变频率采样的版本，但是需要单独定制型号。如果有类似需求请联系飞仕得获得必要的技术支持。

2FHD0220 系列,2FHD0420 系列,2FHD0225 系列都没有集成 NTC 采样功能。但是 2FHD0420 和 2FHD0225 系列预留了用于 NTC 采样的端子，方便客户直接使用 EconoDUAL™ 模块内置的 NTC 电阻。62mm 模块客户需要自行采集铜基板上面的温度。

保护功能介绍

1. 欠压保护

当原边或者副边电压低于驱动设置的阈值时，欠压保护便会被启动，驱动会执行软关断并保持封波直到欠压状态消失。驱动欠压的原因多数时候为短路，无论是原边或者副边器件的短路都会导致电压出现异常。此时可以用温枪来找到发热异常的器件。

欠压的检测阈值都可以用程序来进行调节，具体的界面如图 14 和图 15 所示：



图 14 原边欠压阈值调整

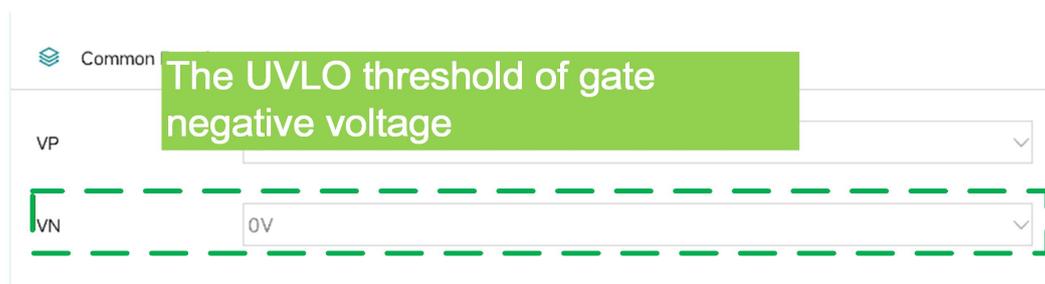


图 15 副边欠压阈值调整

2. 短路保护及软关断

所有 SiC 驱动都集成了短路保护功能。采用的检测手段为退饱和检测，对应的检测电路如图 16 所示。相比于 IGBT，部分 SiC 存在退饱和困难或者不退饱和的现象，此时驱动的短路保护功能可能会无法正确执行。在选择模块和使用前，请咨询对应的模块厂家确认模块本身是否具有短路的能力以及对应的耐受时间。驱动无法保护没有短路能力的模块。

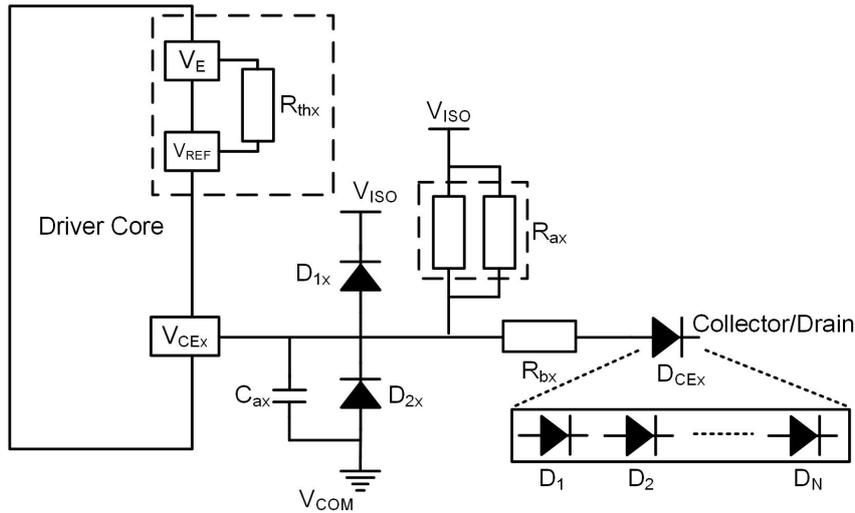


图 16 短路保护检测电路

在保护的过程中，有以下几个重要过程：故障屏蔽时间 (t_{BL})，滤波电容充电时间 (t_{RC}) 和数字滤波时间 (t_{DS_FLT})。其关系可以参考图 17。我们主要关注 TC 信号，即短路保护的响应时间。驱动的短路保护响应时间为三段之和。目前驱动最短的可以实现检测时间为 1.2us（去除所有额外的滤波时间）。但是请注意，在这种情况下短路保护的误触发风险会大大提高。

