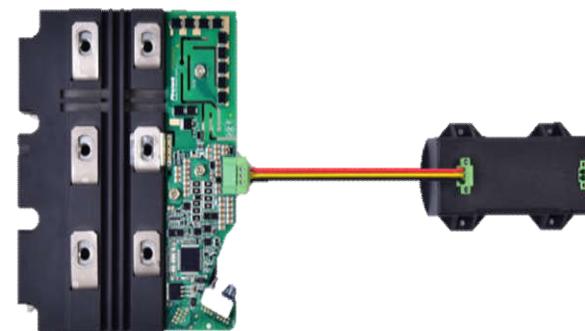


# NPC Ⅰ型三电平IGBT智能驱动技术

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<sub>AC</sub>/100kW 并网逆变器



1500V<sub>DC</sub>/1.25MW 光伏发电



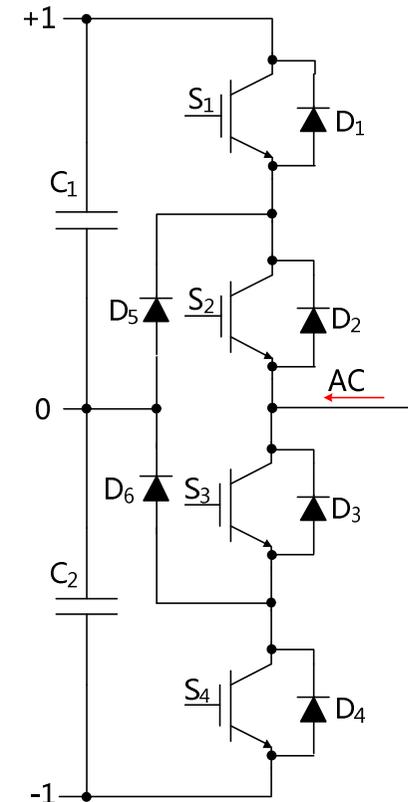
3000V<sub>AC</sub>/5MW 海上风电

## 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

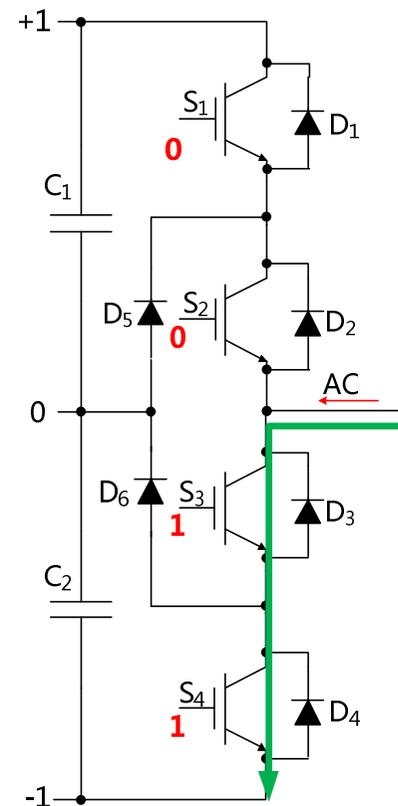
$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$	H进制	输出
1	1	0	0	C	+1
0	1	0	0	4	+1
0	1	1	0	6	0
0	0	1	0	2	0
0	0	1	1	3	-1
0	0	1	0	2	0
0	1	1	0	6	0
0	1	0	0	4	+1
1	1	0	0	C	+1



- 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

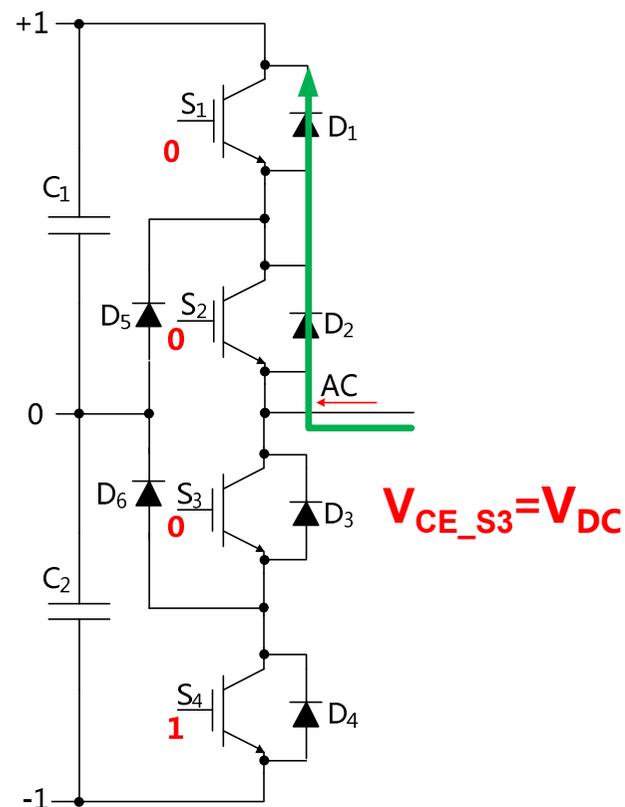
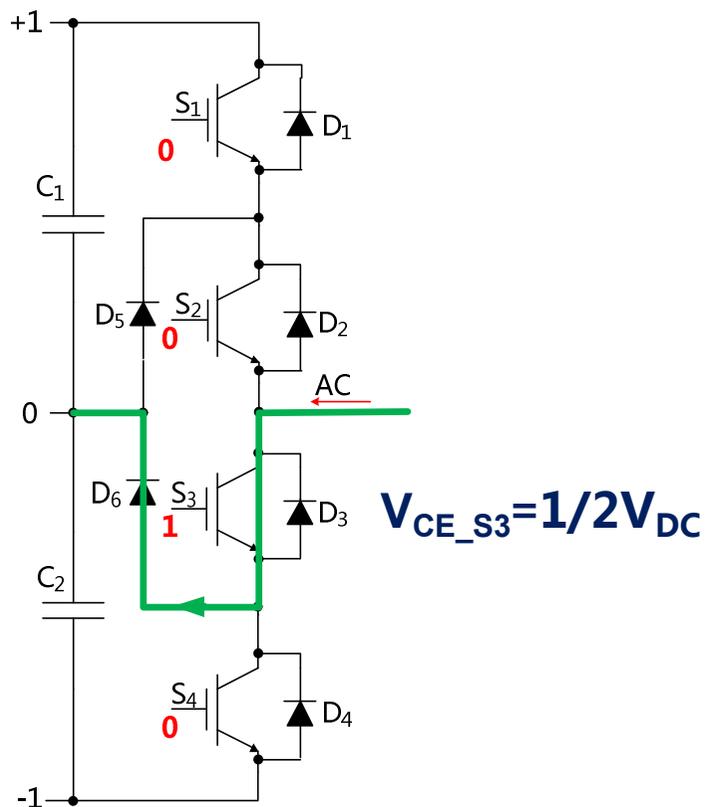
S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	H进制	输出
1	1	0	0	C	+1
0	1	0	0	4	+1
0	1	1	0	6	0
0	0	1	0	2	0
0	0	1	1	3	-1
0	0	1	0	2	0
0	1	1	0	6	0
0	1	0	0	4	+1
1	1	0	0	C	+1



➤正常3模态下，电流流过S<sub>3</sub>，S<sub>4</sub>，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<sub>3</sub>还是先关S<sub>4</sub>？

# 内外管的时序问题



先关S<sub>3</sub>，S<sub>3</sub>承受整个母线电压，S<sub>3</sub>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 $> 10\mu s$

