

# 数字IGBT驱动技术在高可靠性APF/SVG产品中的应用

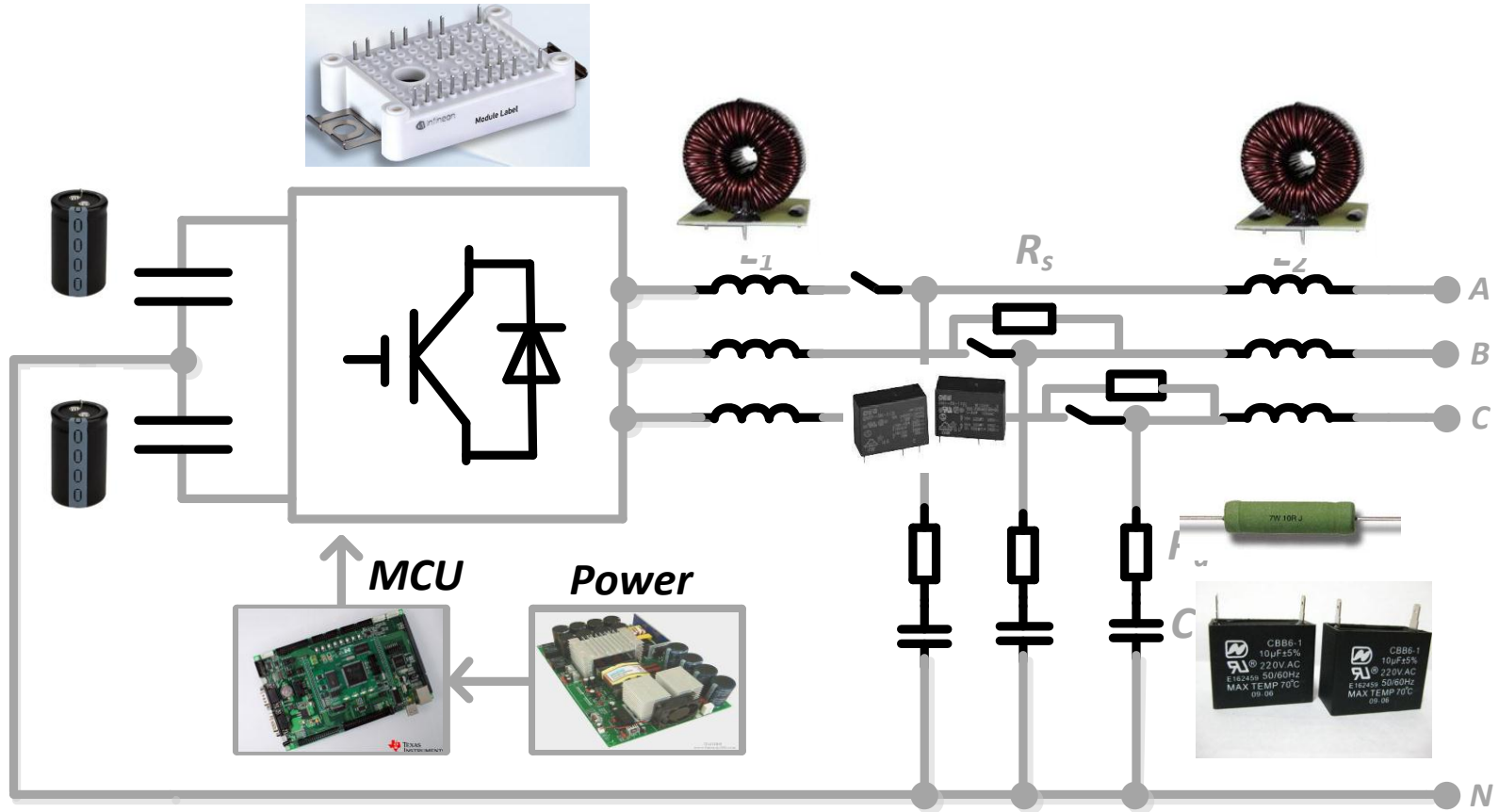
杭州飞仕得科技有限公司



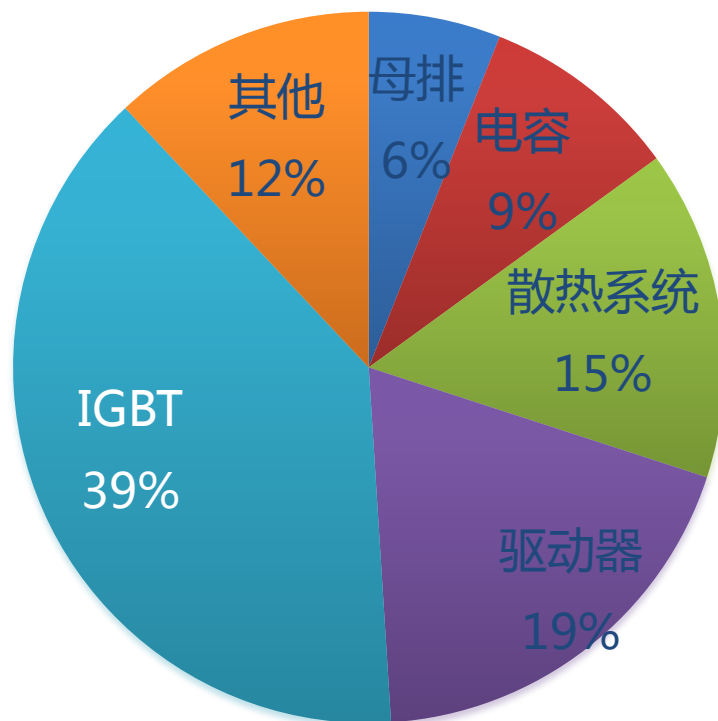
# 大纲

- APF/SVG产品的可靠性
- NPC I型三电平应用的挑战
- Firstack智能解决方案
- Firstack实际应用案例
- 总结

# APF/SVG产品的可靠性



# APF/SVG产品的可靠性



■ 母排 ■ 电容 ■ 散热系统 ■ 驱动 ■ IGBT ■ 其他

**失效率：**

**IGBT + 驱动器 > 50%**

【Source: U. Choi, F. Blaabjerg, K.Lee, "Study and Handling Methods of Power IGBT Module Failures in Power Electronic Converter System" IEEE Trans. Power Electron., vol. 30, no.5, pp.2517-2533, May. 2015.】

