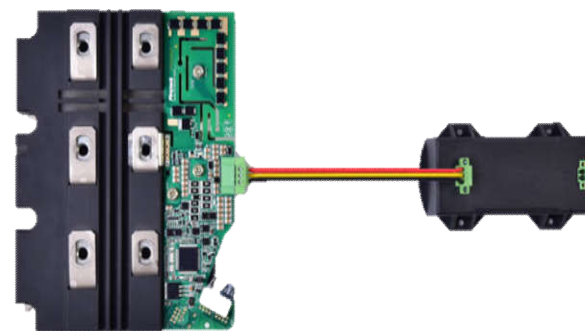
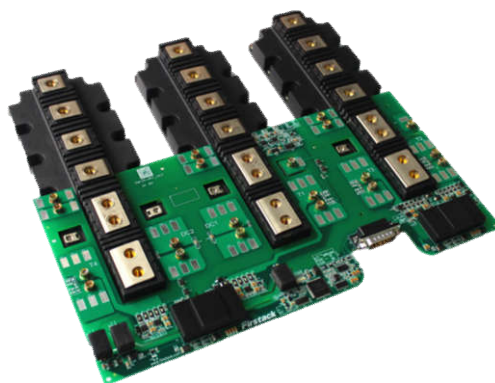


NPC Ⅰ型三电平IGBT智能驱动技术

杭州飞仕得科技有限公司



TOP SMART GATE DRIVER



2017-7-6

大纲

- NPC I型三电平系统挑战
- Firstack智能解决方案
- Firstack实际应用案例
 - $380V_{AC}/100kW$ 变流器应用
 - $1500V_{DC}/1.25MW$ 变流器应用
 - $3000V_{AC}/5MW$ 变流器应用
- 总结

NPC I型三电平系统挑战

NPC应用需求

- 更高电压等级
- 更高功率等级
- 更高功率密度
- 更低系统成本
- 更高系统效率



380V_{AC}/100kW 并网逆变器



1500V_{DC}/1.25MW 光伏发电



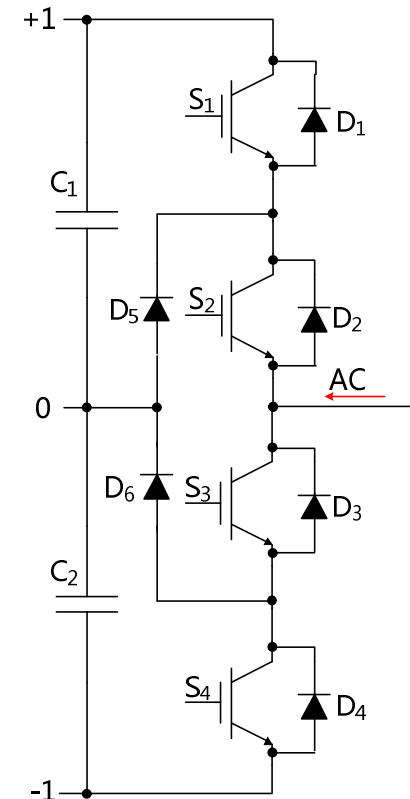
3000V_{AC}/5MW 海上风电

系统挑战

- 内外管的时序问题
- 内管关断尖峰过高
- 模组故障难以定位

内外管的时序问题

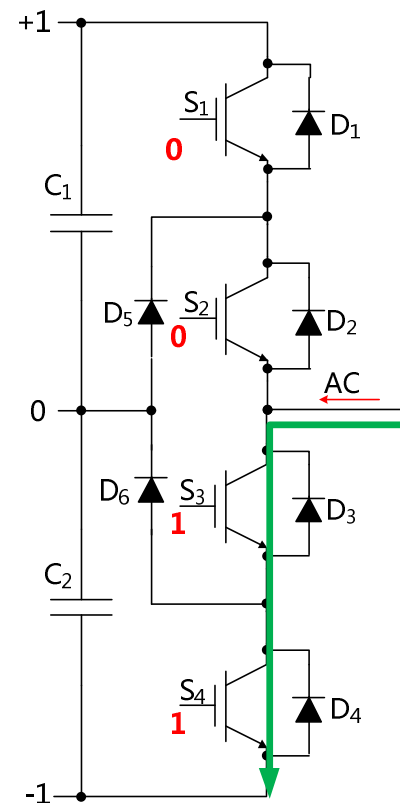
S_1	S_2	S_3	S_4	H进制	输出
1	1	0	0	C	+1
0	1	0	0	4	+1
0	1	1	0	6	0
0	0	1	0	2	0
0	0	1	1	3	-1
0	0	1	0	2	0
0	1	1	0	6	0
0	1	0	0	4	+1
1	1	0	0	C	+1



- NPC I型三电平有5种模态，其中包括稳态C，6，3和过渡态4，2
- C，6，3稳态遵循 S_1 和 S_3 互补， S_2 和 S_4 互补原则

内外管的时序问题

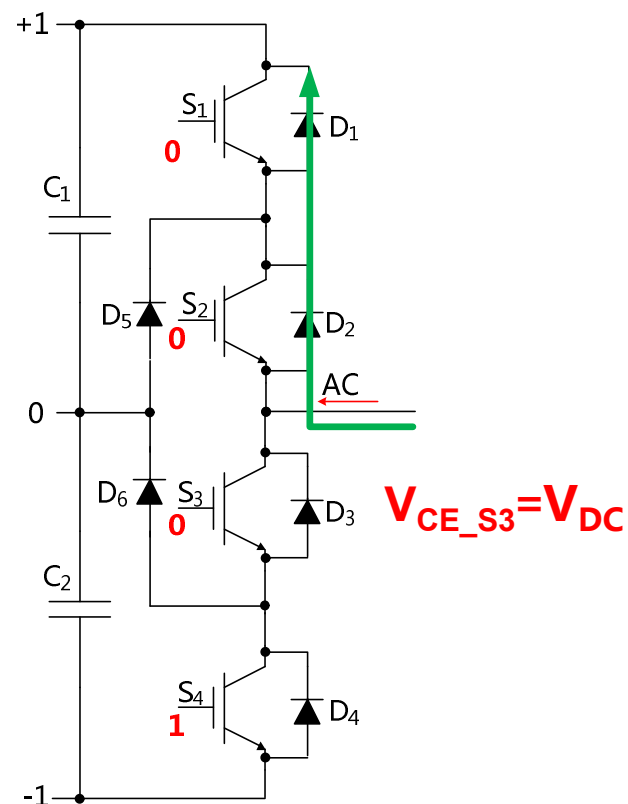
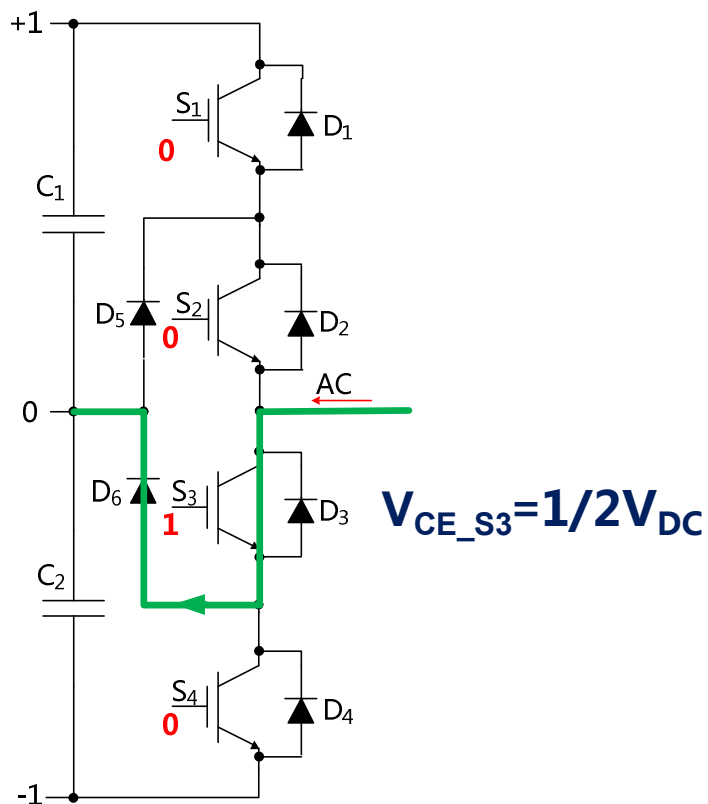
S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	H进制	输出
1	1	0	0	C	+1
0	1	0	0	4	+1
0	1	1	0	6	0
0	0	1	0	2	0
0	0	1	1	3	-1
0	0	1	0	2	0
0	1	1	0	6	0
0	1	0	0	4	+1
1	1	0	0	C	+1



