

SiC

基本半导体产品在SiC逆变焊机中的应用

Rev. 1.1

逆天了！60天居然能省出一台焊机钱！

艾特尔科技 2024年07月17日 17:24 山东

碳化硅（SiC）相较于 IGBT，具有频率高（开关损耗小）、导通损耗小的特点，在节能方面优势显著。以常见的 NBC-500 为例，采用 IGBT 功率器件（逆变频率 20KHz）通常仅能达到 2 级能耗标准，而采用碳化硅（逆变频率 70KHz）则可轻松实现 1 级能耗标准。其原理在于碳化硅的低损耗能够提升效率，高频率能够使整体电路的感抗增大、容抗降低，进而提高功率因数。现依据艾特尔 NBC-500SiC 与国标 2 级能耗 NBC-500 的指标展开对比分析。（鉴于 3 级能耗指标过低，不具备可比性。）

GB 28736-2019

MIG/MAG 弧焊机能效等级

| 额定电流/ A | 效率/% | | | 负载状态下的功率因数 | | 空载电流占额定输入 电流的百分比/% |
|------------|------|------|------|------------|------|-----------------------|
| | 3 级 | 2 级 | 1 级 | 2 级 | 1 级 | 1 级 |
| 200~249 | 72.0 | 82.0 | 86.0 | 0.82 | 0.90 | 3.5 |
| 250~314 | 73.0 | 82.0 | 86.0 | 0.82 | 0.90 | 3.5 |
| 315~399 | 74.0 | 84.0 | 86.0 | 0.88 | 0.91 | 3.5 |
| 400~499 | 75.0 | 85.0 | 87.0 | 0.89 | 0.92 | 3.5 |
| 500~599 | 76.0 | 86.0 | 88.0 | 0.89 | 0.92 | 3.5 |
| 600~699 | 78.0 | 87.0 | 89.0 | 0.90 | 0.93 | 3.5 |

图二：艾特尔NBC-500SiC检测报告

报告编号：AK0500488-2024

电弧焊机检测结果

(主功能/次功能：MIG/MAG 弧焊机)

| 序号 | 检测项目 | 额定值 | 标准 规定值 | 实测值 | 单项 判定 | 能效 等级 |
|----|----------------------------|-----|-----------|--------|----------|----------|
| 1 | 额定电流(A) | 500 | / | 500.70 | / | 1 级 |
| 2 | 输入电流(A) | 35 | / | 35.02 | / | |
| 3 | 额定空载电压(V) | 76 | / | 76.0 | / | |
| 4 | 效率(%) | / | 88.0 | 90.47 | 合格 | |
| 5 | 负载状态下的 功率因数 | / | 0.92 | 0.938 | 合格 | |
| 6 | 空载电流占额定输 入电流的百分比 (%) | / | 3.5 | 2.09 | 合格 | |

注 1: 额定电流是指额定输出电流。
 注 2: 效率是指额定状态下的效率。
 注 3: 负载状态下的功率因数是指数定最大负载状态下的功率因数。
 注 4: 第 5 项在能效等级为 1 级或者 2 级时填写；第 6 项在能效等级为 1 级时填写；能效等级为 3 级时，第 5 项、第 6 项填写“/”。
 注 5: 具有多种焊接功能的电弧焊机，检测结果按功能分页填写。

| 型号 | 额定输出功率 | 效率 | 功率因素 | 输入功率 |
|------------|--------|--------|-------|----------|
| NBC-500SiC | 20KVA | 90.47% | 0.938 | 23.57KVA |
| NBC-500 2级 | 20KVA | 86% | 0.89 | 26.13KVA |
| 节电 | | | | 2.56KVA |