# APF/SVG产品的可靠性



100A/两电平：800×600×2200mm<sup>3</sup>



**体积减小近80%**



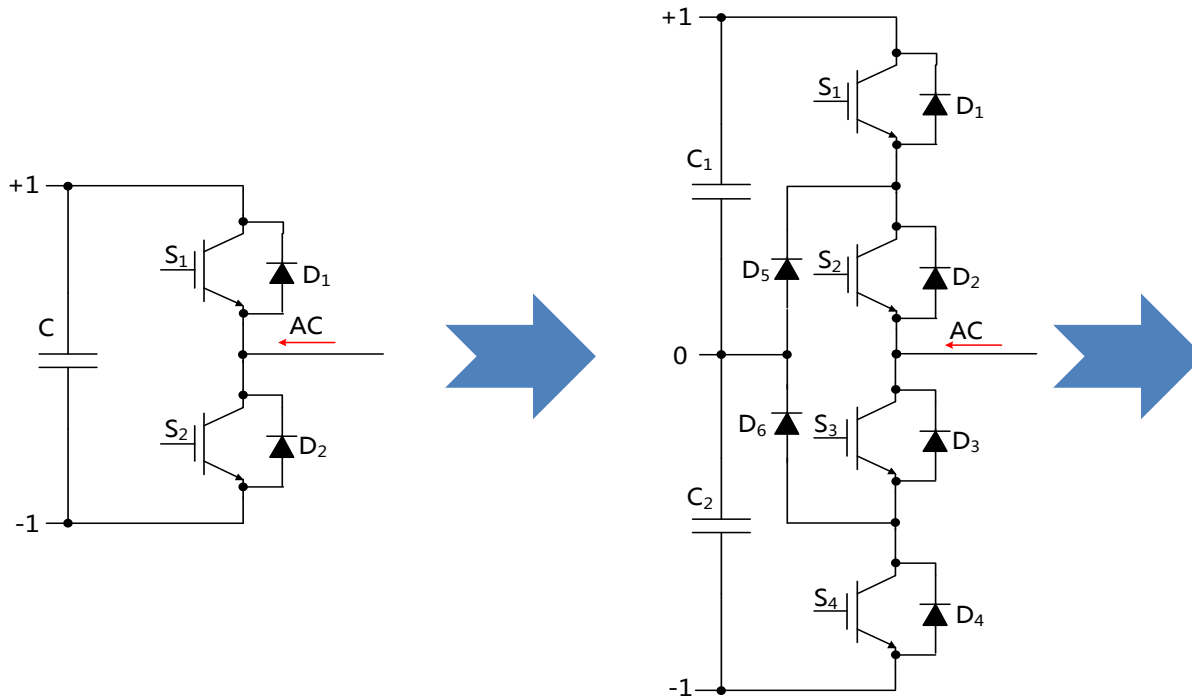
100A/三电平：447×620 ×267mm<sup>3</sup>

**更高效率，更高功率密度，更低系统成本**

# 大纲

- APF/SVG产品的可靠性
- NPC I型三电平系统挑战
- Firstack智能解决方案
- Firstack实际应用案例
- 总结

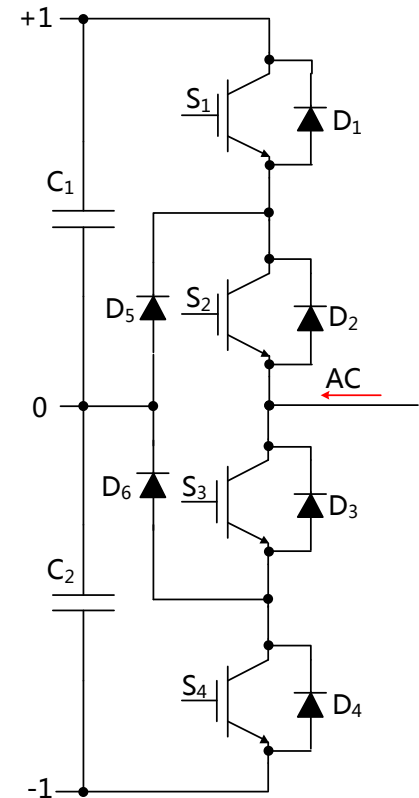
# NPC I型三电平系统挑战



- 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



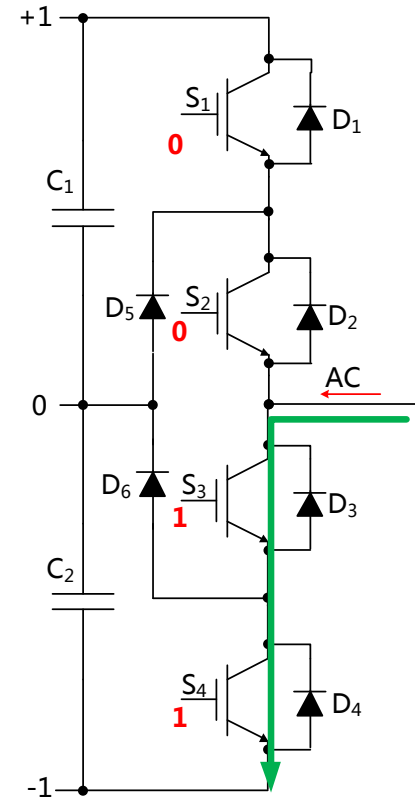
➤ NPC I型三电平有5种模态，其中包括稳态C，6，3和过渡态4，2

➤ 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

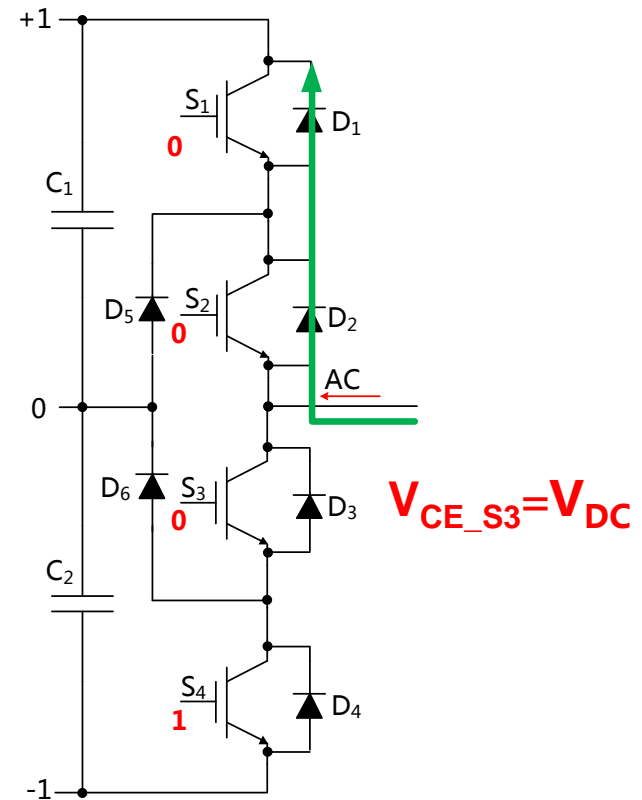
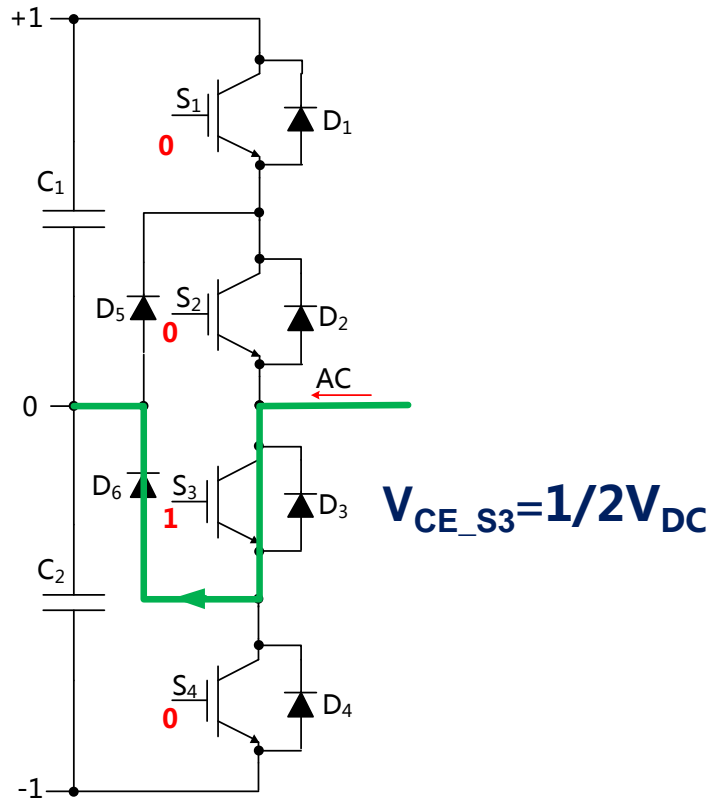