➤正常3模态下，电流流过S₃，S₄，AC点的电位为-1

➤此时停机或者出现过流，欠压，短路等异常工况。先关S₃还是先关S₄？

内外管的时序问题



先关 S_3 ， S_3 承受整个母线电压， S_3 过压损坏！

内外管的时序问题---传统解决方案 I

方案 I : 内管无 (短路) 保护 + 上位机协调

- 广泛应用于1200V以下中小功率场合

- ✓ 成本低

- ! 保护不全面，可靠性依赖于系统设计及生产工艺

- ! 对于部分驱动IC，无法屏蔽UV故障，存在时序风险

内外管的时序问题---传统解决方案 II

方案 II：“三电平模式”，只检测不关断，上位机统一协调

- 高压大功率 & 高可靠应用主流方案

✓ 保护齐全

! 保护策略较两电平略复杂

! 保护响应速度： S_3 短路检测+故障通讯/滤波+ S_4 关断时间 $> 10\mu s$

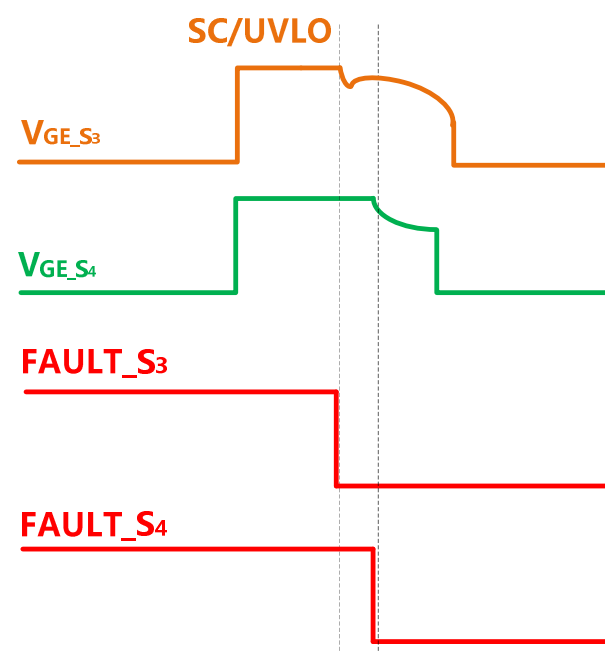
快速检测是关键

内外管的时序问题---传统解决方案 III

方案 III：高级有源钳位+上位机协调

- 依靠有源钳位防止内管过压
 - ✓ 保护齐全
 - ✓ 保护策略简单，等同于两电平
 - ✓ 省去故障通讯/滤波时间 (1~2us)

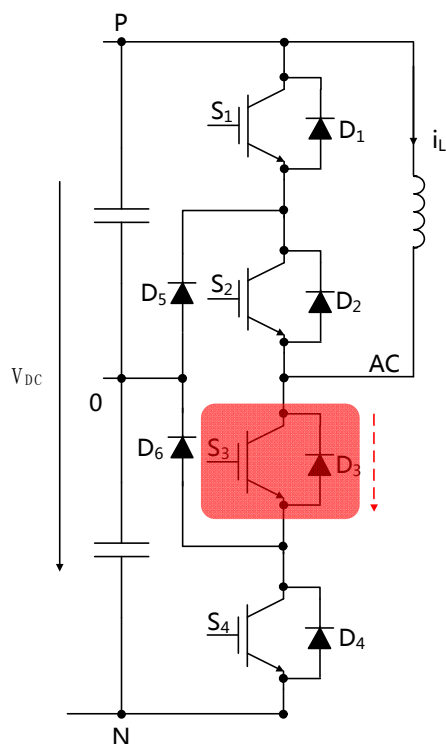
! 解决了过压，但时序问题仍然存在



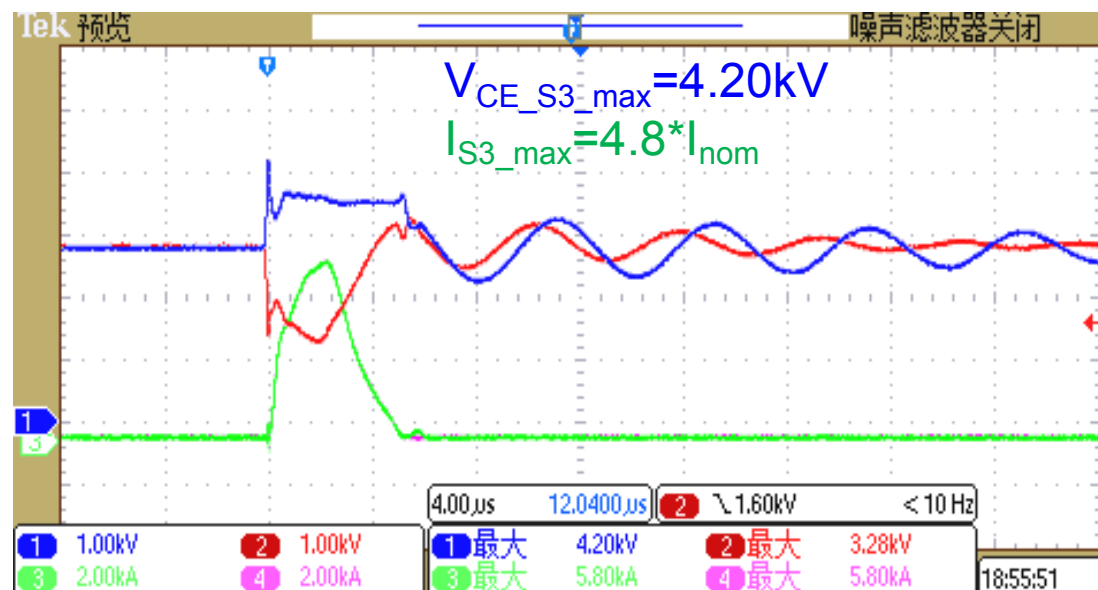
内管先关风险分析

CH₁ : V_{CE_S3}
 CH₂ : V_{CE_S4}
 CH₃ : I_{C_S3}
 CH₄ : I_{C_S4}

V_{DC}=5800V, S₃先于S₄关断4us



IGBT型号 : FZ1200R45KL3



钳位效果良好，但S₃的损耗与短路工况相当

内外管的时序问题---传统解决方案 III

- ! 成本高：TVS数量多 (16~32/相)
- ! 有源钳位阈值设置需谨慎：
 - ! 母线电压波动
 - ! 中点不平衡 (5~10%)
 - ! TVS精度 (5~10%) &温漂 (5~10%)
- ! S_3 进入线性区，等同于短路，对模块造成冲击

总结

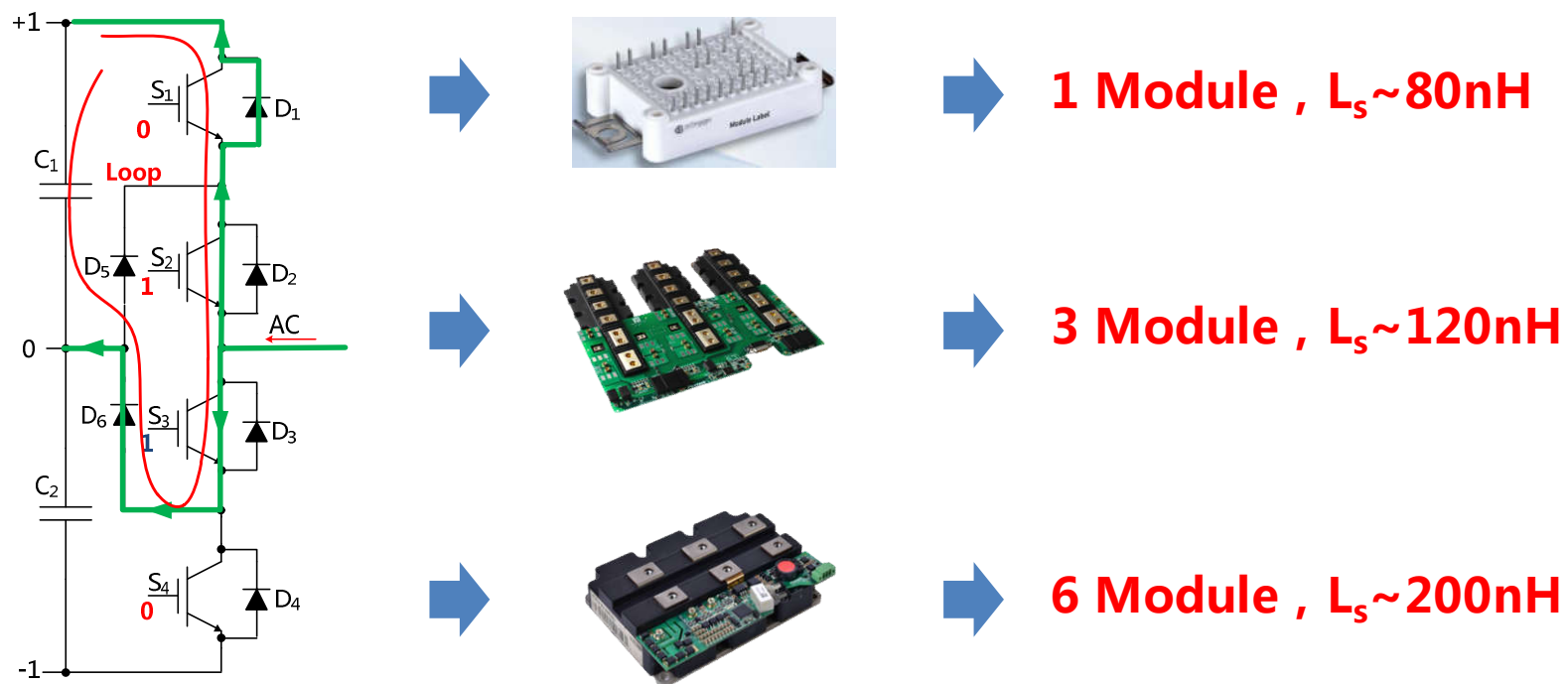
方案类型	内管无保护	三电平模式	有源钳位
成本	低	中	高
保护齐全	差	好	好
可靠性	一般	好	较好
保护策略	简单	较复杂	简单
控制系统配合	DSP+CPLD+驱动	DSP+CPLD+驱动	DSP+CPLD+驱动
应用领域	低压小功率	高可靠性	高压领域