← SiC MOSFET 高频逆变焊机

← IGBT 逆变焊机

公众号·艾特尔科技

经济性评估：

节电比例为 $2.56\text{KVA}/26.13\text{KVA}$ ，约为 9.8%。

假设每天工作 8 小时，每度电价格为 1 元。那么每天节约的电费为： $2.56 \times 8 \times 1 = 20.48$ 元。

每月节约的电费为： $20.48 \times 30 = 614.4$ 元。

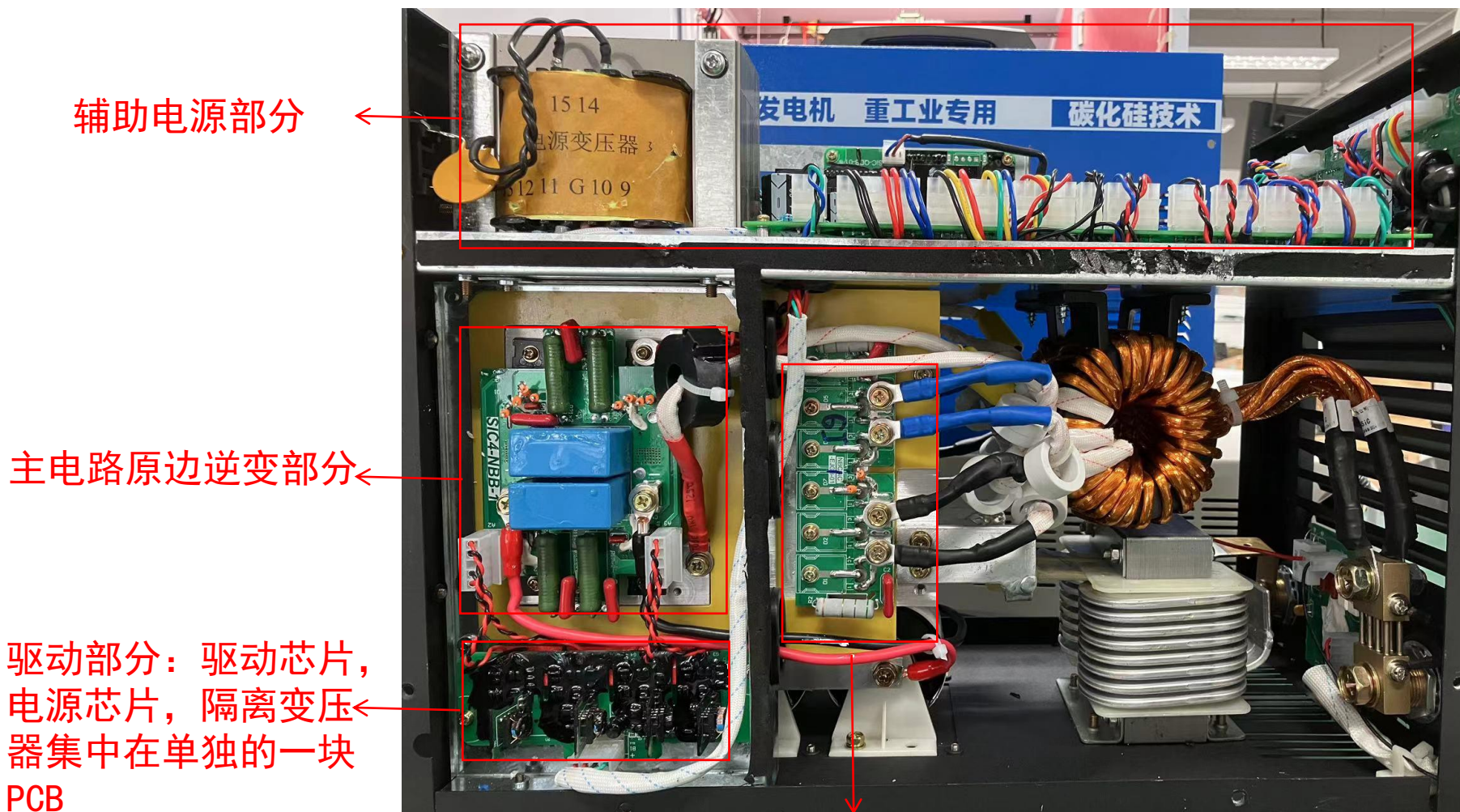
正常使用 110 天，节省下来的费用便足以购置一台碳化硅焊机。

倘若与三级能耗的焊机相比，仅需 60 天节省的电费就能够购买一台碳化硅焊机。

当然，上述数据仅基于每天工作 8 小时且焊接电流为 500A 的情况进行计算，具体的节约数额还会因使用现场的不同而有所差异。

截图自艾特尔科技微信公众号

SiC高频逆变焊机整体方案实物图

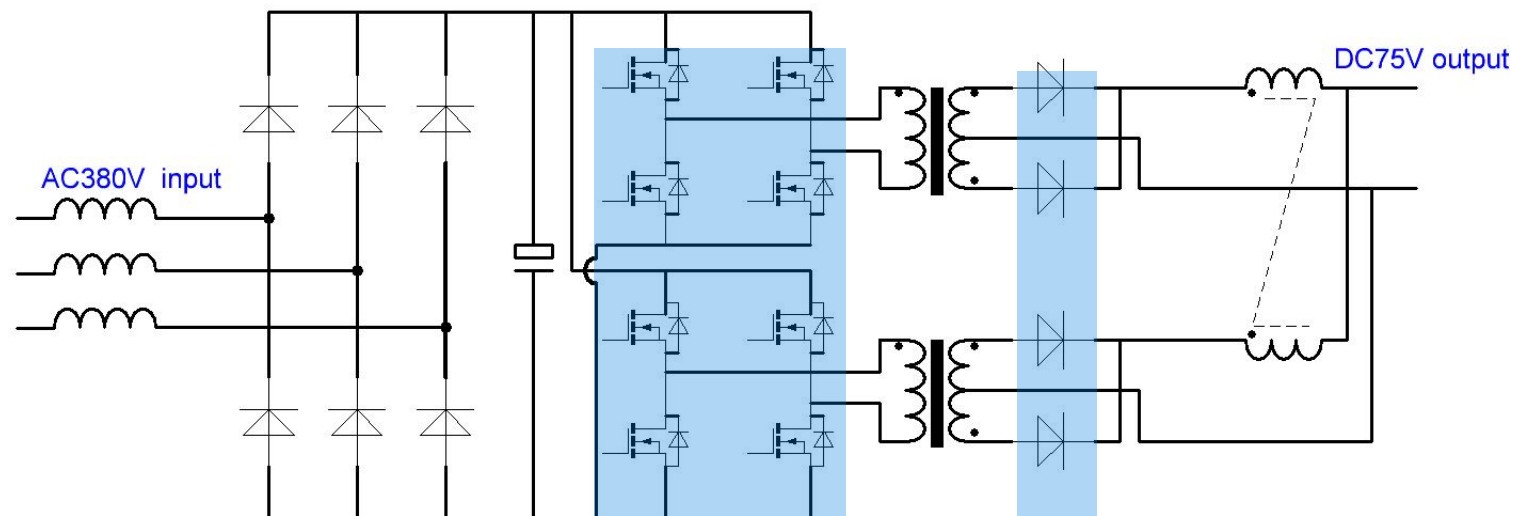


主电路副边整流部分



500A的SiC逆变焊机

逆变焊机中SiC器件和集成电路选型推荐（基本半导体产品）

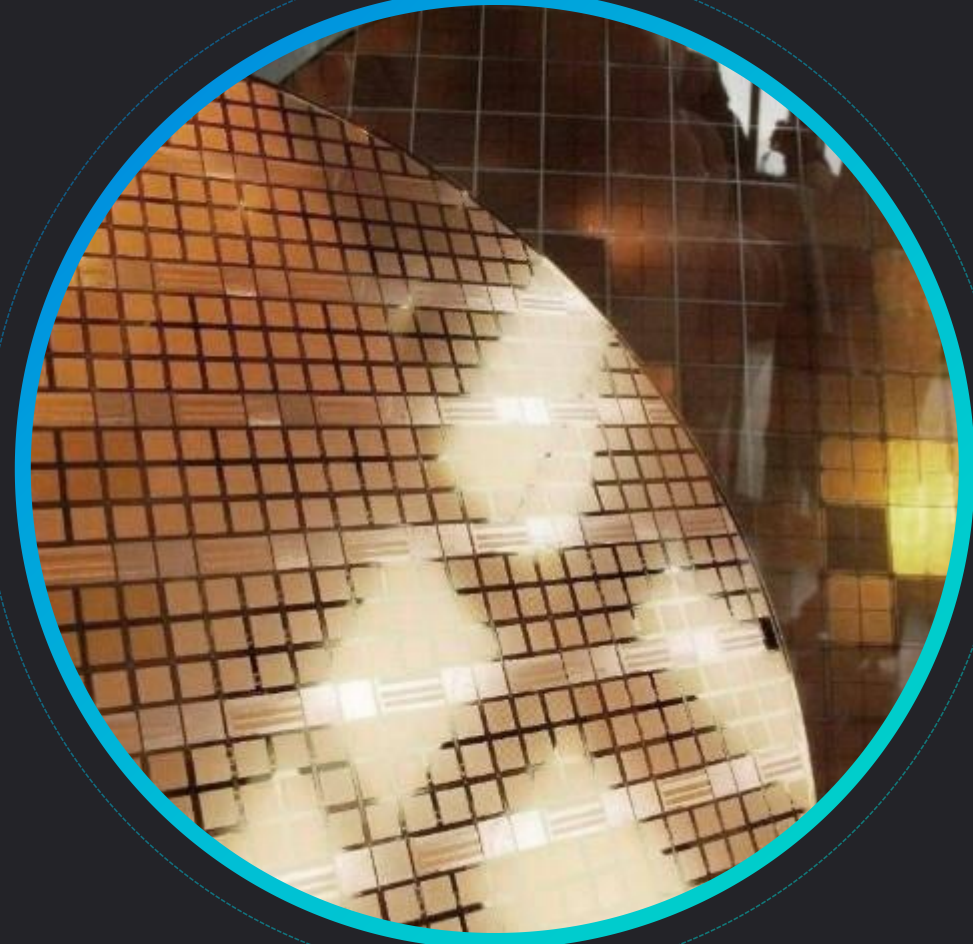


- 焊机功率：(10-30) kW
- 气保焊，手工焊

| 电路位置 | 焊机输出电流 | SiC MOSFET | 隔离驱动芯片 | 电源控制芯片 | 驱动电源专用变压器 | SiC SBD |
|---------|-------------|--------------|--|----------------------|------------|--------------|