在短路保护正确触发后，驱动会执行软关断来保证 V_{DS} 尖峰不会超过模块的耐压阈值。软关断的默认持续时间为 4.16us。该时间理论上没有调整的必要，因为在发生短路后，整机系统都会停机接受检查，过短的软关断时间会导致驱动在还未完全关断时栅极被突然拉低到负压，总而造成不必要的 V_{DS} 尖峰和振荡。

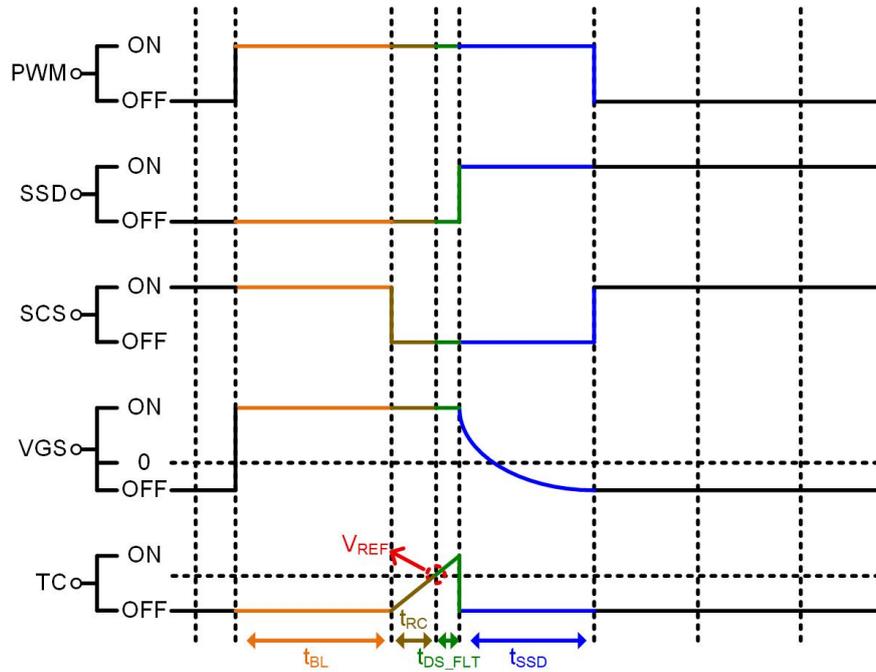


图 17 短路保护的时序逻辑

当您需要对短路保护相关参数进行更改时，可以参考以下界面（图 18）。

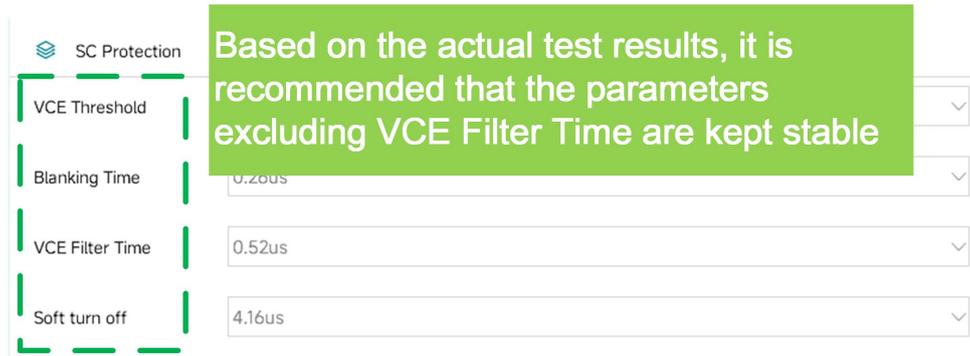


图 18 短路保护参数修改

3. 有源米勒钳位 (AMC)