总结

方案类型	内管无保护	三电平模式	有源钳位
成本	低	中	高
保护齐全	差	好	好
可靠性	一般	好	较好
保护策略	简单	较复杂	简单
控制系统配合	DSP+CPLD+驱动	DSP+CPLD+驱动	DSP+CPLD+驱动
应用领域	低压小功率	高可靠性	高压领域

控制系统失效，连接器脱落？

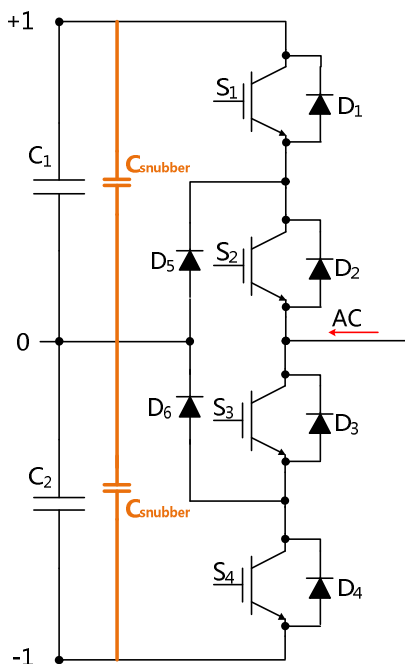
内管关断尖峰过高



- **大换流回路**：6- \rightarrow 4模态切换，换流回路穿过 C_1 ， D_1 ， S_2 ， S_3 ， D_6 器件
- **大杂散电感**：不同模块及母排组成的拓扑，杂散电感值在80~200nH左右

内管关断尖峰过高---传统解决方案 I

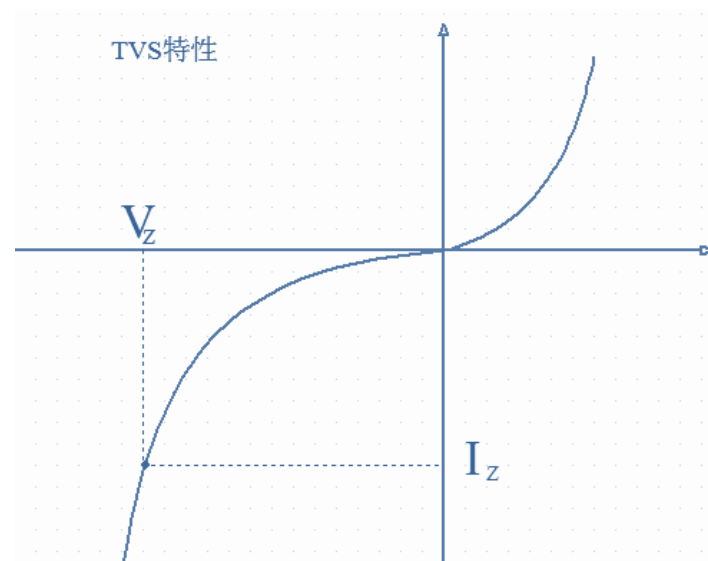
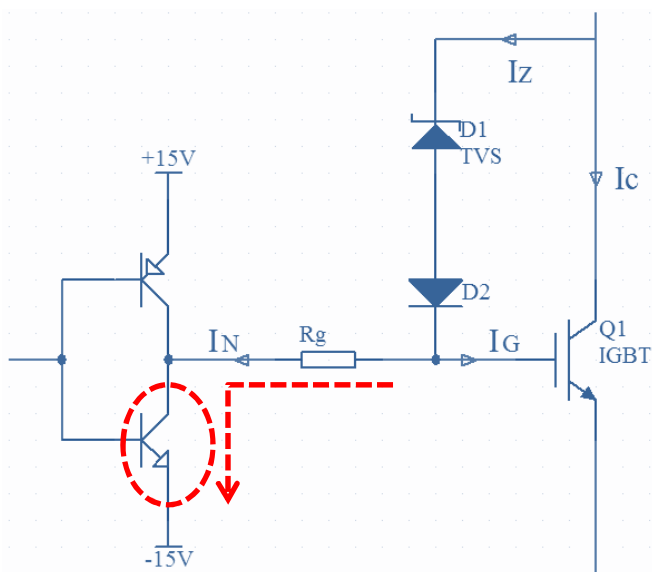
— 方案 I : 加吸收电容



- 部分应用场合杂散电感过大，尖峰抑制不住
- 发热严重，部分场合结构限制，无法加吸收电容

内管关断尖峰过高---传统解决方案 II

- 方案 II : 有源钳位

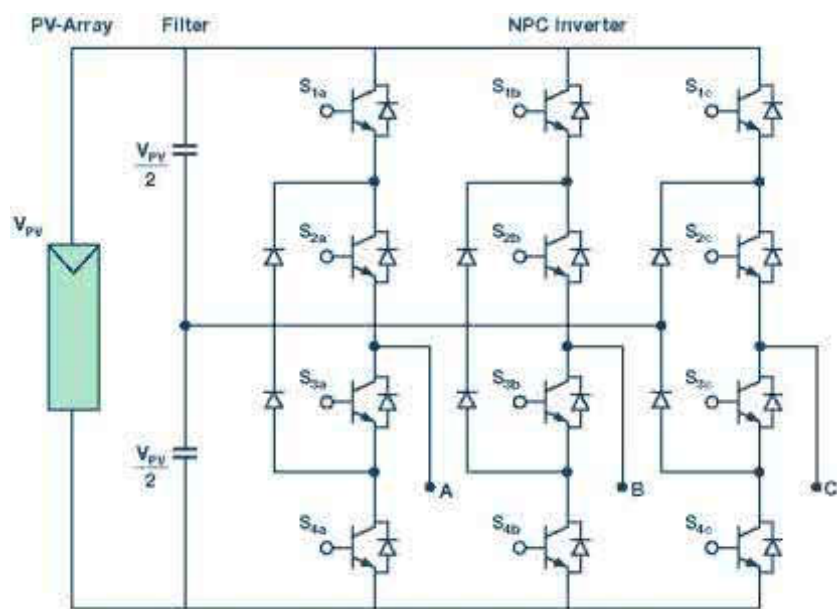


过高的尖峰导致有源钳位频繁动作，TVS有过热损坏风险

结论

方案类型	吸收电容	有源钳位
关断尖峰抑制效果	一般	较好
结构适应性	差	好
关键器件发热	严重	一般
关键器件寿命	一般	一般

模组故障难以定位



12个IGBT，2类以上故障，1或3个故障返回口

总结

时序管理：是否存在独立于上位机，更快，各种异常工况均保护？

更高
可靠性

尖峰抑制：是否存在更好的电压尖峰抑制技术？

故障定位：更准确，更智能，为系统调试与维护提供数据支撑？

大纲

- NPC I型三电平系统挑战
- Firstack智能解决方案
- Firstack实际应用案例
 - $380V_{AC}/100kW$ 变流器应用
 - $1500V_{DC}/1.25MW$ 变流器应用
 - $3000V_{AC}/5MW$ 变流器应用
- 总结

Firststack智能解决方案

- 内外管的时序问题
 - 中低压解决方案：智能时序管理 OS
 - 高压解决方案：di/dt保护+数控高级有源钳位+上位机协调
- 内管关断尖峰过高
 - 分级关断技术
- 模组故障难以定位
 - 智能故障通信

Firststack智能解决方案

– 内外管的时序问题

- 中低压解决方案：智能时序管理 OS

- 高压解决方案：di/dt保护+数控高级有源钳位+上位机协调

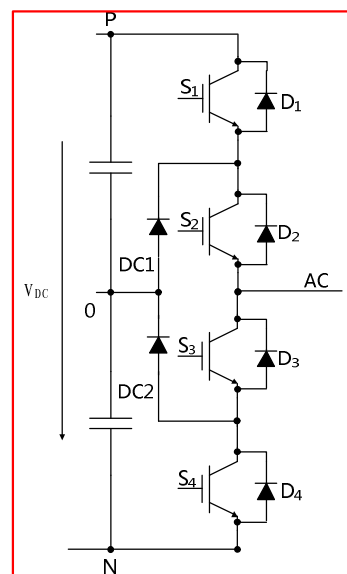
– 内管关断尖峰过高

- 分级关断技术

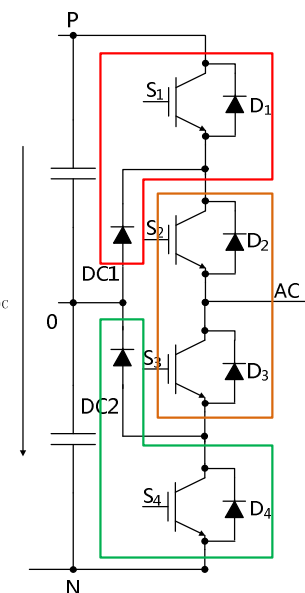
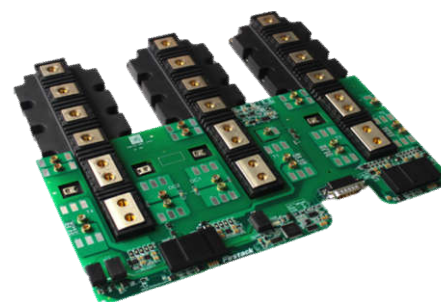
– 模组故障难以定位