| 主电路原边逆变 | (250-300) A | B2M080120Z*8 | / | / | / | / |
| | (350-500) A | B2M040120Z*8 | / | / | / | / |
| | 500A以上或切割机 | B2M030120Z*8 | | | | |
| 门极驱动板 | / | / | BTD5350MCPR*8 BTD5350MCWR*8 BTD25350MMCWR*4 | BTP1521F BTP1521P | TR-P15DS23 | / |
| 主电路副边整流 | 切割机 | / | / | / | / | B3D40065HC*8 |
| 辅助电源 | / | B2M600170R | / | BTP284xDR | / | / |

01

逆变焊机主功率部分采用SiC器件



BASiC 第二代 B2M SiC MOSFET介绍

基本半导体第二代碳化硅MOSFET系列新品基于6英寸晶圆平台进行开发，比上一代产品在**品质系数因子（ $FOM=Qg \cdot R_{dson}$ ）**、**开关损耗**以及**可靠性**等方面表现更为出色。同时，B2M SiC MOSFET系列产品的封装更为丰富，以更好满足客户需求。

同时，BASiC今年将会推出更大导通电流、更低导通电阻以及更高耐压的1200V 18m Ω 和2000V 24m Ω SiC MOSFET系列产品，并开发了2000V 40A SiC SBD进行配合使用。



| Voltage | $R_{DS(on)}$ | TO-247-3 | TO-247-4 | TO-247PLUS-4 | TO-263-7 | SOT-227 |
|---------|---------------|------------|-------------|--------------|------------|---------|
| 750V | 8mR | | B2M008075HK | | | |
| | 4mR | | | B2M004075Y | | |
| 1200V | 160m Ω | B2M160120H | B2M160120Z | | B2M160120R | |
| | 80m Ω | B2M080120H | B2M080120Z | | B2M080120R | |
| | 65m Ω | B2M065120H | B2M065120Z | | B2M065120R | |
| | 40m Ω | B2M040120H | B2M040120Z | | B2M040120R | |
| | 32m Ω | | | B2M032120Y | | |
| | 30m Ω | | B2M030120Z | | B2M030120R | |
| | 20m Ω | | | B2M020120Y | | |
| | 11m Ω | | B2M011120HK | | | |
| | 6mR | | | B2M006120Y | | |
| 1700V | 600mR | B2M600170H | B2M600170Z | | B2M600170R | |
| 2000V | 24m Ω | | | | | |