$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$	H进制	输出
1	1	0	0	C	+1
0	1	0	0	4	+1
0	1	1	0	6	0
0	0	1	0	2	0
0	0	1	1	3	-1
0	0	1	0	2	0
0	1	1	0	6	0
0	1	0	0	4	+1
1	1	0	0	C	+1



➤正常3模态下，电流流过 $S_3$ ， $S_4$ ，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 $S_3$ 还是先关 $S_4$ ？

# 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

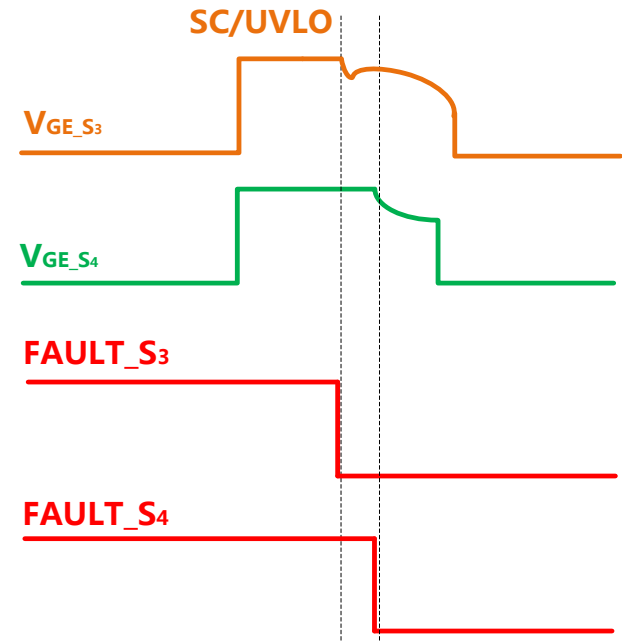
- ! 保护不全面，可靠性依赖于系统设计及生产工艺

- ! 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 : 高级有源钳位+上位机协调

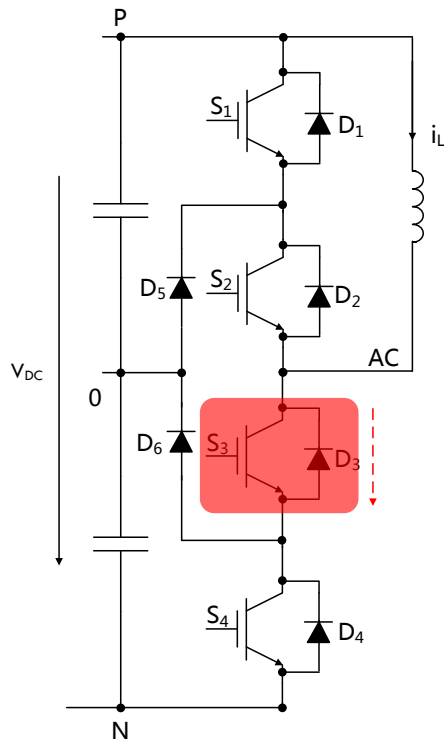
- 依靠有源钳位防止内管过压
    - ✓ 保护齐全
    - ✓ 保护策略简单，等同于两电平
    - ✓ 省去故障通讯/滤波时间 ( 1~2us )
- ! 解决了过压，但时序问题仍然存在**