AMC 会将栅极电压拉低到驱动的负电压，用来抑制 SiC 在高 dv/dt 下带来的半桥串扰现象。其中正过冲会引起栅极导通发生短路，负过冲会对栅极氧化层造成损坏。

有源米勒钳位的原理图如图 19 所示。飞仕得基于全新的数字 ASIC 平台设计的米勒钳位通过控制 Q1 和 Q2 MOSFET 的开通来制造低阻抗回路，从而让栅极和驱动的负压相连接，避免对管造成的干扰。

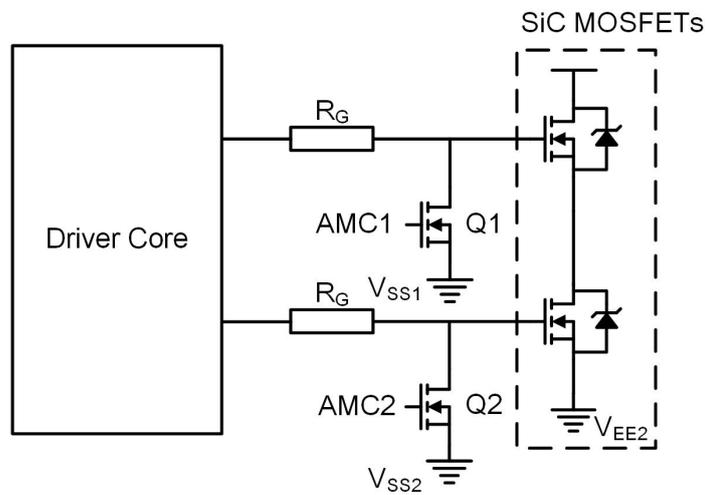


图 19 米勒钳位原理图

有源米勒钳位的时序图如图 20 所示。在开通信号到来后经过一小段延时时间 $t_{AMC_OFF}=500ns$ 后米勒钳位投出。在关断信号到来后，经过一段延时时间 t_{AMC_ON} 后米勒钳位激活。 t_{AMC_ON} 可以通过程序来调整（见图 21）。最低支持 520ns 的延时时间。这也意味着在设置死区时间时要务必注意这一点。以 1.2 倍裕量来计算，至少需要 $\approx 650ns$ 的死区时间。