1200V 40mR SiC MOSFET关键静态参数对比（与国际品牌）

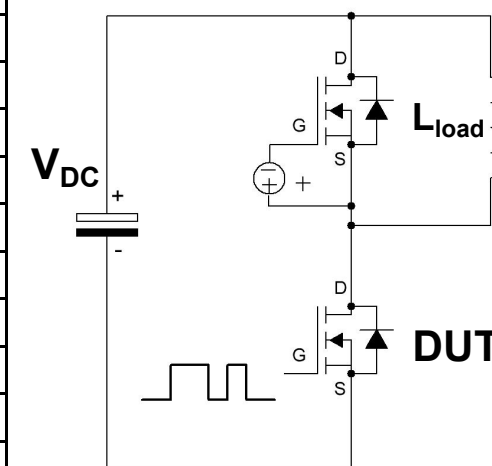
| 品牌 | BASiC | CREE | ON | ON | ST | Infineon | ROHM | 单位 |
|---------------|--------------------|-------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|-----------|---------------|
| 型号 | B2M040120Z | C3M0040120K | NTH4L040N120SC1 | NTH4L040N120M3S | SCT040W120G3-4 | IMZA120R040M1H | SCT3040KR | |
| 工艺技术 | 平面栅 | 平面栅 | 平面栅 | 平面栅 | 平面栅 | 沟槽栅 | 沟槽栅 | / |
| Generation | G2 | G3 | SC1 | M3S | G3 | M1H | G4 | / |
| $V_{GS(ON)}$ | 18 | 15 | 20 | 18 | 18 | 18 | 18 | V |
| $R_{DS(ON)}$ | $T_j=25^{\circ}C$ | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 39 | 40 |
| | $T_j=175^{\circ}C$ | 70 | 68 | 70 | 80 | 70 | 77 | 78 |
| $V_{GS(th)}$ | $T_j=25^{\circ}C$ | 2.7 | 2.7 | 3 | 2.9 | 3.1 | 4.2 | 4 |
| | $T_j=175^{\circ}C$ | 1.9 | 2.2 | / | / | 2.2 | 3.6 | 3.3 |
| $R_{th(j-c)}$ | 0.49 | 0.46 | 0.47 | 0.65 | 0.56 | 0.51 | 0.44 | $^{\circ}C/W$ |
| I_D | $T_c=25^{\circ}C$ | 69 | 66 | 58 | 43 | 40 | 55 | 55 |
| | $T_c=100^{\circ}C$ | 48 | 48 | 41 | 31 | 40 | 39 | 39 |
| $I_{D,pulse}$ | 123 | 100 | 232 | 134 | 179 | 117 | 137 | A |
| C_{iss} | 2100 | 2900 | 1762 | 1700 | 1329 | 1620 | 1337 | pF |
| C_{oss} | 115 | 103 | 137 | 80 | 78 | 75 | 76 | pF |
| C_{rss} | 6 | 5 | 11 | 7 | 10 | 11 | 27 | pF |
| Q_G | 90 | 99 | 106 | 75 | 56 | 39 | 107 | nC |
| FOM | $T_j=25^{\circ}C$ | 3600 | 3960 | 4240 | 3000 | 2240 | 1521 | 4280 |
| R_{gint} | | 1.6 | 3.5 | 2.4 | 3.8 | 1.4 | 2.5 | 7 |
| V_{SD} | $T_j=25^{\circ}C$ | 4.6 | 5.5 | 3.7 | 4.5 | 2.6 | 3.8 | 3.2 |
| | $T_j=175^{\circ}C$ | 4 | 4.9 | 3.2 | 4.1 | / | 3.6 | / |
| T_{jmax} | 175 | 175 | 175 | 175 | 200 | 175 | 175 | $^{\circ}C$ |
| Package | TO-247-4 | | | | | | | / |

- ◆ 平面栅工艺：B2M040120Z的产品水平与CREE第三代和ON公司的M3S系列水平接近，比ON公司的SC1系列产品性能较好，略劣于S公司的第三代 G3；
- ◆ 沟槽栅工艺：因沟槽工艺优势，FOM值更低，但沟槽栅相同Rdson水平下，其额定电流较小。并且在高温下，沟槽栅的Rdson相对于常温上升得很快，接近2倍左右。