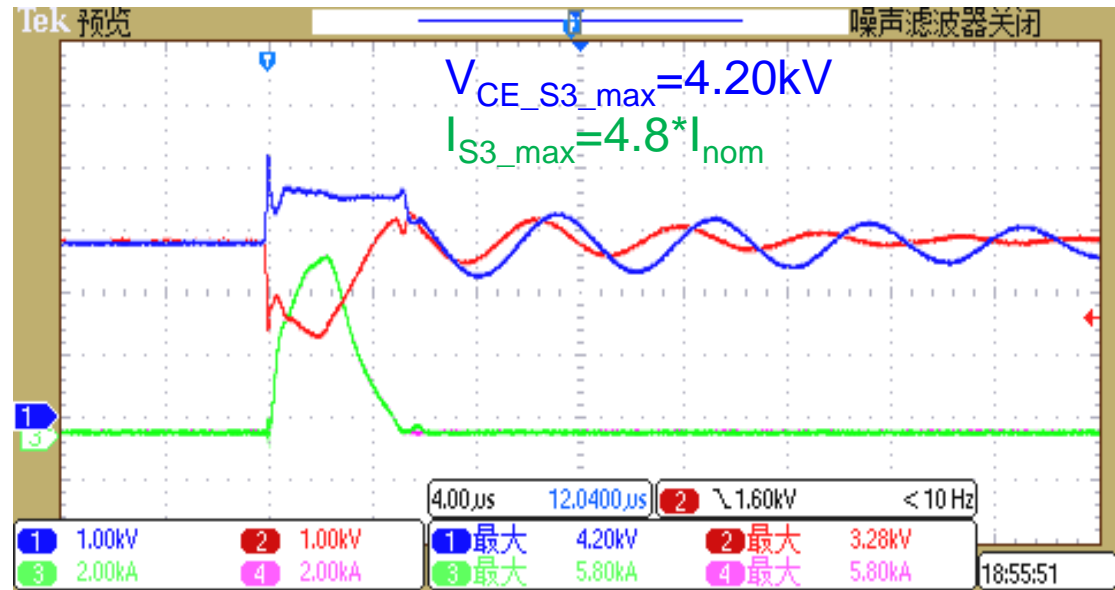
# 内管先关风险分析

CH<sub>1</sub> : V<sub>CE\_S3</sub>  
 CH<sub>2</sub> : V<sub>CE\_S4</sub>  
 CH<sub>3</sub> : I<sub>C\_S3</sub>  
 CH<sub>4</sub> : I<sub>C\_S4</sub>

V<sub>DC</sub>=5800V, S<sub>3</sub>先于S<sub>4</sub>关断4us



IGBT型号 : FZ1200R45KL3



钳位效果良好，但S<sub>3</sub>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	有源钳位
成本	低	高
保护齐全	差	好
可靠性	一般	较好
保护策略	简单	简单
控制系统配合	DSP+CPLD+驱动	DSP+CPLD+驱动
应用领域	低压小功率	高压领域

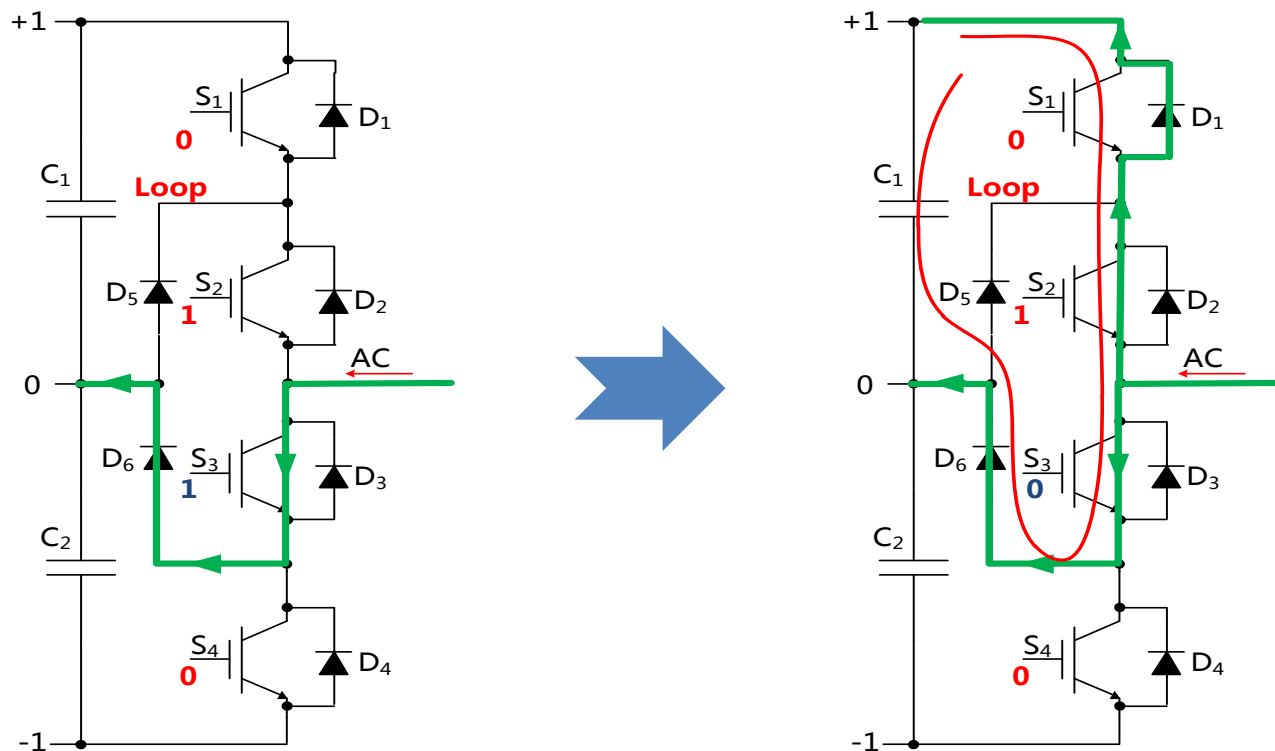
# 总结

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

控制系统失效，连接器脱落？



# 内管关断尖峰过高

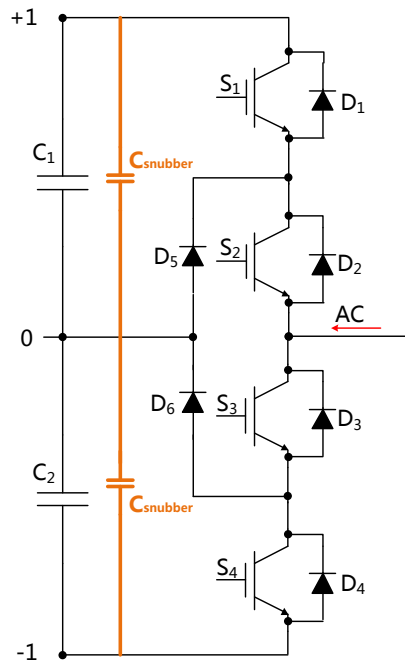


➤ **大换流回路**：6- $\rightarrow$ 4模态切换，换流回路穿过 $C_1$ ， $D_1$ ， $S_2$ ， $S_3$ ， $D_6$ 器件