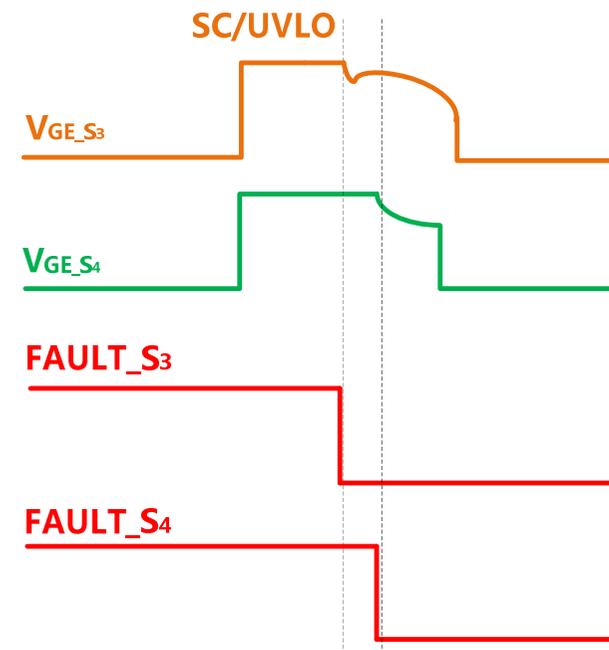
**快速检测是关键**

# 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 )

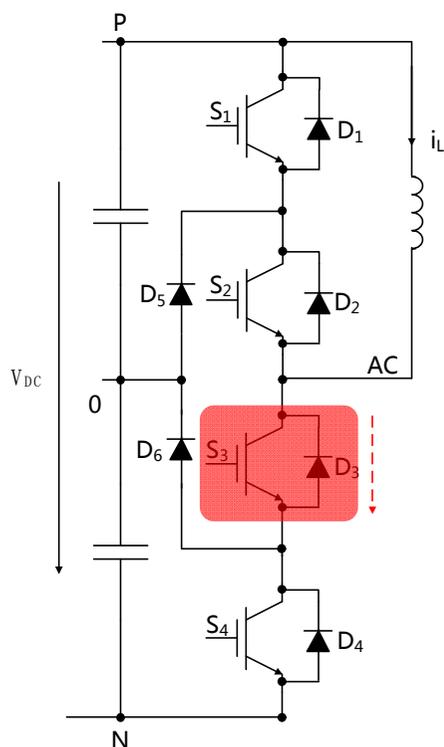
! 解决了过压, 但时序问题仍然存在



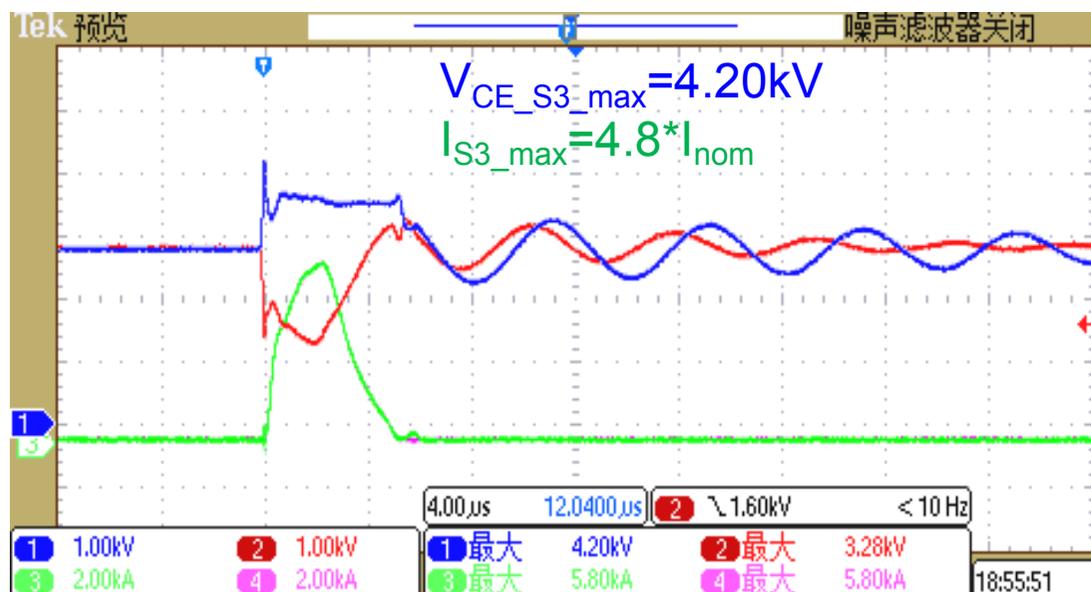
# 内管先关风险分析

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

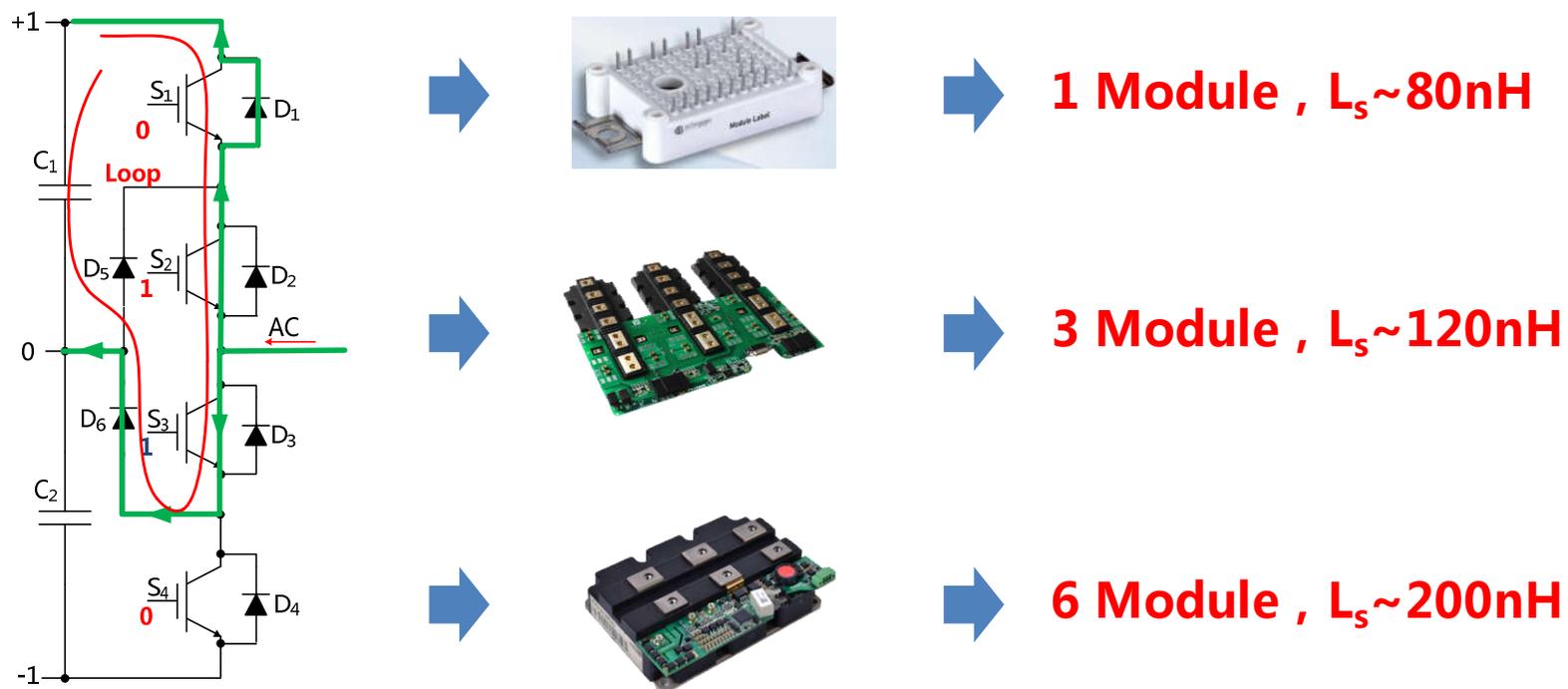
方案类型	内管无保护	三电平模式	有源钳位
成本	低	中	高
保护齐全	差	好	好
可靠性	一般	好	较好
保护策略	简单	较复杂	简单
控制系统配合	DSP+CPLD+驱动	DSP+CPLD+驱动	DSP+CPLD+驱动
应用领域	低压小功率	高可靠性	高压领域