B2M040120Z (BASiC) 与 C3M0040120K (GREE) 动态参数实测汇总

驱动开通电压为+18V, SiC MOSFET体二极管做续流时的动态参数对比

| Test Conditions: $V_{GS}=-4V/+18V$, $R_{gon}=R_{goff}=8.2\Omega$, 驱动IC-BTD5350SCR $V_{DC}=800V$, $I_D=40A$, $L_\sigma=109nH$, $L_{Load}=200\mu H$, $T_j=25^\circ C$ | | | | |
|--|-----------------------|------------|-------------|-------|
| | | B2M040120Z | C3M0040120K | Unit |
| SiC MOSFET | 开通延时Td(on) | 14.29 | 14.5 | ns |
| | 电流上升时间Tr | 13.72 | 11.91 | ns |
| | 开通di/dt | 2.332 | 2.688 | kA/us |
| | 开通dv/dt | 17.98 | 22.85 | kV/us |
| | 开通损耗Eon | 618.2 | 451.6 | uJ |
| | 关断延时Td(off) | 30.65 | 53.51 | ns |
| | 电流下降时间Tf | 18.03 | 23.67 | ns |
| | 关断di/dt | 1.775 | 1.352 | kA/us |
| | 关断dv/dt | 49.7 | 40.13 | kV/us |
| | 关断电压尖峰 | 1122 | 1088 | V |
| | 关断损耗Eoff | 212 | 341 | uJ |
| | 总损耗Etotal | 830.2 | 792.6 | uJ |
| Body Diode | 反向恢复电流峰值 I_{RRpeak} | 25.01 | 25.64 | A |
| | 体二极管反向恢复电压尖峰 | 934.4 | 1071 | V |
| | 反向恢复电荷量Qrr | 389.4 | 349.3 | nC |
| | 反向恢复电流前沿di/dt | 2.935 | 3.408 | kA/us |
| | 反向恢复电压dv/dt | 69.68 | 106.3 | kV/us |



■ 结论：在相同的测试条件下，B2M040120Z关断损耗小于C3M0040120K，降低了37%。开通损耗略大于C3M0040120K，增加了36%。而且两者的总损耗参数接近；

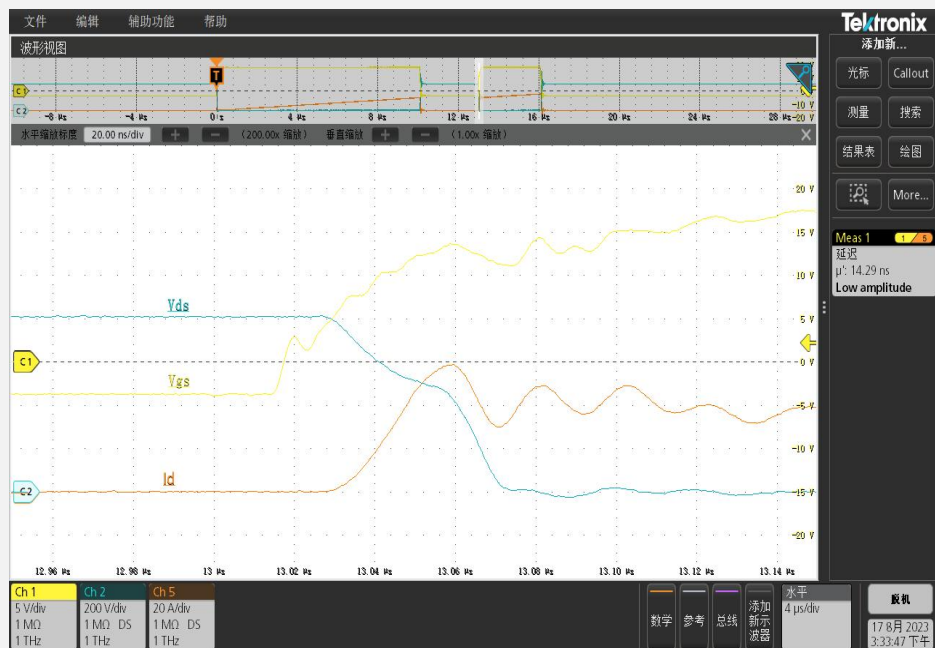
B2M040120Z与C3M0040120K开通行为对比

测试条件: $V_{GS}=-4V/+18V$, $R_{gon}=R_{goff}=8.2\Omega$, $V_{DC}=800V$, $I_D=40A$, $L_\sigma=109nH$, $L_{Load}=200\mu H$, $T_j=25^\circ C$