➤ **大杂散电感**：不同模块及母排组成的拓扑，杂散电感值在80~100nH左右

# 内管关断尖峰过高---传统解决方案 I

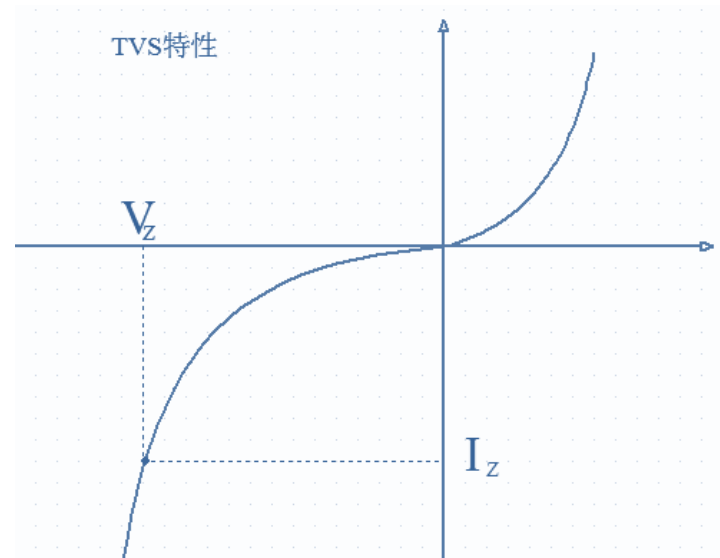
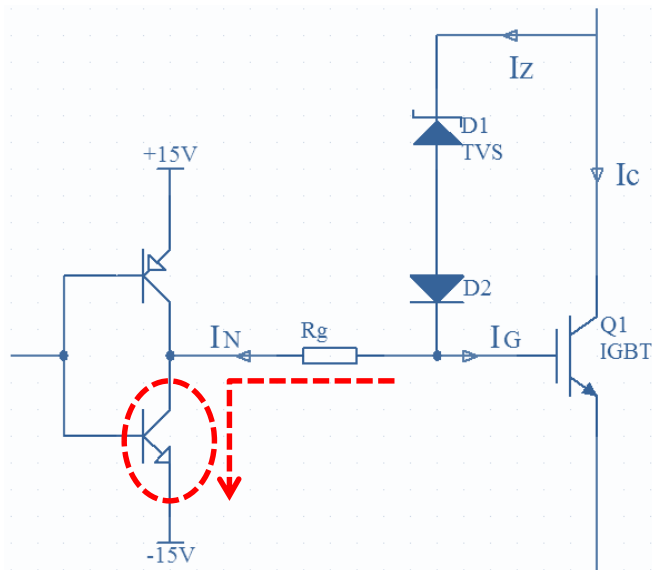
## - 方案 I : 加吸收电容