# 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？

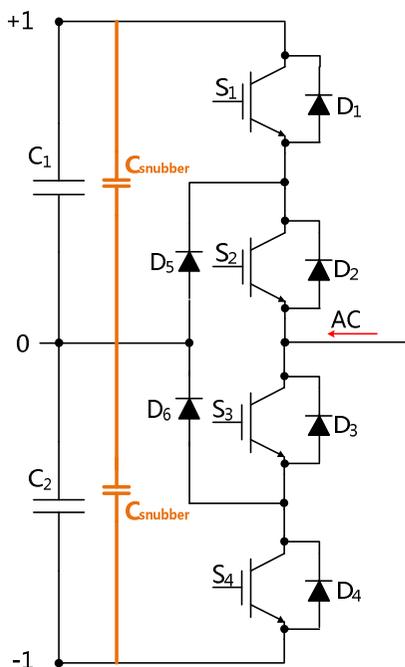
# 内管关断尖峰过高



- **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

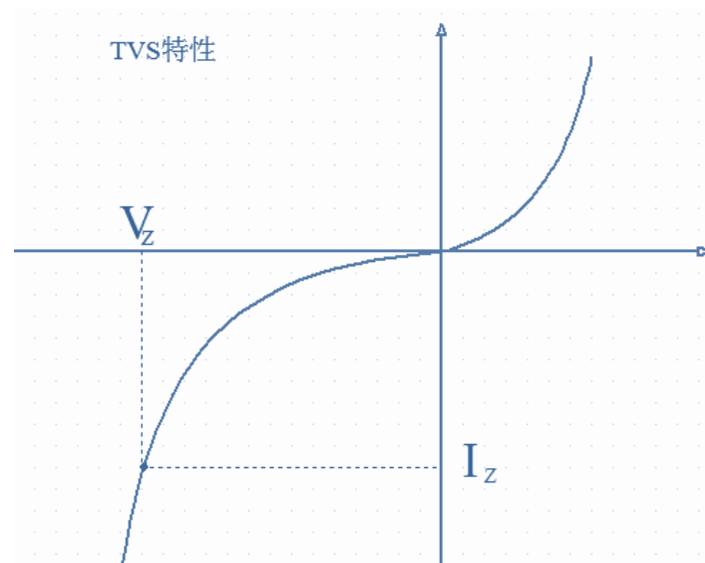
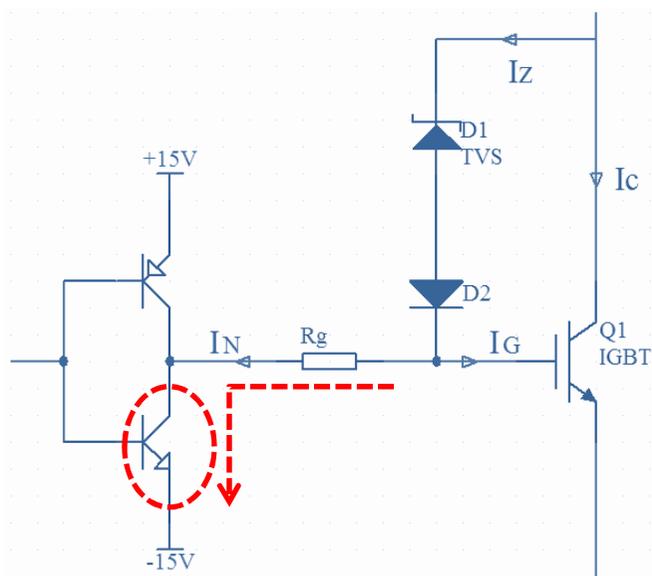
## — 方案 I : 加吸收电容