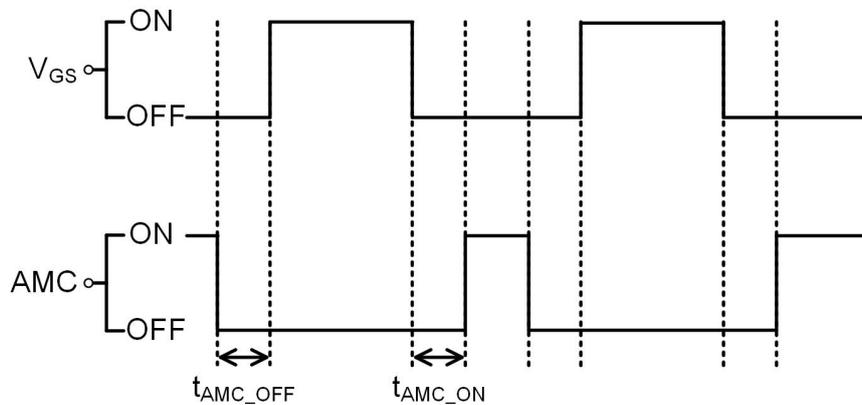


图 20 米勒钳位信号逻辑

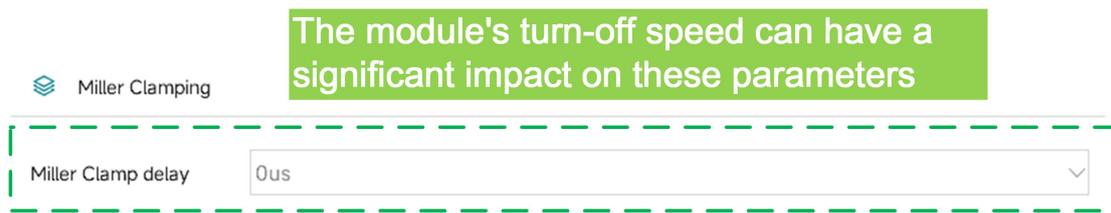


图 21 配置米勒钳位界面

定制开发

为了应对实际应用当中的不同需求，在样机阶段飞仕得接受小批量的驱动定制。但是请注意，小批量定制不会经过自动化产线生产，而是经由我们经验丰富的 FAE 团队在标准品的基础上进行人工更改。当需要批量生产时，请联系我们的销售进行进一步的沟通。

为了保证定制驱动的质量，我们允许针对驱动的如下部分进行定制：

项目	说明	调整部分
工作模式	目前工作模式默认均为直接模式，通过更改原边程序可以改变工作模式	软件
故障上拉电压	可以保持悬空，由客户自己上拉到需要电压	硬件
PWM 阈值	PWM 控制信号的触发阈值	软件
栅极电压	可以支持副边总压和栅极正负压的调节	硬件+软件
软关断电阻	针对短路保护测试结果可以更改	硬件
米勒钳位延时 t_{AMC_ON}	针对客户的不同死区时间和模块特性可以调整，但是最短为 520ns	软件
栅极电阻/电容	针对测试结果可以进行定制用于样机测试	硬件

表 3 样品定制项目

如果需要，我们可以提供软件工具和必要的硬件工具支持，方便您自己进行各项参数配置。

三电平

目前飞仕得 SiC 驱动无法支持三电平运行，仅 2FHD0620 和 2FHC06M33 的从板上留有 TVS 的位置。

三防漆

考虑到目前 SiC 产品仍然大量处在样机测试阶段，因此我们的驱动默认不带三防，方便对驱动进行参数上的调整。但是在批量阶段，我们可以提供三防漆的版本。如果您的样品也需要三防漆，请在下单时通知我们。

使用注意事项

失效驱动可以寄回给飞仕得，由我们的专业团队进行失效分析并出具 8D 报告。在出现失效时，也有一些简单的方法可以帮助您初步判定问题所在，提高后续失效分析的效率：

1. 驱动上电后异常

当驱动上电后电源出现异常大电流，驱动亮起红灯或者出现“滋滋”异响时，极大概率为驱动上有短路存在。此时可以使用温枪寻找异常发热器件来定位问题所在。除了检查器件，也可以检查驱动和模块的连接处（焊接，螺丝），例如图 22 所示，在使用 EconoDUAL™ 模块时，如果存在空焊，虚焊的现象，会导致辅助端子电位不稳而造成器件损坏。

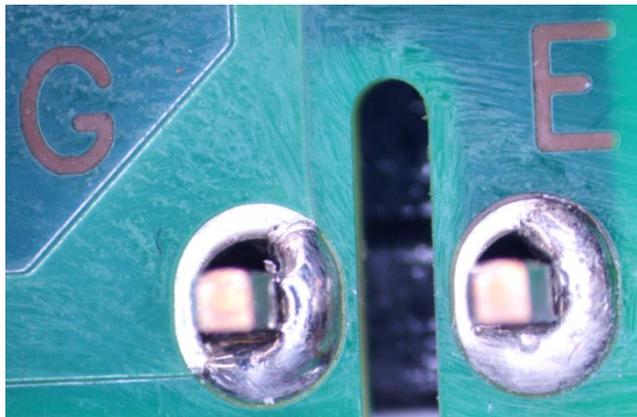


图 22 不良质量焊接

虽然飞仕得的驱动设计了静电防护，但是在安装驱动时仍请务必做好静电防护。

2. 驱动运行中异常

在运行当中，针对短路和欠压两类常见故障驱动都安全保护模块。但是往往会出现异常封波，没有信号等问题，此时需要检查如下部分：

1. 信号输入处的线束连接质量；
2. 引脚的焊接质量；
3. PWM 的阈值，飞仕得除 2FHD0220 外的 SiC 驱动都采用了默认 15V 的阈值，如果您是按照 5V 或者 3.3V 设计的 PWM 信号，将无法驱动模块；