- 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

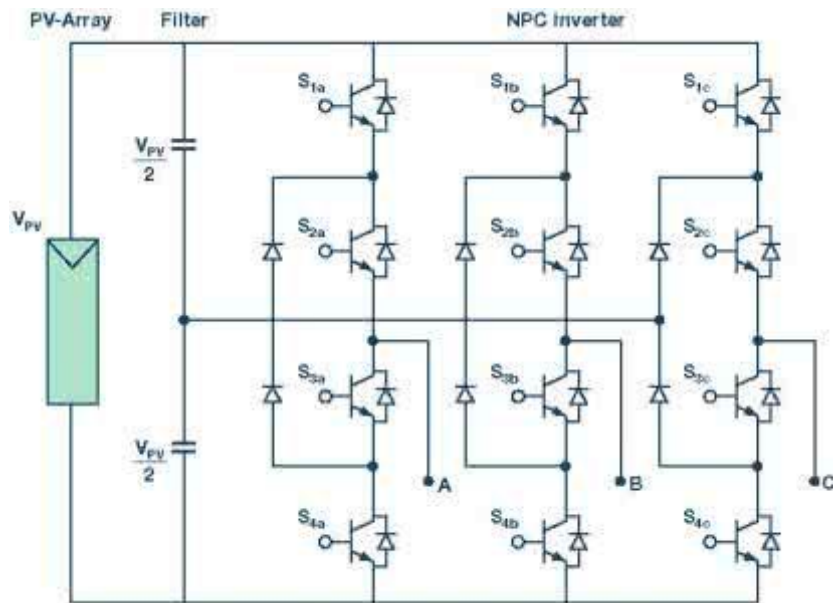


过高的尖峰导致有源钳位频繁动作，TVS有过热损坏风险

# 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

- APF/SVG产品的可靠性
- NPC I型三电平应用的挑战
- **Firstack智能解决方案**
- Firstack实际应用案例
- 总结

# Firstack智能解决方案

- 内外管的时序问题
  - 智能时序管理 OS
- 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



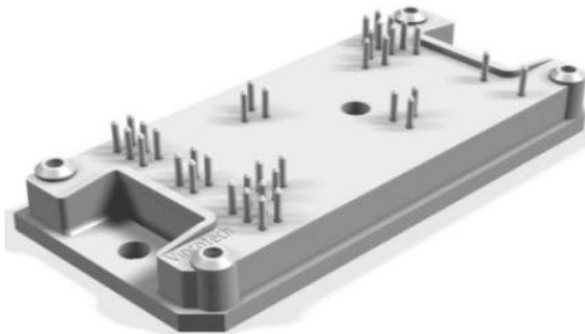
# Firststack智能解决方案

- 内外管的时序问题
  - 智能时序管理 OS
- 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

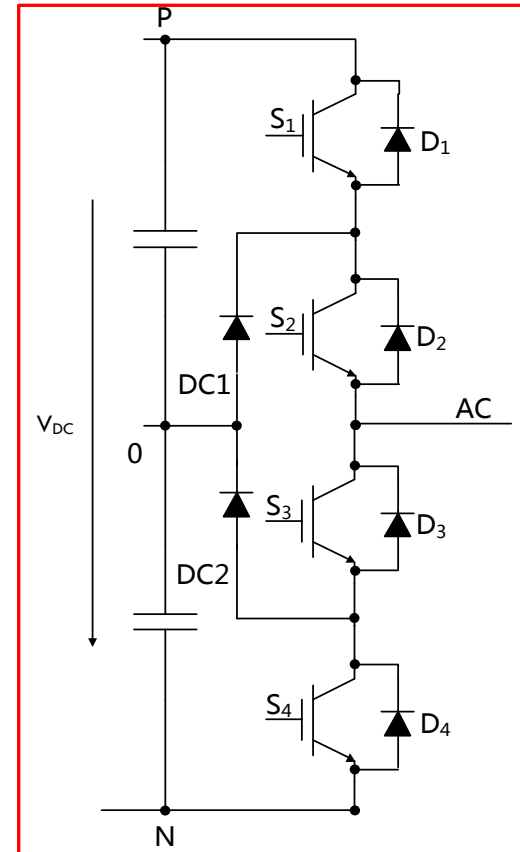
# NPC 型拓扑构成



英飞凌 : EasyPACK

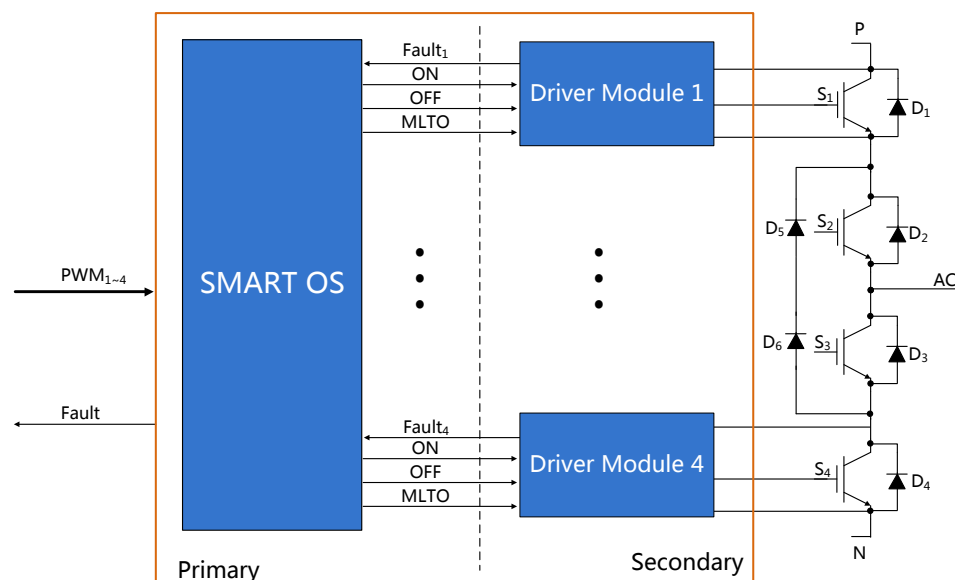


Vincotech : flow NPC 1



# 内外管的时序问题解决方案

## - 方案：智能时序管理 OS



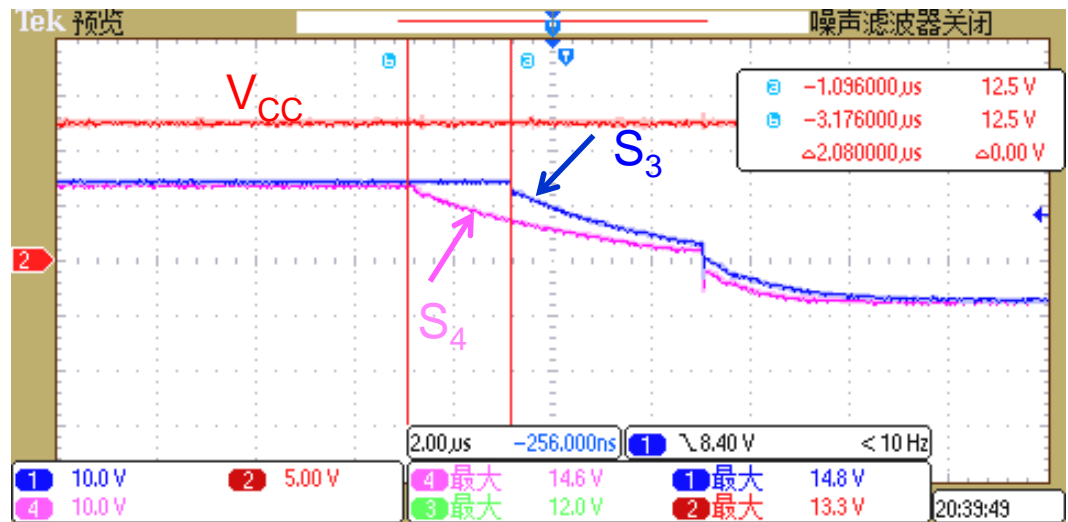
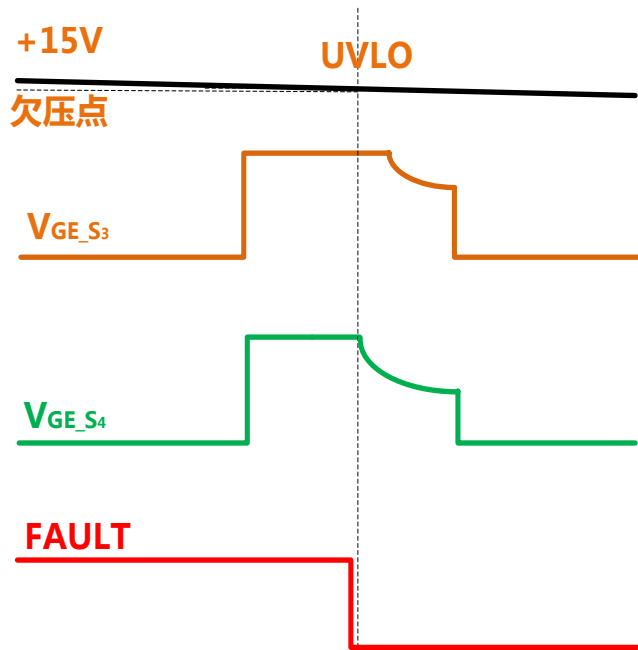
➤ 不依赖上位机