- 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

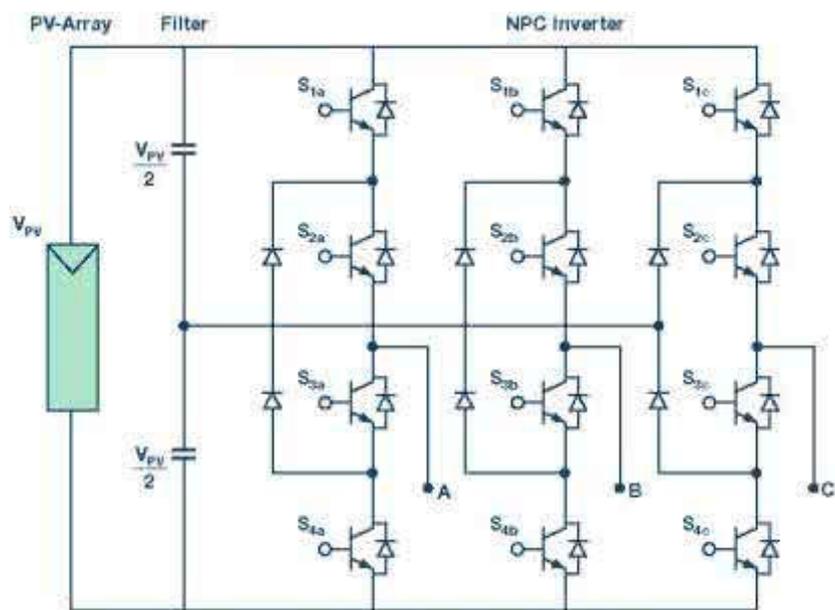


过高的尖峰导致有源钳位频繁动作，TVS有过热损坏风险

# 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

# 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

# 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

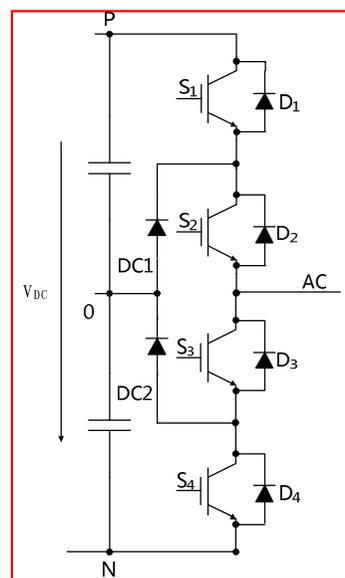
## – 内管关断尖峰过高

- 分级关断技术

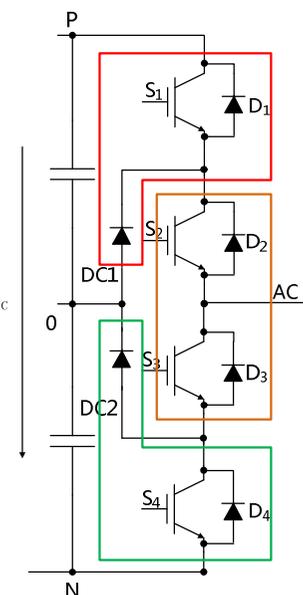
## – 模组故障难以定位

- 智能故障通信

# 中低压NPC I型拓扑构成



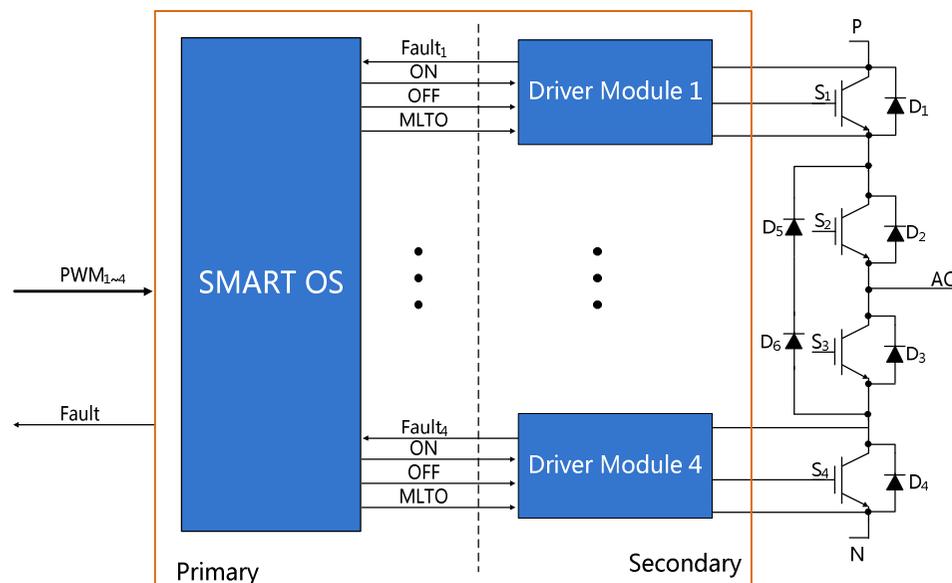
( 1个模块 / 每相 )



( 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



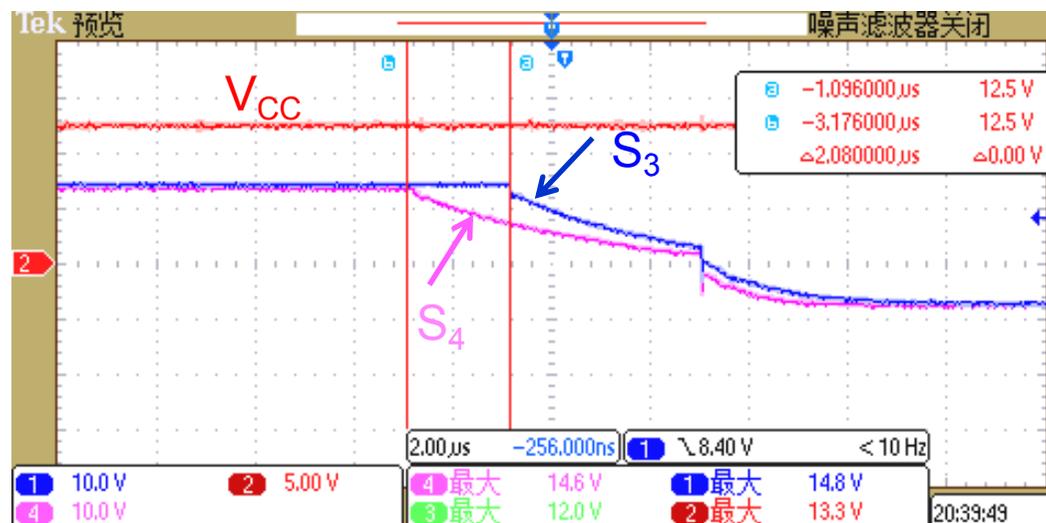
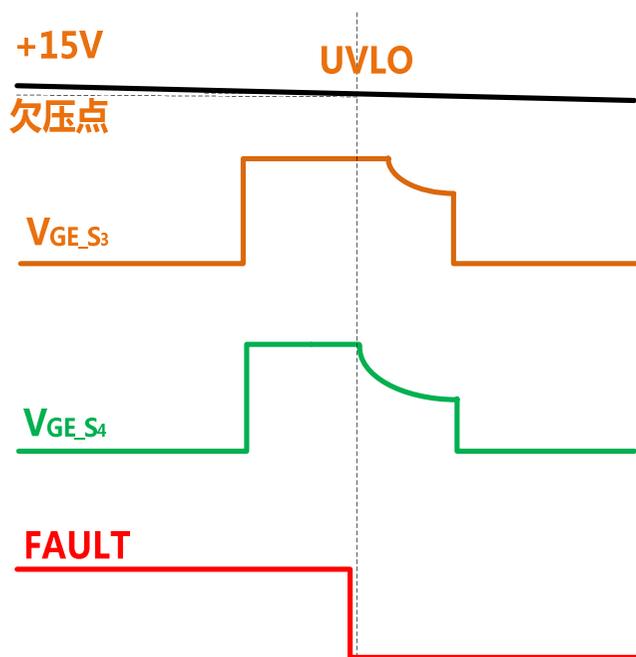
➤ 不依赖上位机

➤ 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 :  $V_{GE-S4}$

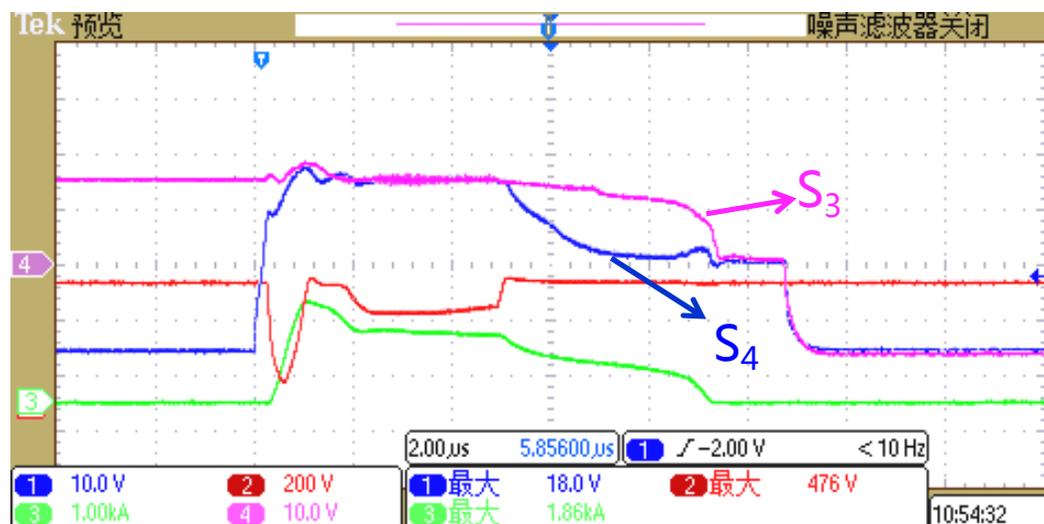
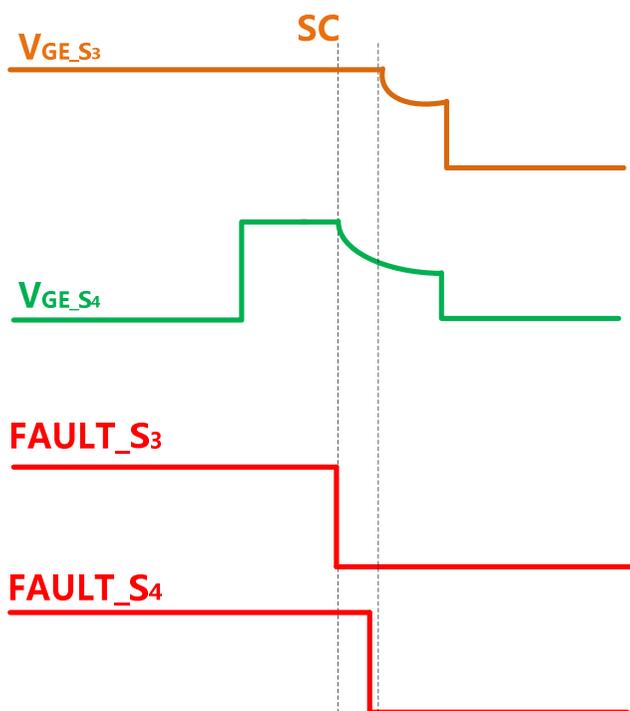