- 智能故障通信

中低压NPC I型拓扑构成



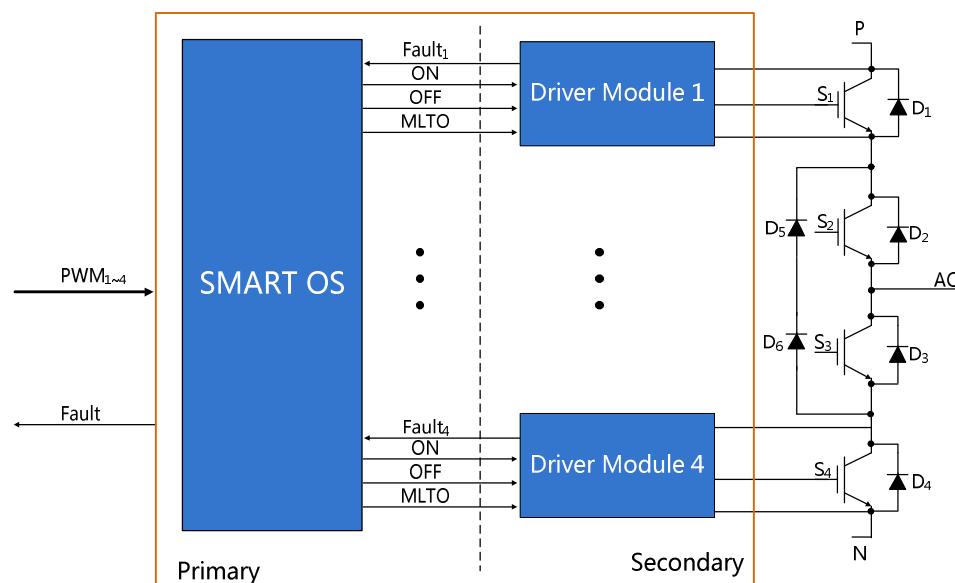
(1个模块 / 每相)



(3个模块 / 每相)

内外管的时序问题解决方案

— 方案：智能时序管理 OS



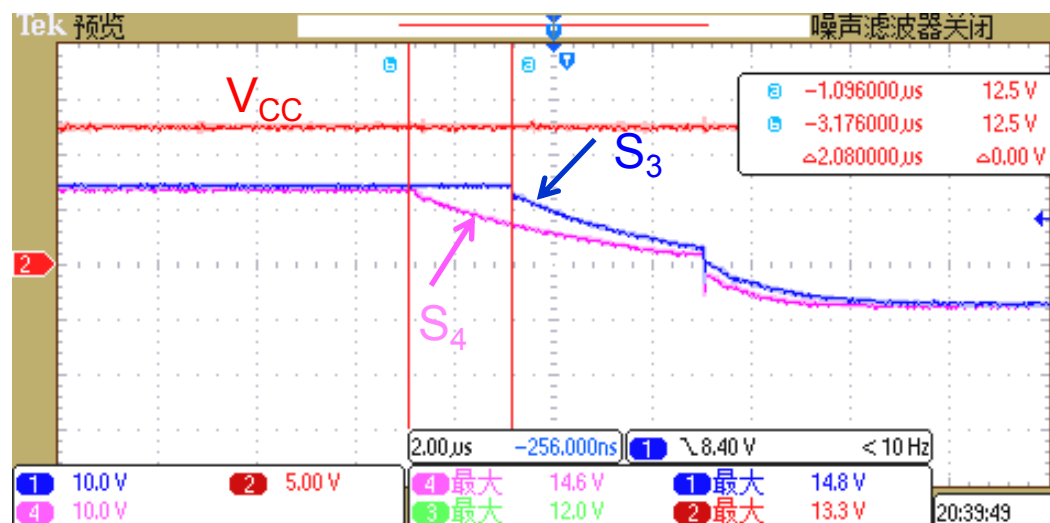
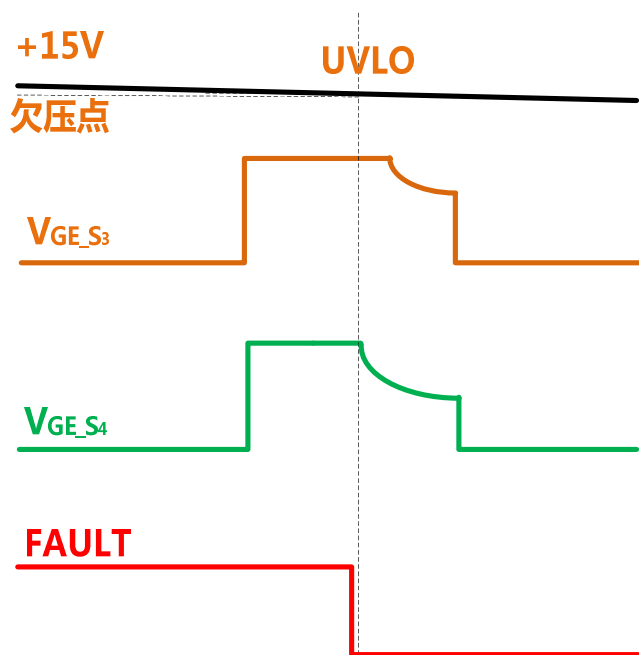
➤ 不依赖上位机

➤ 正常工况：关断时序监测，错误时序会告警

➤ 异常工况：欠压、短路、PWM指令异常、接插件脱落等按时序关断

欠压状态下时序关断

CH1 : V_{GE-S3}
 CH2 : V_{CC}
 CH4 : V_{GE-S4}

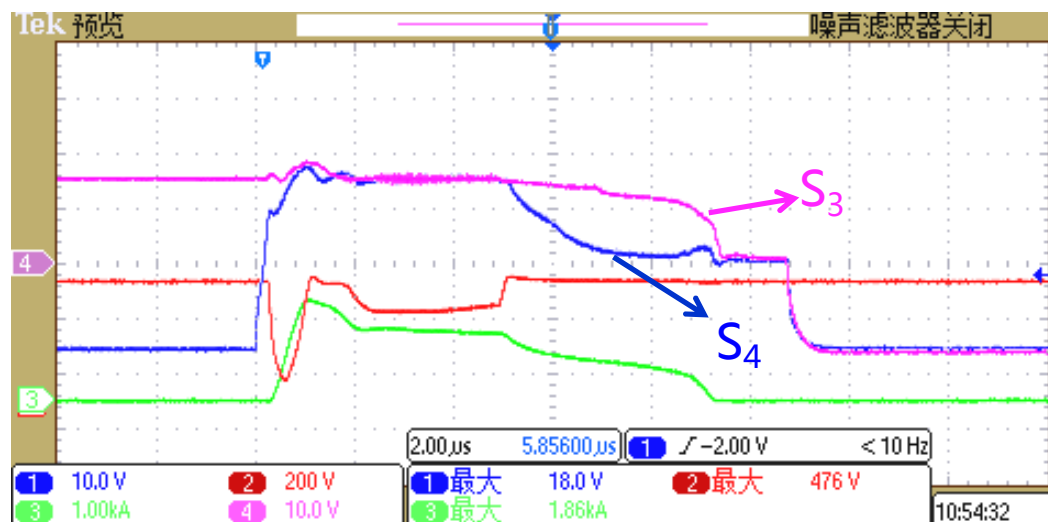
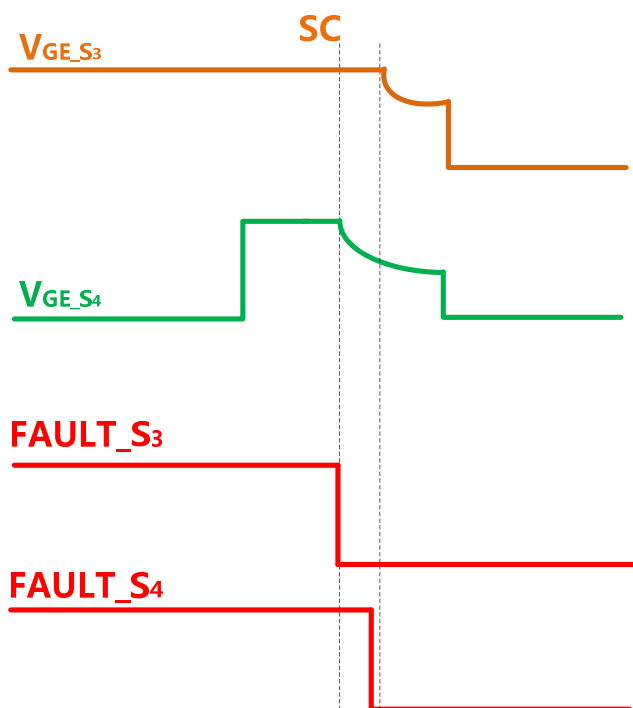