➤ 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 :  $V_{GE-S4}$

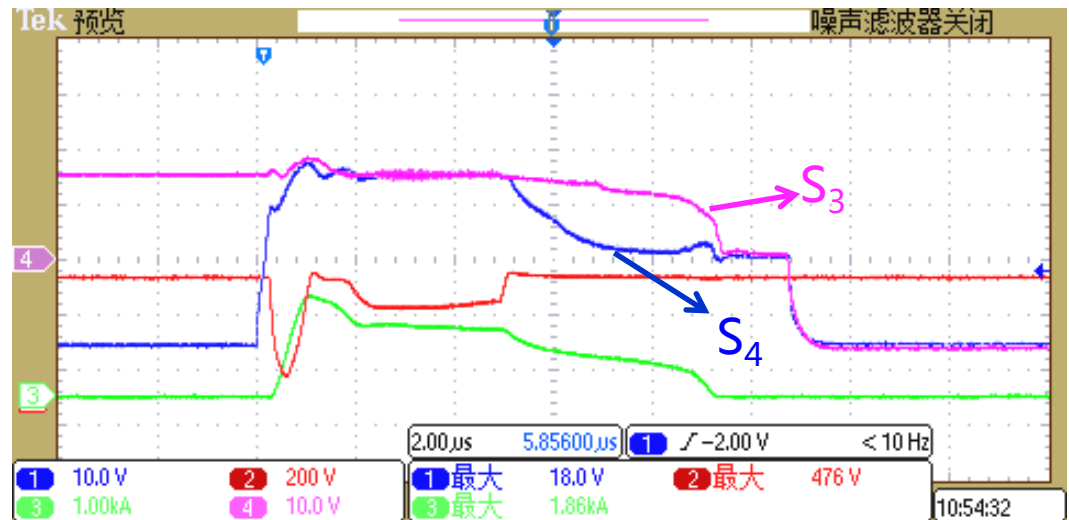
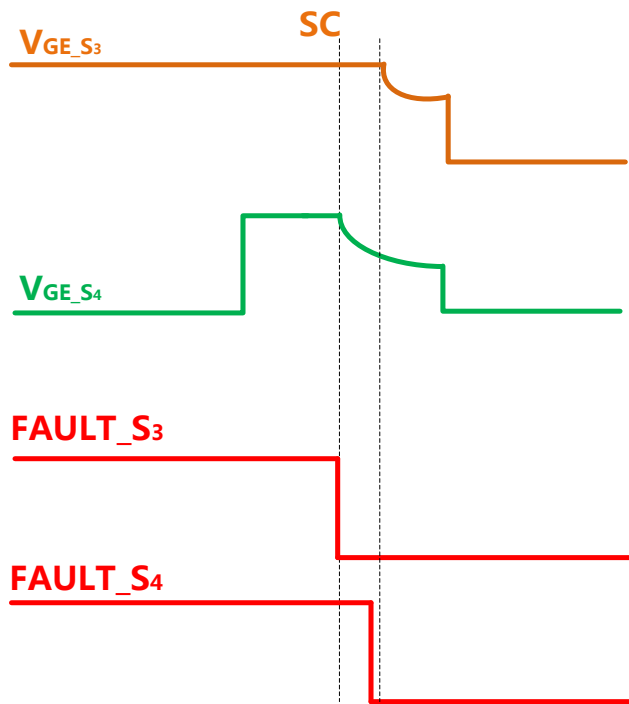


驱动电源欠压状态下，先关断外管 $S_4$ ，再关断内管 $S_3$

# 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 :  $V_{GE-S3}$

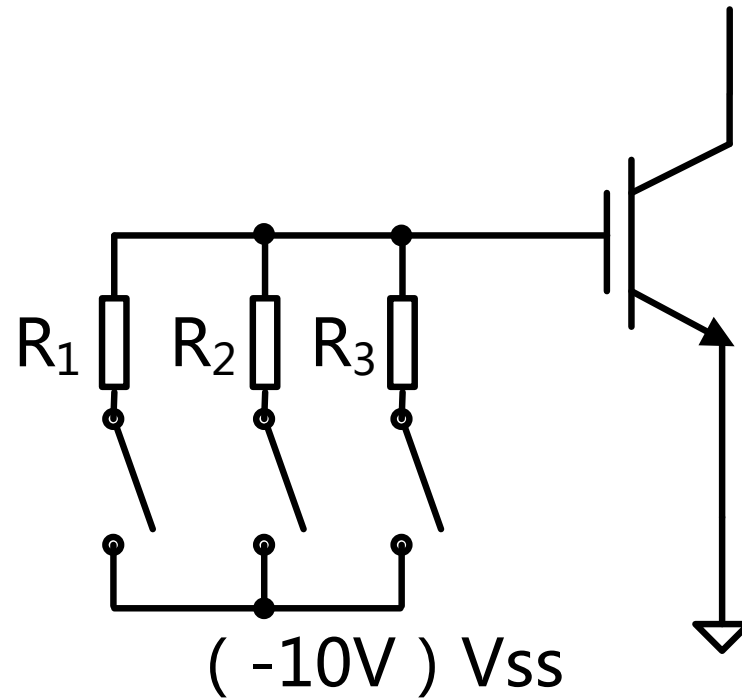


$S_3$ 管短路状态下，先关断外管 $S_4$ ，再关断内管 $S_3$

# Firststack智能解决方案

- 内外管的时序问题
  - 智能时序管理 OS
- 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

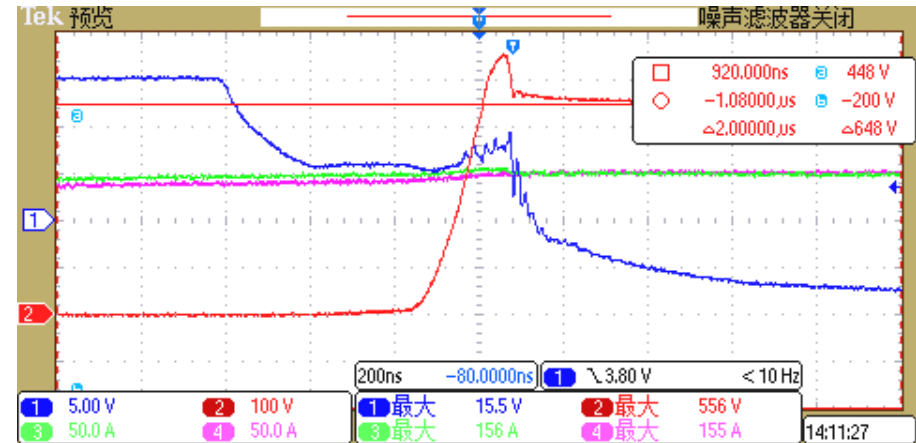
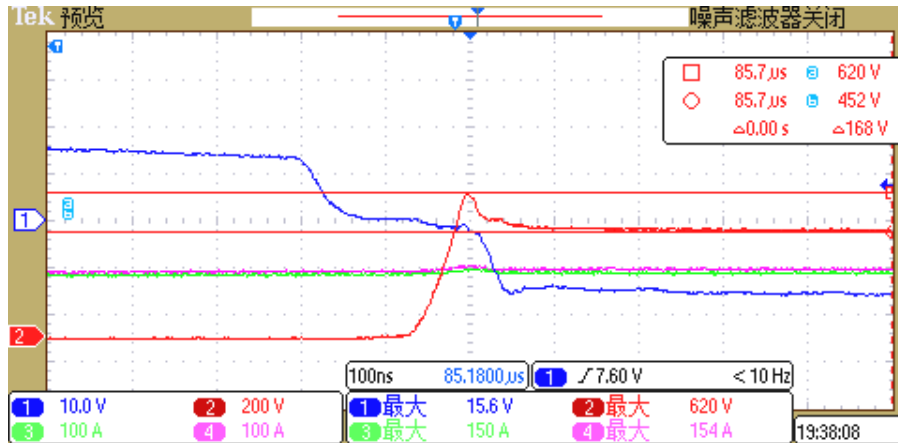