驱动电源欠压状态下，先关断外管 $S_4$ ，再关断内管 $S_3$

# 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

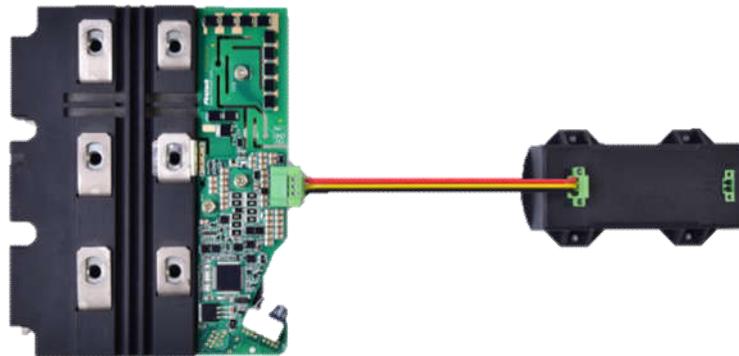
## – 内管关断尖峰过高

– 分级关断技术

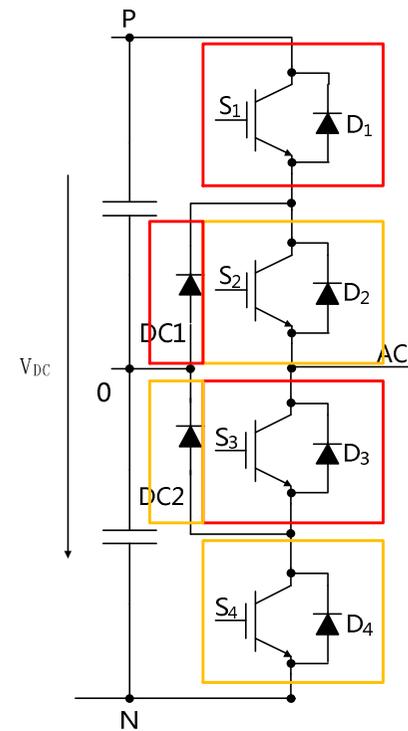
## – 模组故障难以定位

– 智能故障通信

# 高压NPC I型拓扑构成

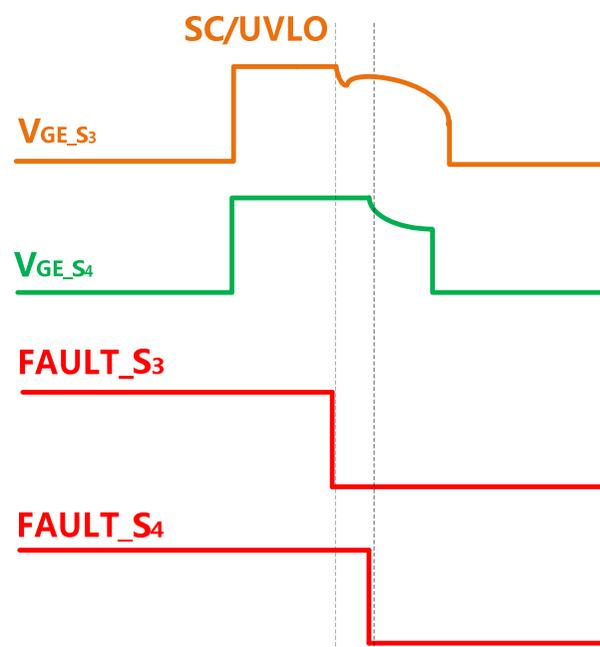
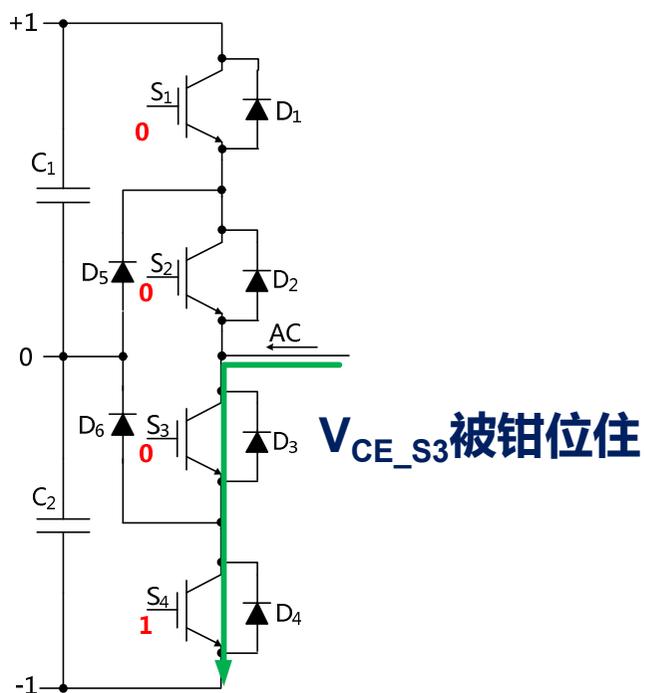


( 6个模块 / 每相 )