驱动电源欠压状态下，先关断外管 S_4 ，再关断内管 S_3

短路状态下时序关断

$V_{DC}=900V$ 、 $I_C=150A$ 、F3L150R07W2E3_B11、NPC两并联、 S_3 管

CH1 : V_{GE-S4}
 CH2 : V_{CE-S4}
 CH3 : I_C
 CH4 : V_{GE-S3}



S_3 管短路状态下，先关断外管 S_4 ，再关断内管 S_3

Firstack智能解决方案

– 内外管的时序问题

– 中低压解决方案：智能时序管理 OS

– 高压解决方案：di/dt保护+数控高级有源钳位+上位机协调

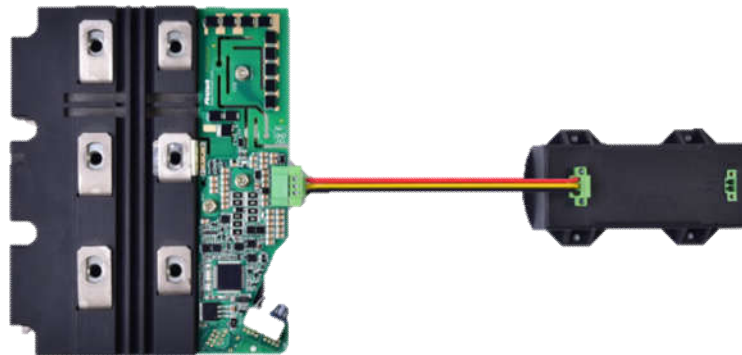
– 内管关断尖峰过高

– 分级关断技术

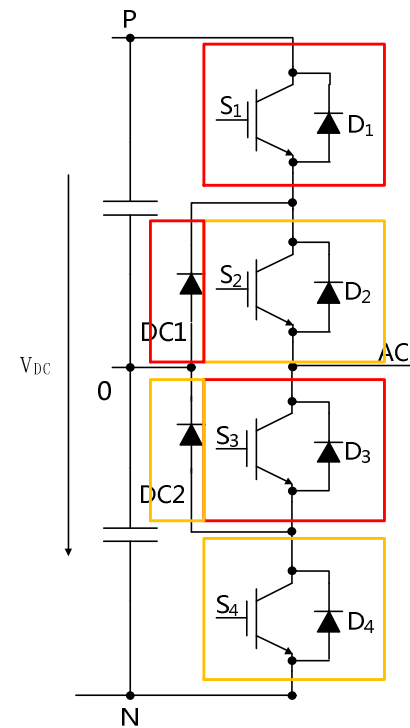
– 模组故障难以定位

– 智能故障通信

高压NPC I型拓扑构成

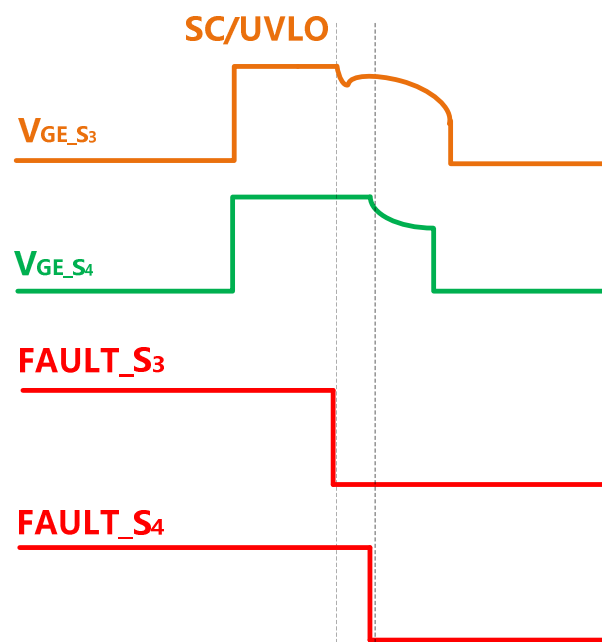
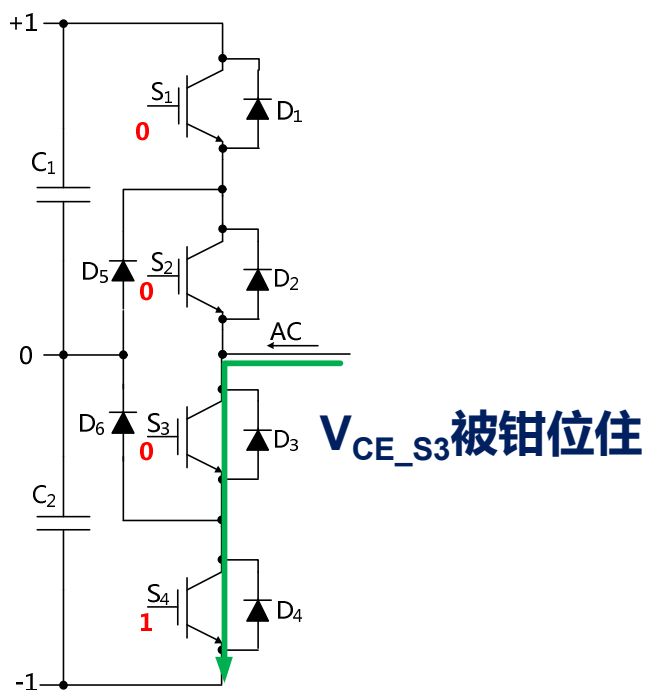


(6个模块 / 每相)