在不同的关断过程中采用不同电阻优化关断特性，有效降低电压尖峰

# 分级关断

$V_{DC}=900V$ 、 $I_C=150A$ 、F3L150R07W2E3\_B11, NPC两并联

CH1: $V_{GE}$   
 CH2: $V_{CE}$   
 CH3: $I_{C1}$   
 CH4: $I_{C2}$



	$V_{CE-MAX}$	$\Delta V$
正常关断	620V	168V
分级关断	556V	108V

$\Delta V$  ↓ 35%

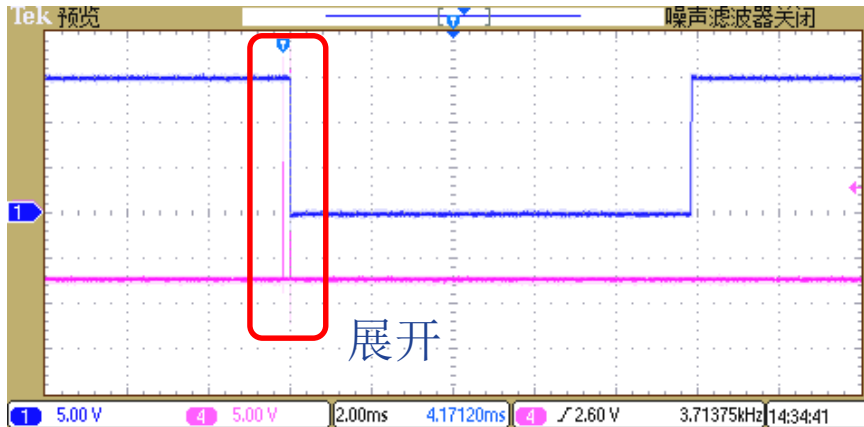
F3L150R07W2E3\_B11两并联可实现**150A**的APF



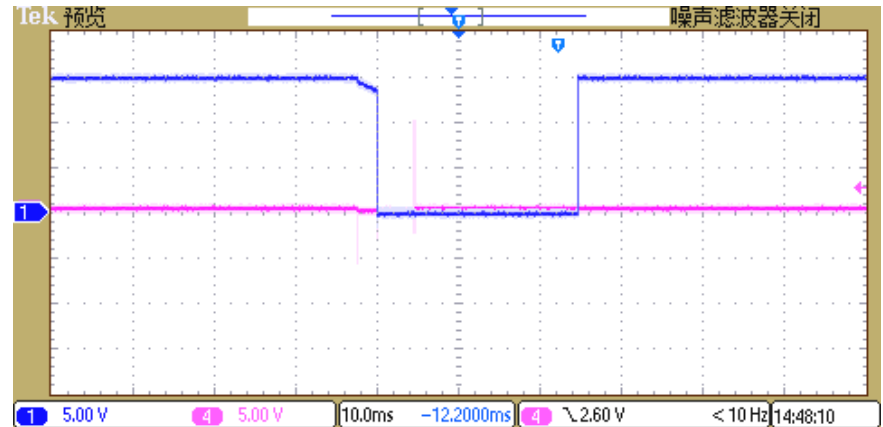
# Firststack智能解决方案

- 内外管的时序问题
  - 智能时序管理 OS
- 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



➤ SC时，故障返回保持时间：10ms



➤ UV时，故障返回保持时间：25ms

➤ 故障分类：区分SC（短路）故障和UV（电源欠压）故障

**协助客户快速定位整机故障，降低研发及维护成本**

# 大纲

- APF/SVG产品的可靠性
- NPC I型三电平应用的挑战
- Firstack智能解决方案
- Firstack实际应用案例
- 总结

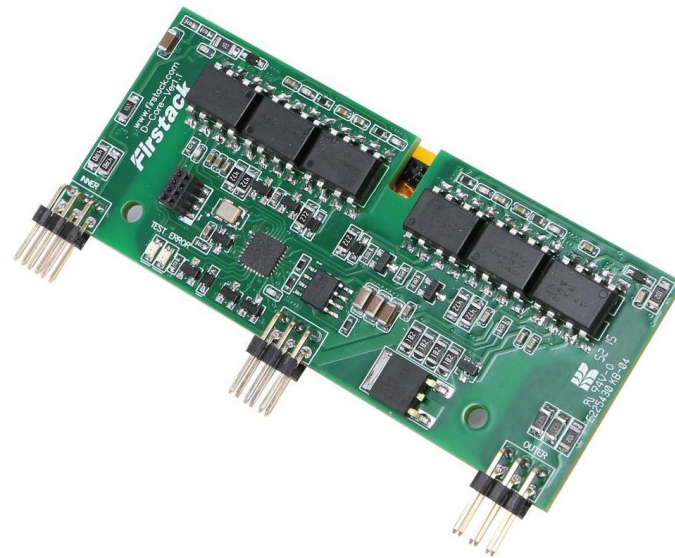
# 380V<sub>AC</sub>/100kVA变流器应用

## 380V<sub>AC</sub> /100kVA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\*183mm<sup>3</sup>
- 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 )

# 大纲

- APF/SVG产品的可靠性
- NPC I型三电平应用的挑战
- Firstack智能解决方案
- Firstack实际应用案例
- 总结

# 总结

- APF/SVG产品中IGBT及其驱动器可靠性尤为重要
- NPC I型三电平已成为主流拓扑
- Firstack数字驱动可以有效解决三电平驱动挑战
  - 智能时序管理 OS，能有效解决应用关断时序问题
  - 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



可靠



智能



品质

驱动&模组&系统

监测 & 诊断 & 预警

年失效率<0.08%

谢谢!