# 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

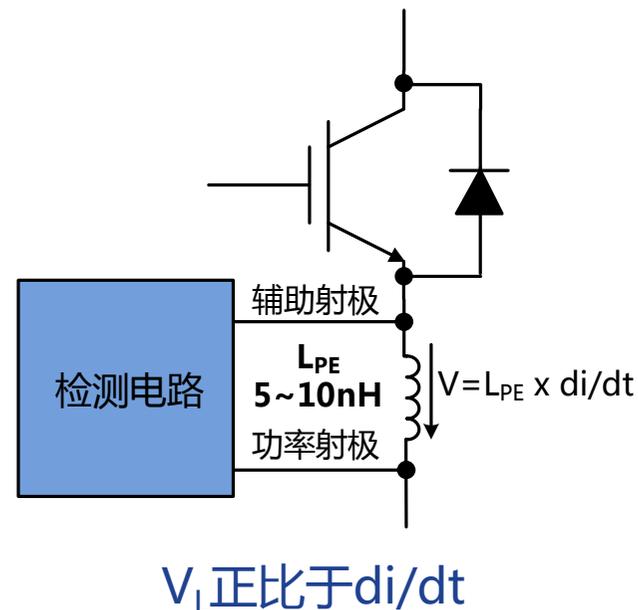
一类短路：~kA/us

### ➤ 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

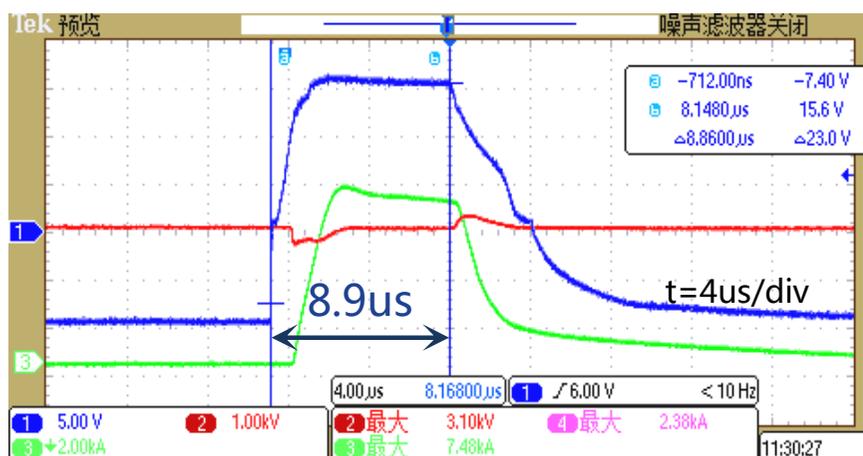
### ➤ 适用于一类、二类短路保护



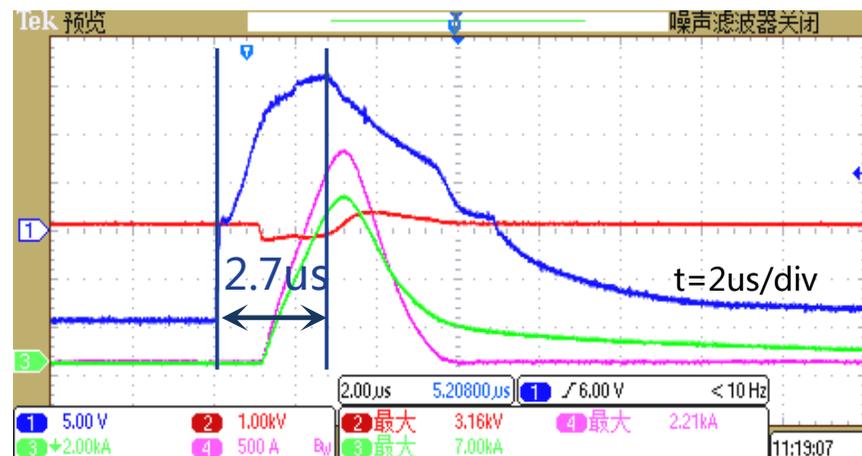
# V<sub>CE</sub>检测 Vs di/dt检测

测试条件：V<sub>DC</sub>=2800V

CH1:V<sub>GE</sub>  
CH2:V<sub>CE</sub>  
CH3:I<sub>C</sub>



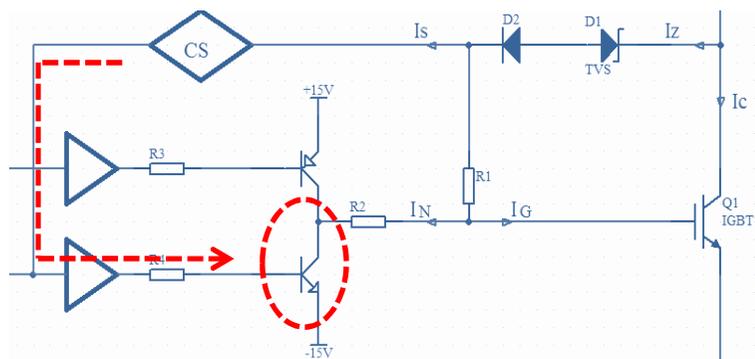
V<sub>CE</sub>检测



di/dt检测

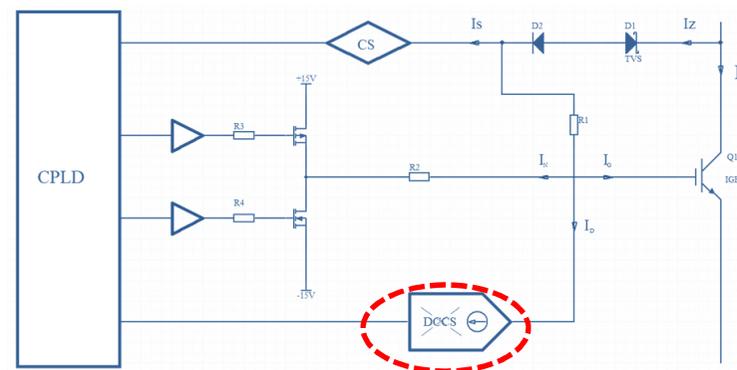
	V <sub>CE</sub> 检测	di/dt检测
响应时间 ( us )	8.9	2.7
峰值电流 ( kA )	7.5	7.0
峰值电压 ( kV )	3.1	3.2

# 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

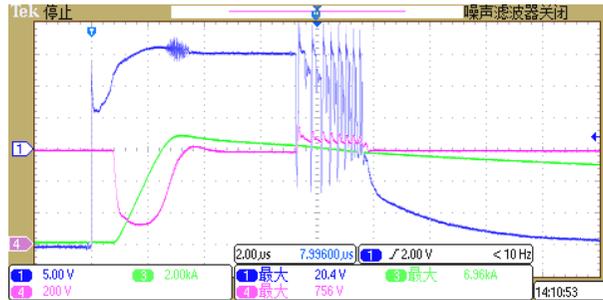
- TVS被击穿, 关断N管,  $I_Z = I_G + I_D$
- 依靠**DCCS**精确控制 $I_Z$

注：1, CS, 表示TVS管的电流采样

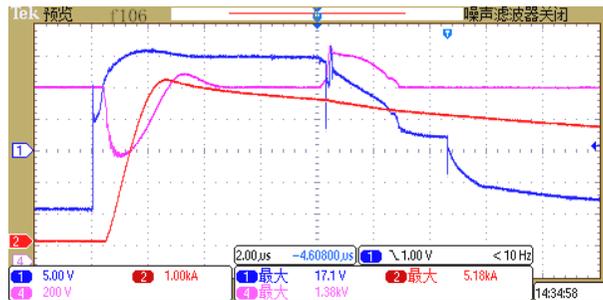
2, DCCS : Digital-Controlled Current Source , 数控电流源