内外管的时序问题解决方案

- 方案：采用di/dt短路检测+数控高级有源钳位+上位机协调



- di/dt短路检测加快短路保护过程，极大降低了E_{S3_MAX}
- 数控高级有源钳位，有效减小内管关断尖峰电压

di/dt短路检测

短路保护：

短路与正常工作时di/dt相差数十倍甚至数百倍

正常：~10A/us

二类短路：~100A/us

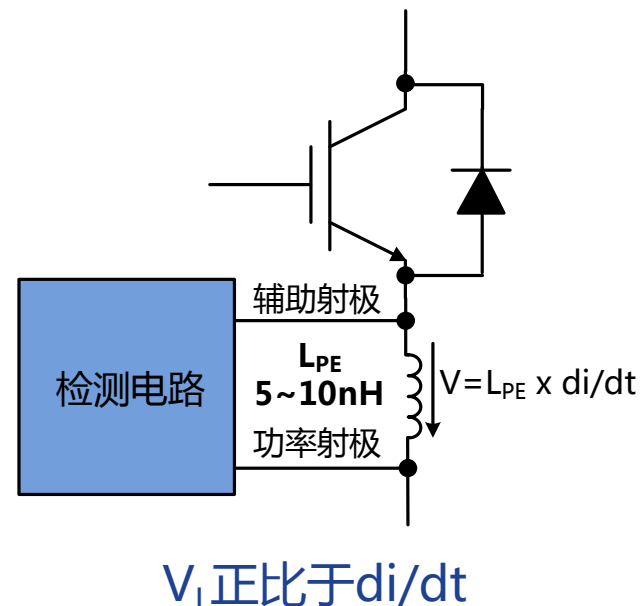
一类短路：~kA/us

➤ 检测时间短

- 一类短路为 V_{CE} 检测的1/3
- 二类短路更少

➤ 与直流母线电压几乎无关

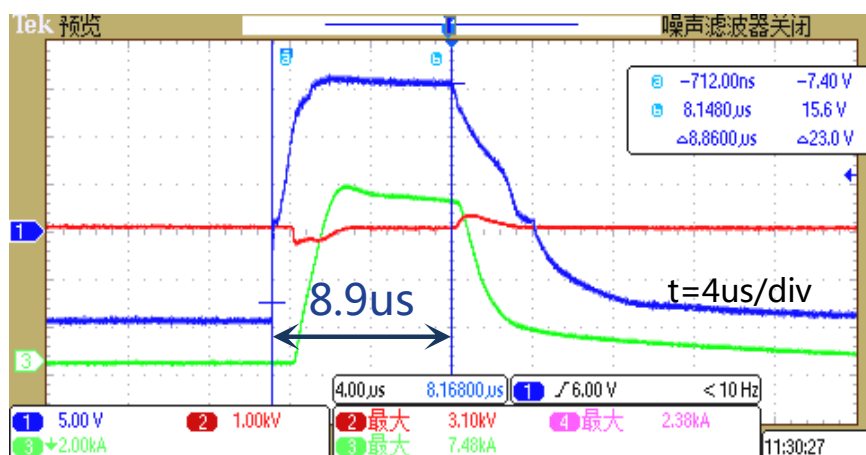
➤ 适用于一类、二类短路保护



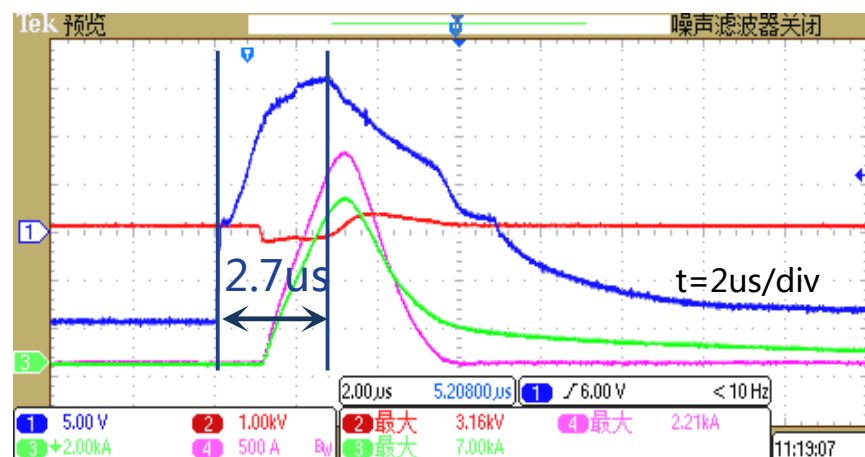
V_{CE}检测 Vs di/dt检测

测试条件：V_{DC}=2800V

CH1:V_{GE}
CH2:V_{CE}
CH3:I_C



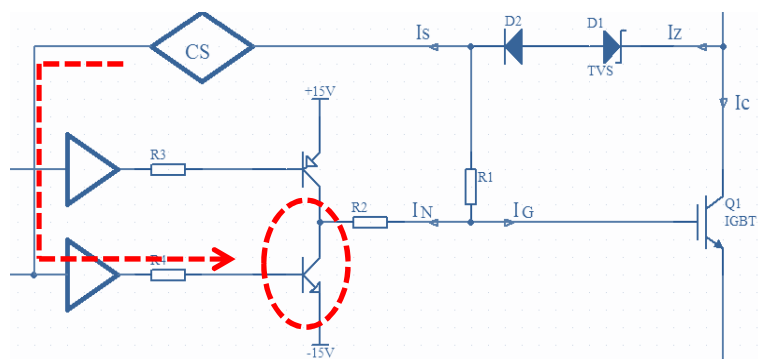
V_{CE}检测



di/dt检测

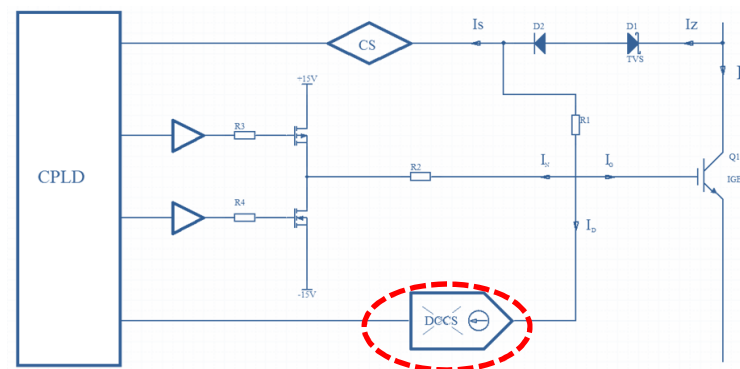
	V _{CE} 检测	di/dt检测
响应时间 (us)	8.9	2.7
峰值电流 (kA)	7.5	7.0
峰值电压 (kV)	3.1	3.2

数控高级有源钳位



高级有源钳位

- $V_{CE} > V_Z$, $I_S > I_{StH}$, 关闭N管
- $V_{CE} < V_Z$, $I_S < I_{StH}$, 开通N管



数控高级有源钳位

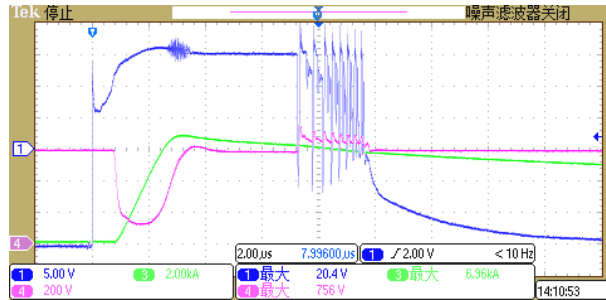
- TVS被击穿, 关断N管, $I_Z = I_G + I_D$
- 依靠**DCCS**精确控制 I_Z

注：1, CS, 表示TVS管的电流采样

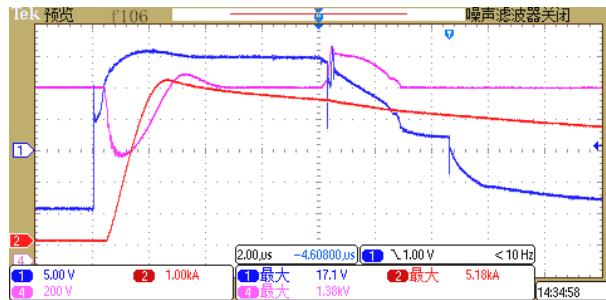
2, DCCS : Digital-Controlled Current Source , 数控电流源

数控高级有源钳位

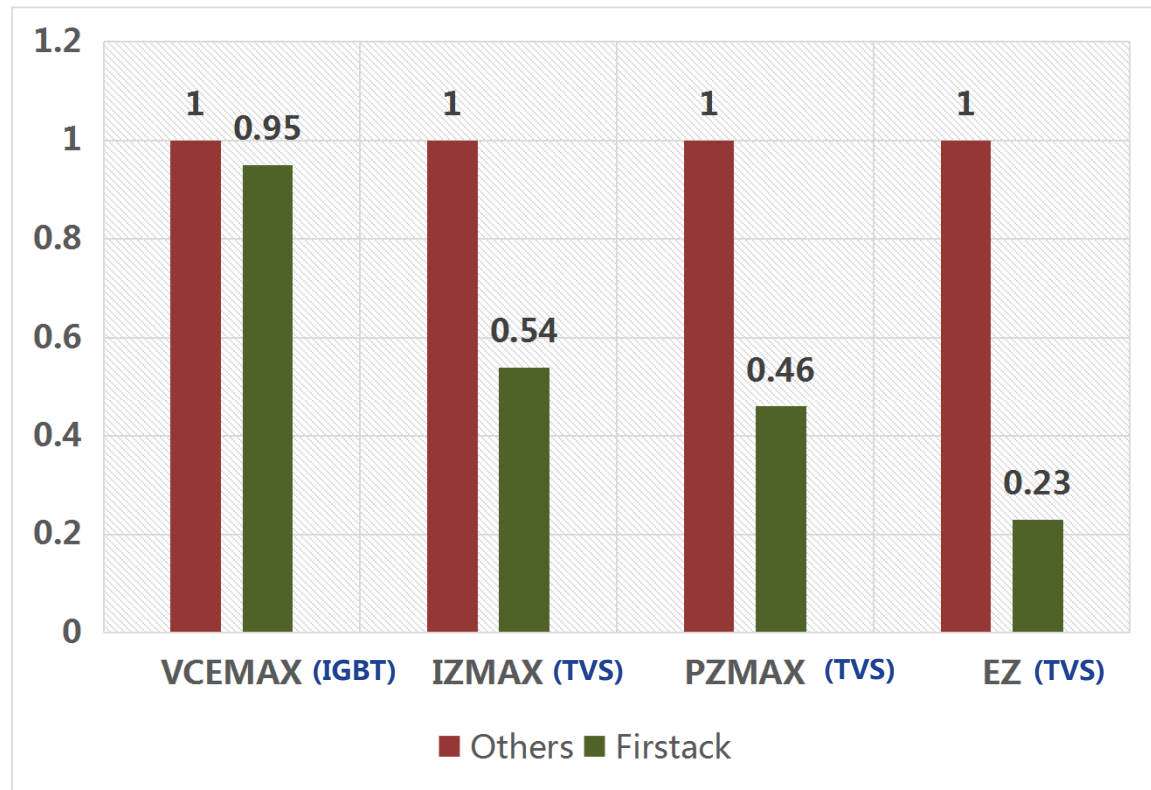
CH1 : V_{GE}
 CH4 : V_{CE}



高级有源钳位



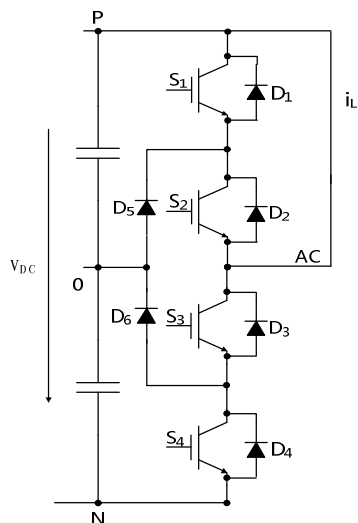
数控高级有源钳位



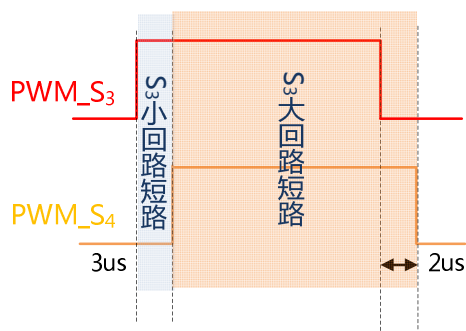
短路状态下关断

CH1 : V_{CE_S3}
 CH2 : V_{CE_S4}
 CH3 : I_{C_S3}
 CH4 : I_{C_S4}

• 短路保护

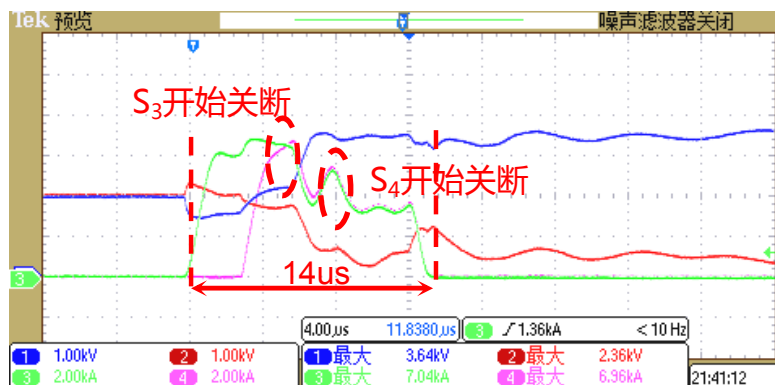


(FZ1200R45KL3*4+DD1200S45KL3*2)