3. 测试注意事项

测试时的问题多种多样，首先为了保证测试数据的准确性，我们推荐在测量栅极信号时，必须使用地线环或光隔离探头。普通的差分探头或者弱电探头均无法得到准确的测试数据，影响测试结果。例如图 23 所示，地线环可以直接焊接在模块的辅助端子上，尽可能得到最真实的信号。如果您必须引线出来测试，请务必使用双绞线，并尽量将探头焊接在线上。



图 23 一种焊接于辅助端子上的地线环

在测试当中，请注意使用的探头的量程，往往差分探头的量程都非常大，适合测量高压信号，在测量较低电压的时候会出现较大偏差或者毛刺。电流探头同理。

除了探头需要注意，在测试时，由于 SiC 器件本身的 dv/dt 很高，测试回路的杂感等对测试结果的影响很大。因此测试得到的波形往往会有振铃的出现，其特征为频率固定且随时间衰减的振荡。振铃可以通过调整探头位置，更换探头或者调整测试设备等减轻，但是切勿和振荡混淆。如图 24 所示，振荡往往没有固定频率和规律衰减的幅值。如果测试中出现严重的振荡我们才需要非常警惕，这意味着模块或者驱动性能出现了问题。

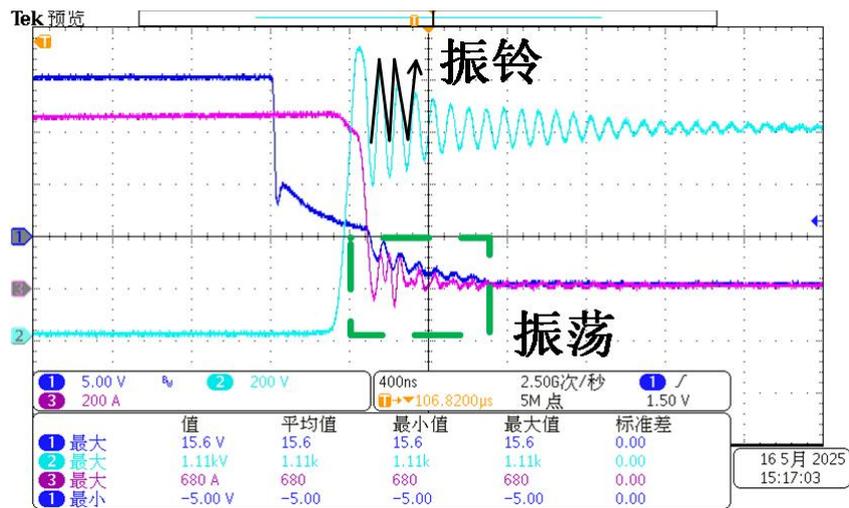


图 24 振铃和振荡的区别

更新历史

日期	更新内容	版本
2026.01.26	初稿	V0.1

技术支持

飞仕得提供专业的技术服务，有任何技术问题可以联系飞仕得技术支持。

详情请登录官网：[杭州飞仕得科技股份有限公司 \(firstack.com\)](http://firstack.com)

法律免责声明

本说明书对产品应用做了详细介绍，但不能承诺提供具体的参数对于产品的交付、性能或适用性。本文不提供任何明示或暗示的担保或保证。

Firstack 保留随时修改技术数据及产品规格，且不提前通知的权利。适用 Firstack 的一般交付条款和条件。

厂家信息

电话：+86-571 8817 2737

传真：+86-571 8817 3973

邮编：310011

网址：www.firstack.com

邮箱：sales01@firstack.com

地址：杭州市上城区同协路 1279 号西子智慧产业园 5 号楼 4-5 楼