# 数控高级有源钳位

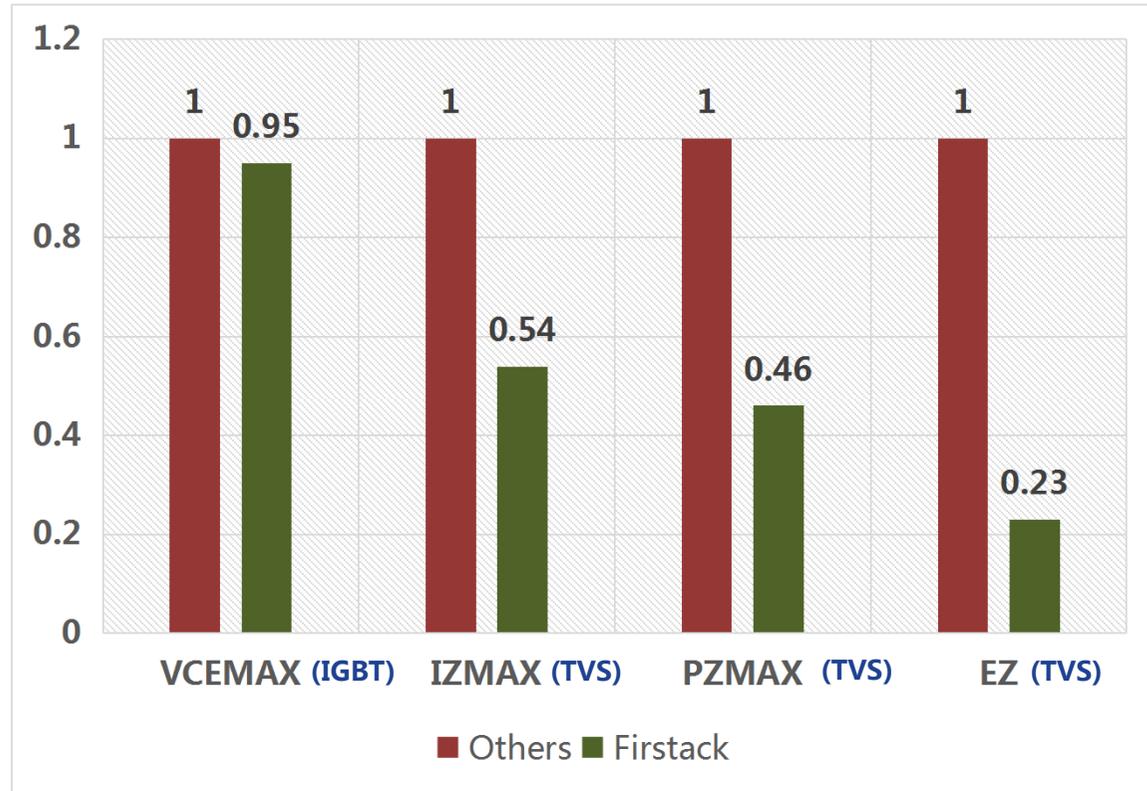
CH1 :  $V_{GE}$   
 CH4 :  $V_{CE}$



高级有源钳位



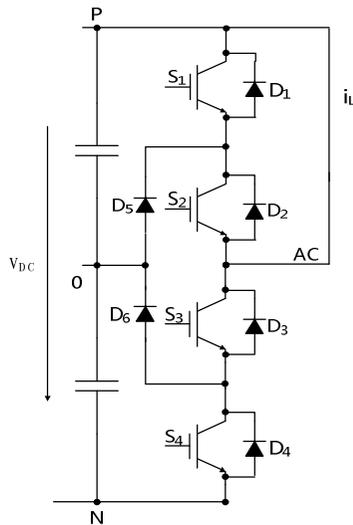
数控高级有源钳位



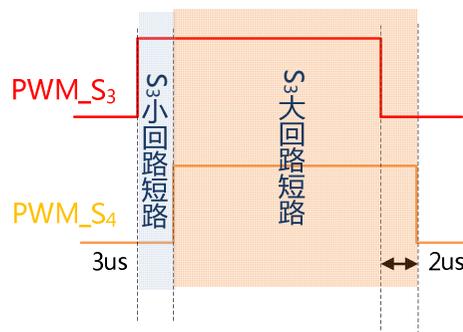
# 短路状态下关断

CH1 :  $V_{CE\_S3}$   
 CH2 :  $V_{CE\_S4}$   
 CH3 :  $I_{C\_S3}$   
 CH4 :  $I_{C\_S4}$

## • 短路保护

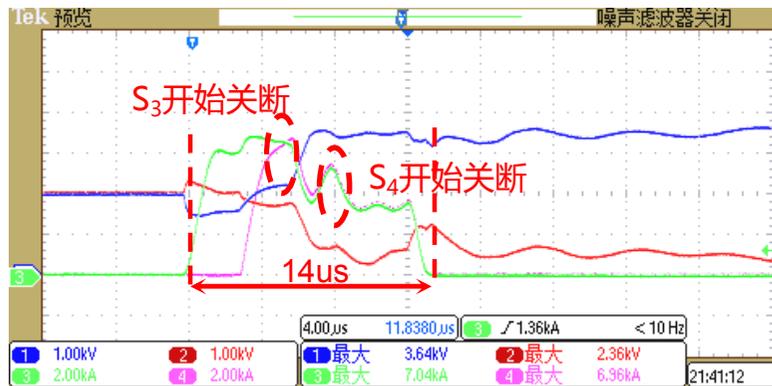


(FZ1200R45KL3\*4+DD1200S45KL3\*2)