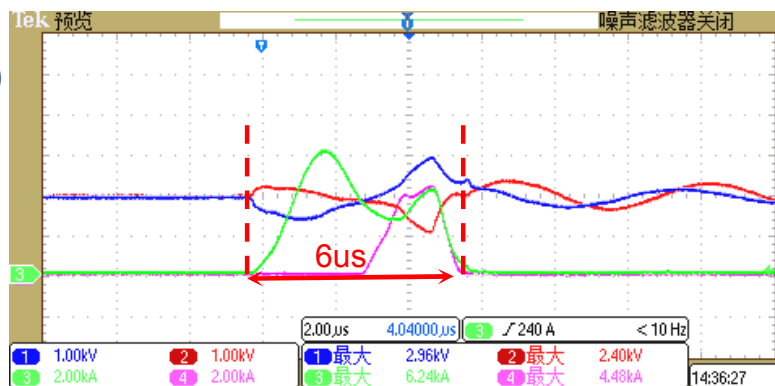
TOP SMART GATE DRIVER

- $V_{DC}=4000V$, 有源钳位阈值3300V



t_{ps3} : 14us vs 10us
 I_{SC} : 7280A vs 6900A

高级有源钳位，短路大大超出SCSOA！



t_{ps3} : 6us vs 10us
 I_{SC} : 6240A vs 6900A

di/dt短路检测+数控高级有源钳位，安全保护！

Firststack智能解决方案

– 内外管的时序问题

– 中低压解决方案：智能时序管理 OS

– 高压解决方案：di/dt保护+数控高级有源钳位+上位机协调

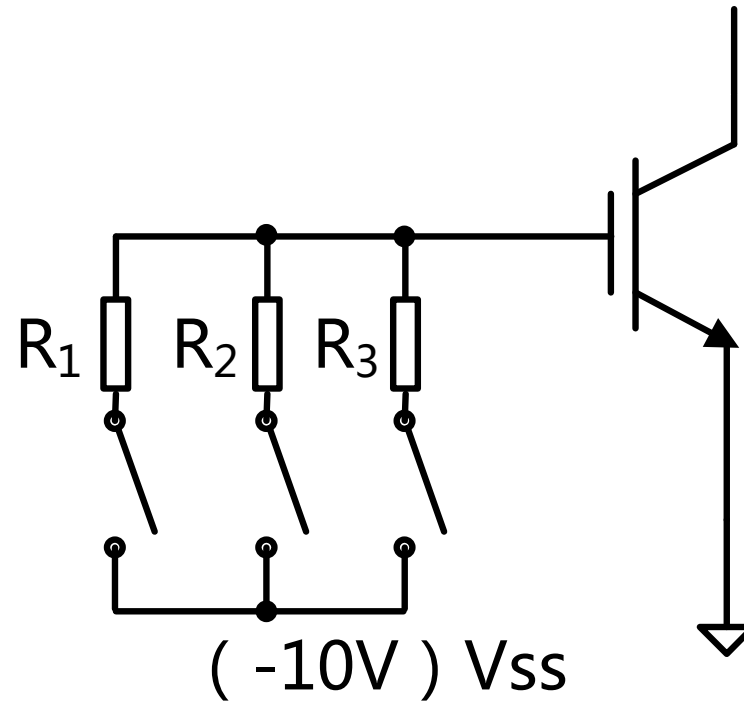
– 内管关断尖峰过高

– 分级关断技术

– 模组故障难以定位

– 智能故障通信

分级关断

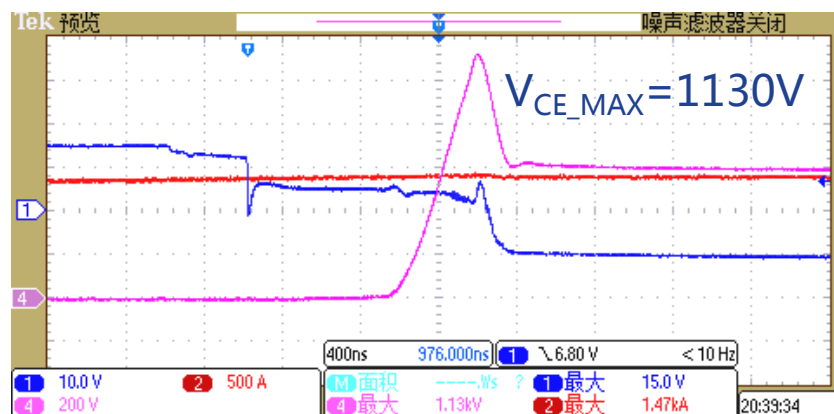


在不同的关断过程中采用不同电阻优化关断特性，有效降低电压尖峰

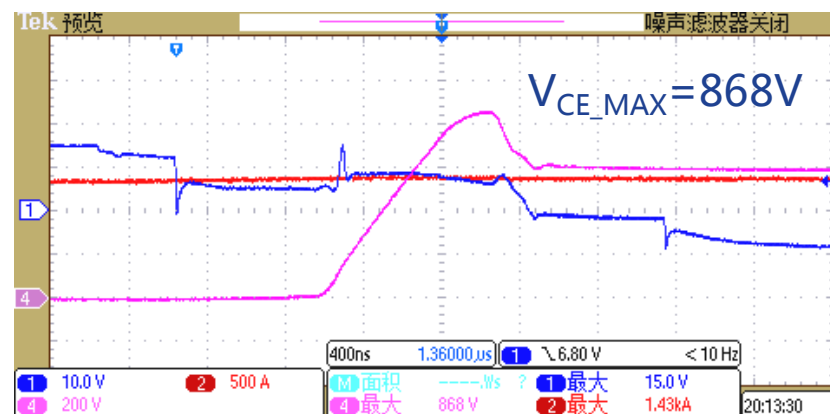
分级关断

CH1 : V_{GE}
CH4 : V_{CE}

$V_{DC}=1200V$ 、 $I_C=1400A$ 、FF1400R12IP4、 S_3 管



无分级关断



有分级关断

	V_{CE_MAX}
无分级关断	1130V
有分级关断	868V

$\Delta V = 262V$

↓ 25%

Firstack智能解决方案

– 内外管的时序问题

– 中低压解决方案：智能时序管理 OS

– 高压解决方案：di/dt保护+数控高级有源钳位+上位机协调

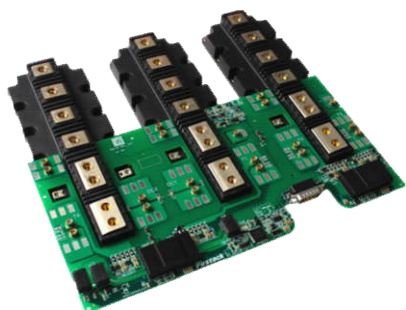
– 内管关断尖峰过高

– 分级关断技术

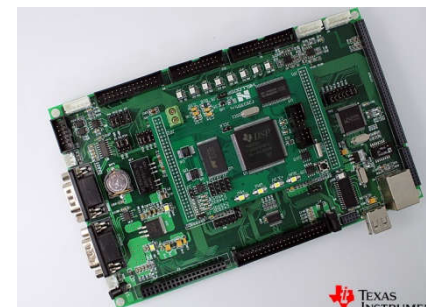
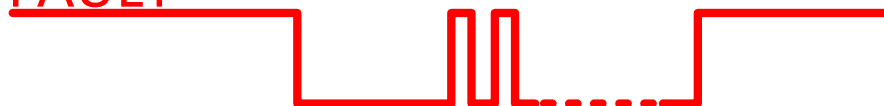
– 模组故障难以定位

– 智能故障通信

智能故障通信



FAULT



故障告知

故障类型

首发故障

复用Fault口，采用串行通讯，区分故障类型以及首发故障，协助快速定位故障

智能故障通信应用



智慧风场Wind OS管理平台



4MW海上智能风机

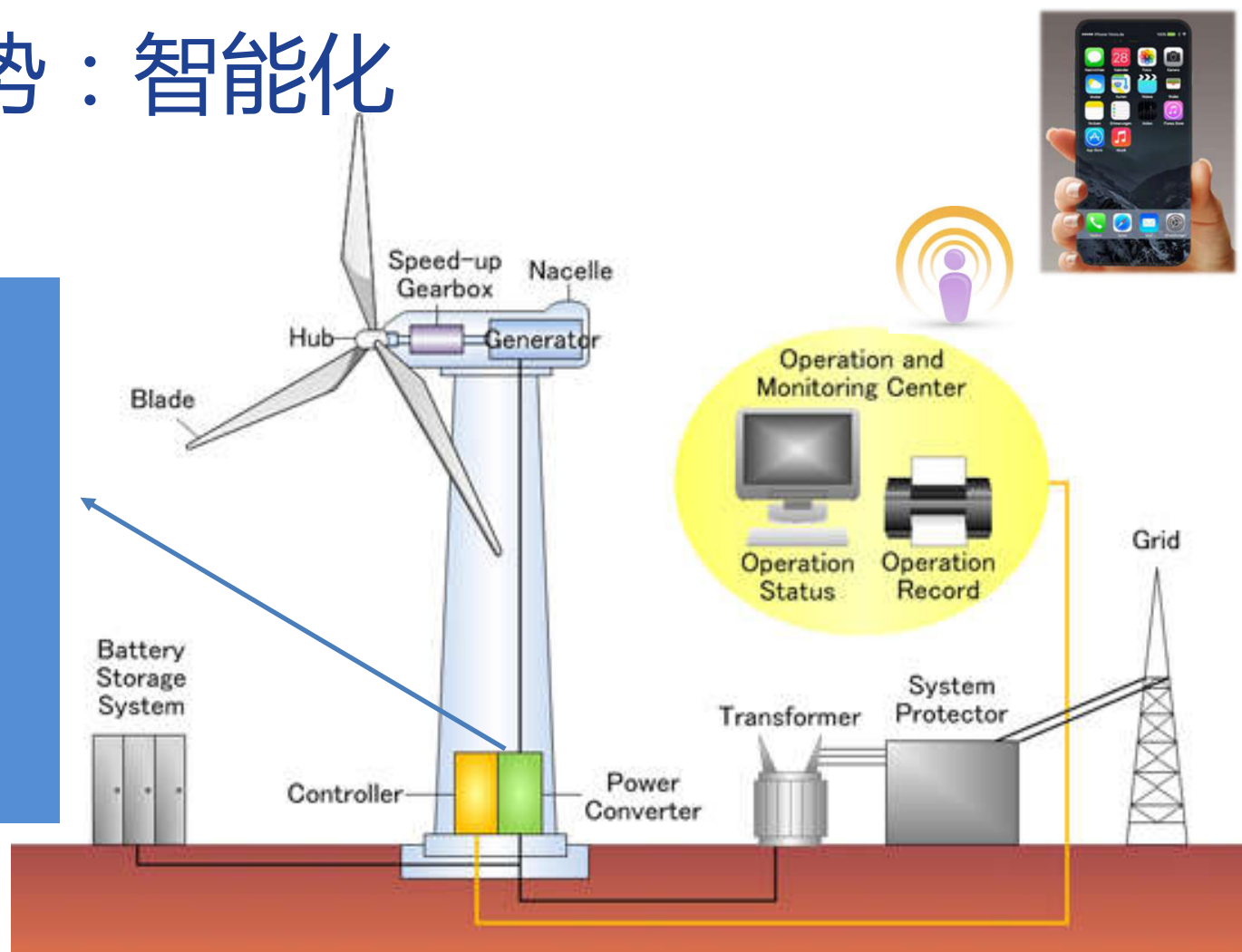
Firststack Inside

未来趋势：智能化

Firstack inside

模块状态数据:

- 故障数据
- 电压
- 电流
- 温度



状态监控与寿命预测

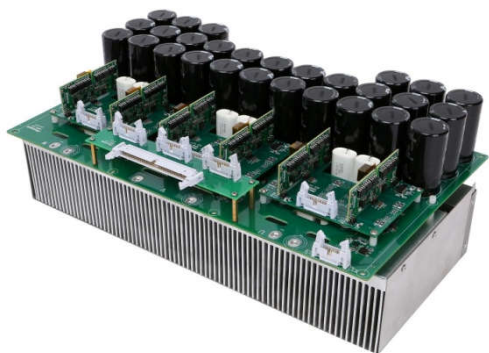
大纲

- NPC I型三电平系统挑战
- Firstack智能解决方案
- Firstack实际应用案例
 - 380V_{AC}/100kW变流器应用
 - 1500V_{DC}/1.25MW变流器应用
 - 3000V_{AC}/5MW变流器应用
- 总结

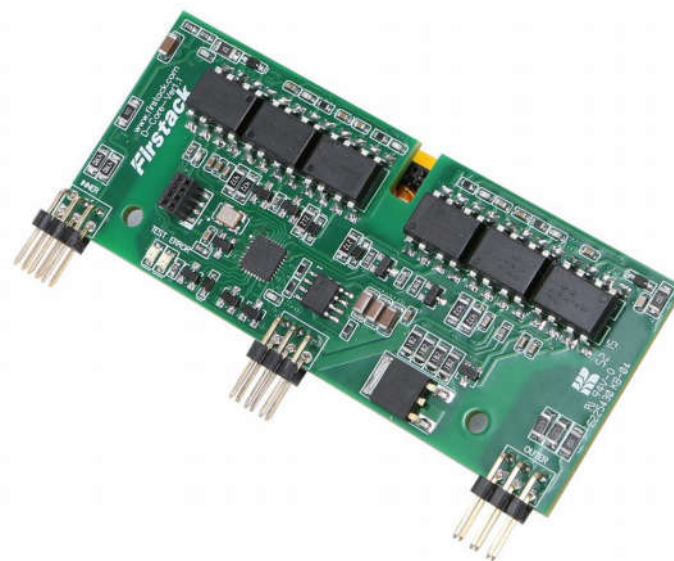
380V_{AC}/100kW变流器应用

380V_{AC} /100kW三电平变流器

- F3L150R07W2E3_B11两并联
- 最大开关频率20kHz
- 功率模组体积：430*250*183mm³
- 应用：光伏/UPS/APF/SVG/储能



(提供免费的参考模组设计方案)



D-CORE

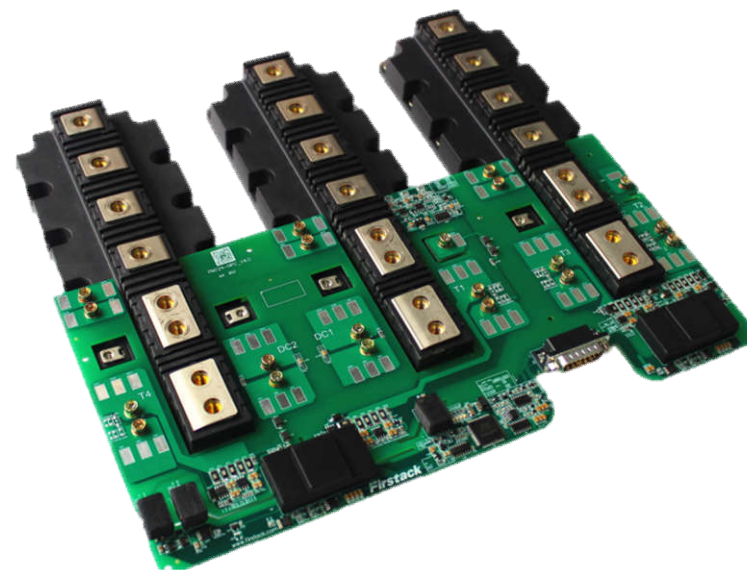
- 智能时序管理
- 分级关断
- 智能故障分类

SMART OS
(D-CORE)

1500V_{DC}/1.25MW变流器应用

1500V_{DC}/1.25MW三电平变流器

- FF1800R12IE5
- IGBT5
- 应用：光伏/储能/SVG/变频器



PM124-E5



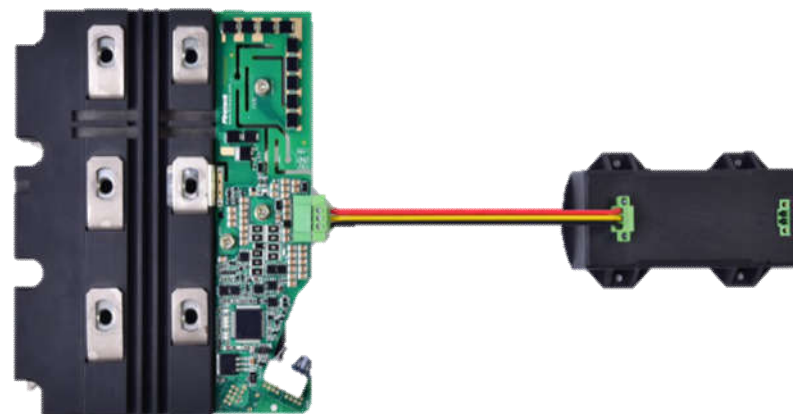
- 智能时序管理
- 分级关断
- 智能故障通信

SMART OS
(PM124-E5)

3000V_{AC}/5MW变流器应用

3000V_{AC}/5MW三电平变流器

- FZ1200R45KL3
- 应用：海上风电/中压变频器



HV1027P



- di/dt检测短路保护
- 数控高级有源钳位
- 分级关断
- 智能故障通信

SMART OS
(HV1027P)

大纲

- NPC I型三电平系统挑战
- Firstack智能解决方案
- Firstack实际应用案例
 - $380V_{AC}/100kW$ 变流器应用
 - $1500V_{DC}/1.25MW$ 变流器应用
 - $3000V_{AC}/5MW$ 变流器应用
- 总结

总结

- 智能时序管理 OS，能有效解决中低压应用关断时序问题
- di/dt + 数控有源钳位技术能有效解决高压应用时序问题
- 分级关断技术，能有效解决内管关断尖峰问题
- 智能故障通信技术，能快速定位模组故障

Firststack智能驱动器



驱动&模组&系统



监测 & 诊断 & 预警



年失效率<0.08%

谢谢!