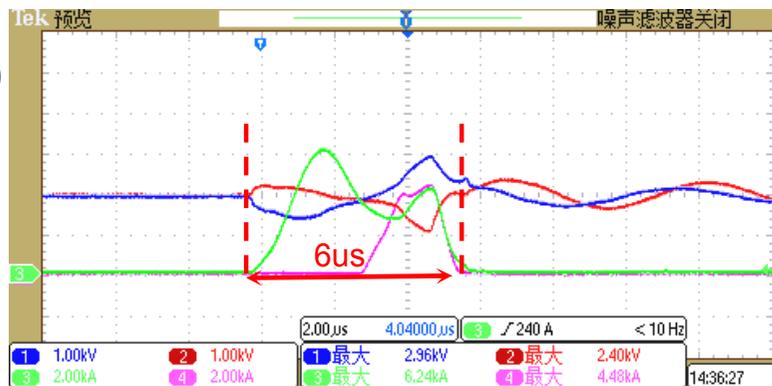
TOP SMART GATE DRIVER

-  $V_{DC}=4000V$ , 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！

# 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

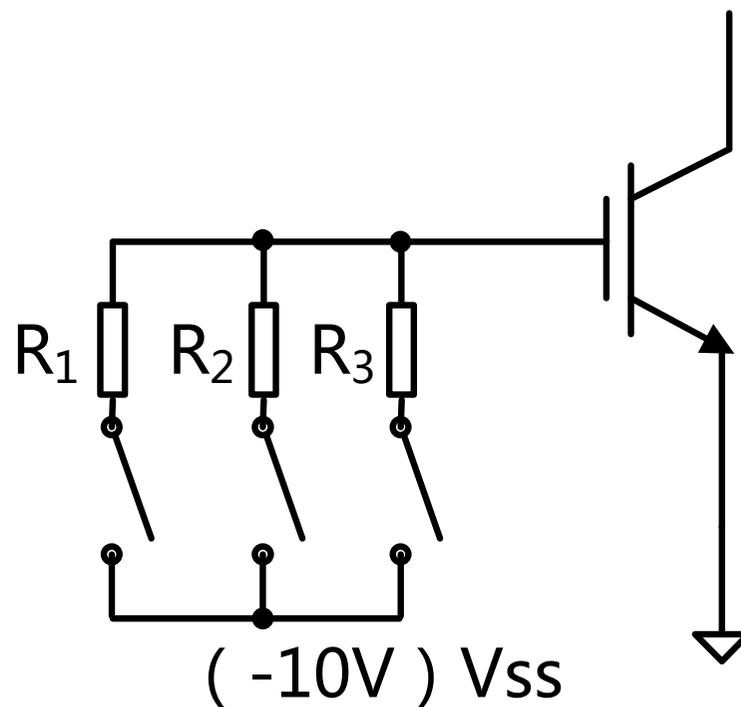
## – 内管关断尖峰过高

– 分级关断技术

## – 模组故障难以定位

– 智能故障通信

# 分级关断

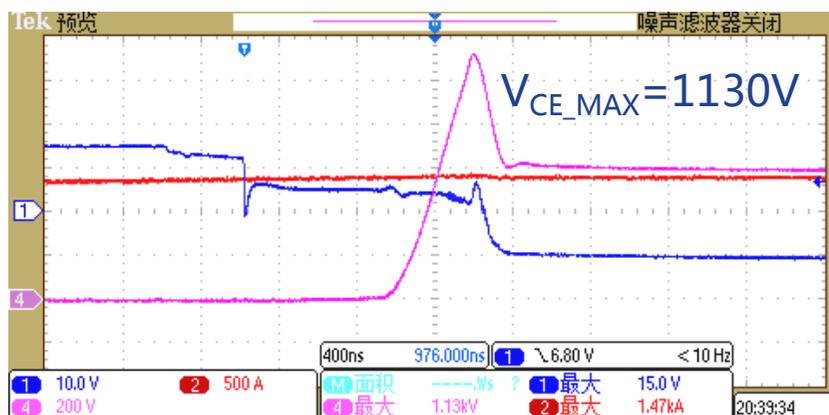


在不同的关断过程中采用不同电阻优化关断特性，有效降低电压尖峰

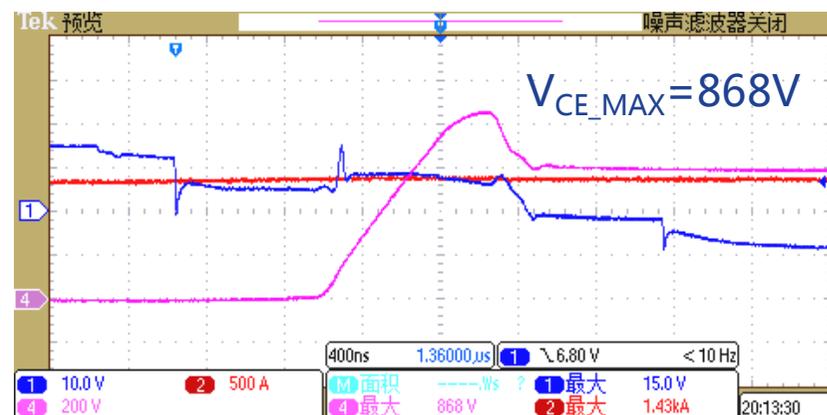
# 分级关断

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

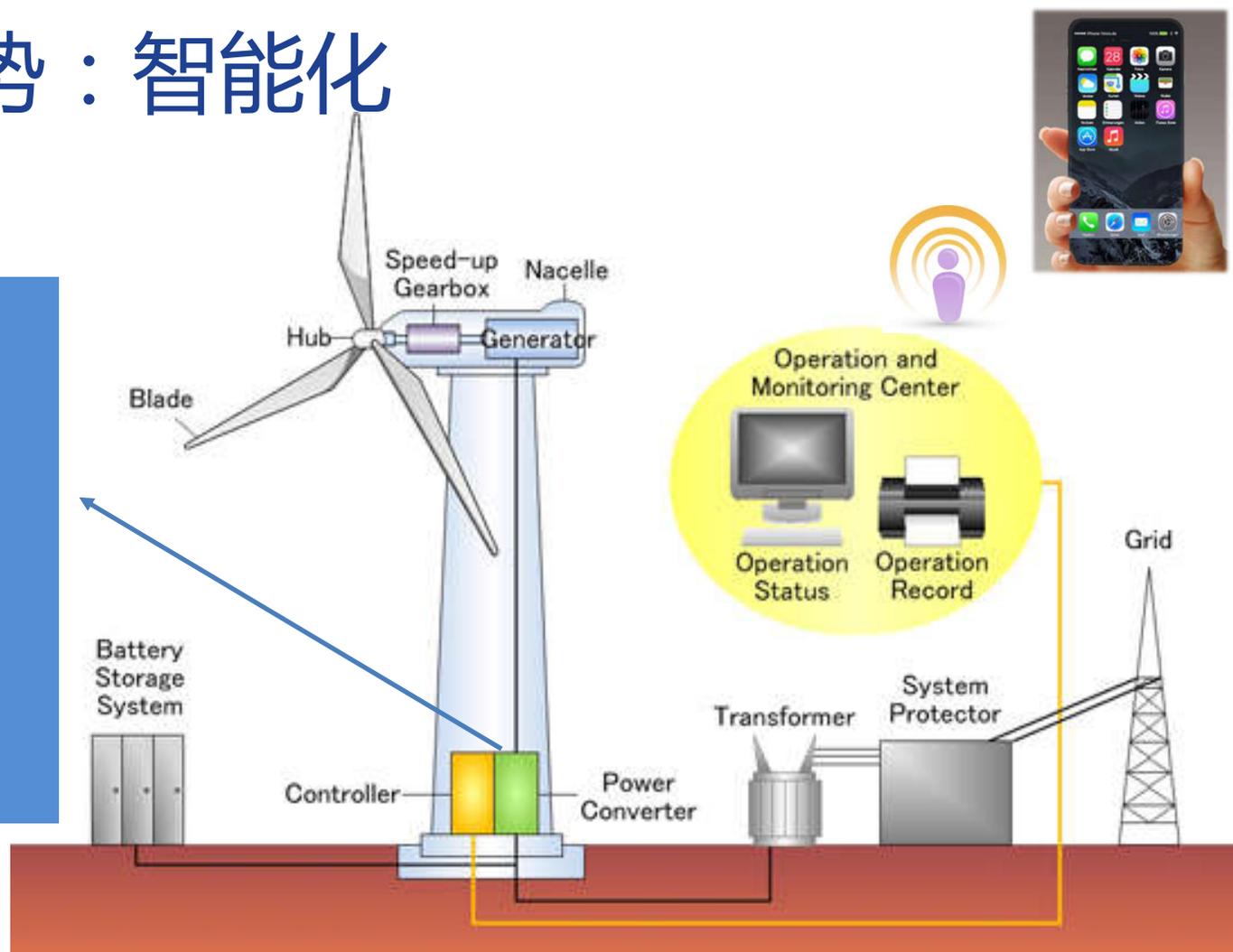
## Firststack Inside

# 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<sub>AC</sub>/100kW变流器应用
  - 1500V<sub>DC</sub>/1.25MW变流器应用
  - 3000V<sub>AC</sub>/5MW变流器应用
- 总结

# 380V<sub>AC</sub>/100kW变流器应用

## 380V<sub>AC</sub> /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\*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

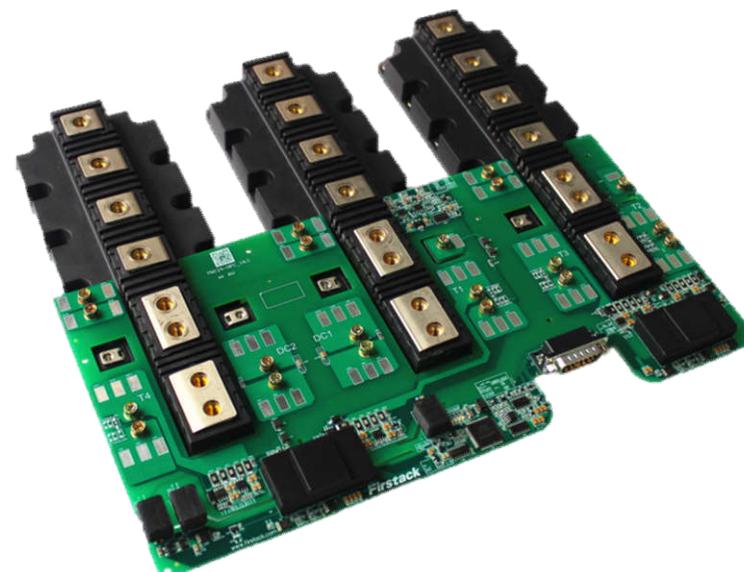
- 智能时序管理
- 分级关断
- 智能故障分类

**SMART OS**  
( D-CORE )

# 1500V<sub>DC</sub>/1.25MW变流器应用

## 1500V<sub>DC</sub>/1.25MW三电平变流器

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



PM124-E5



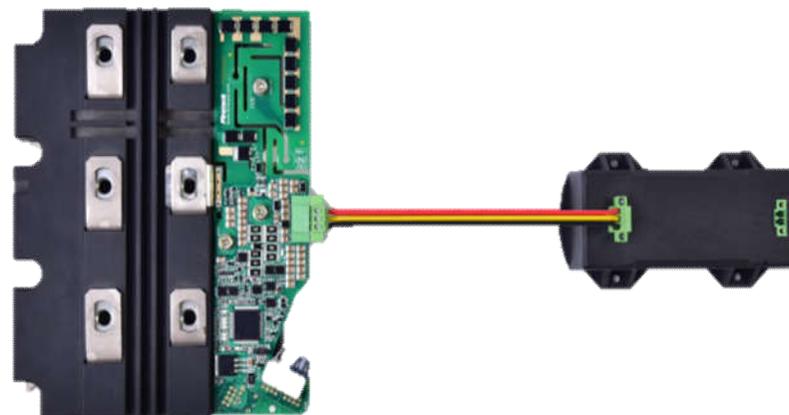
- 智能时序管理
- 分级关断
- 智能故障通信

**SMART OS**  
( PM124-E5 )

# 3000V<sub>AC</sub>/5MW变流器应用

## 3000V<sub>AC</sub>/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!