B2M040120Z

C3M0040120K

统计数据



| | B2M040120Z | C3M0040120K | Unit |
|--------|------------|-------------|-------|
| Td(on) | 14.29 | 14.5 | ns |
| Tr | 13.72 | 11.91 | ns |
| di/dt | 2.332 | 2.688 | kA/us |
| dv/dt | 17.98 | 22.85 | kV/us |
| Eon | 618.2 | 451.6 | uJ |

实验结论: B2M040120Z和C3M0040120K在开通时, 栅极 V_{GS} 波形良好, 没有明显的震荡和跌落, V_{DS} 和 I_D 波形正常, 没有出现误关断的现象。

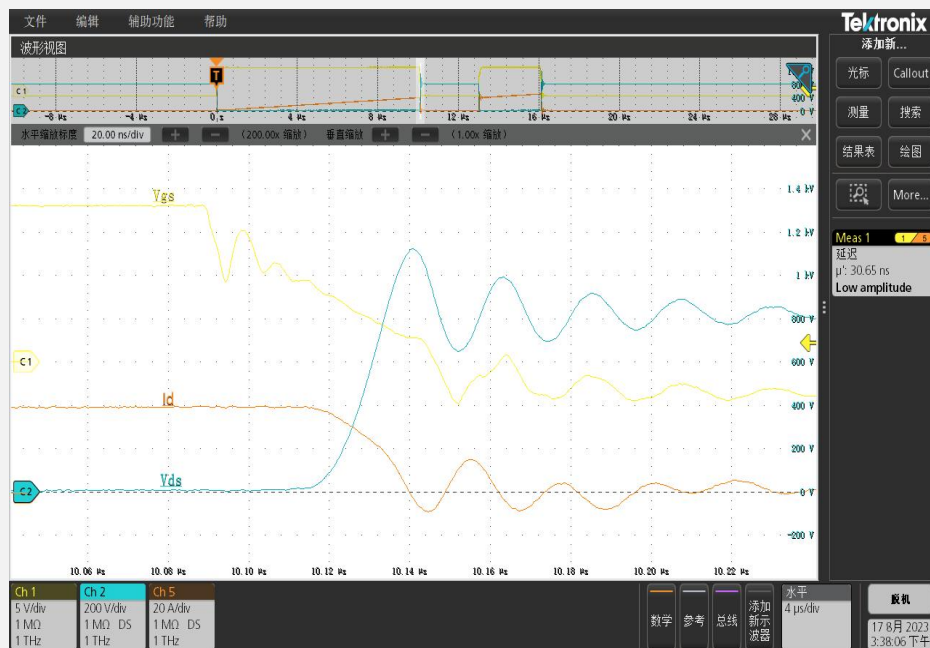
B2M040120Z与C3M0040120K关断行为对比

测试条件: $V_{GS}=-4V/+18V$, $R_{gon}=R_{goff}=8.2\Omega$, $V_{DC}=800V$, $I_D=40A$, $L_\sigma=109nH$, $L_{Load}=200\mu H$, $T_j=25^\circ C$

B2M040120Z

C3M0040120K

统计数据



| | B2M040120Z | C3M0040120K | Unit |
|----------------|------------|-------------|-------|
| Td(off) | 30.65 | 53.51 | ns |
| Tf | 18.03 | 23.67 | ns |
| di/dt | 1.775 | 1.352 | kA/us |
| dv/dt | 49.7 | 40.13 | kV/us |
| V_{DS_peak} | 1122 | 1088 | V |
| Eoff | 212 | 341 | uJ |
| Etotal | 830.2 | 792.6 | uJ |

实验结论: B2M040120Z和C3M0040120K在关断时, 栅极 V_{GS} 波形良好, 没有明显的震荡和跌落, V_{DS} 和 I_D 波形因关断速度过快会有些轻微震荡, 但没有出现误开通的现象。

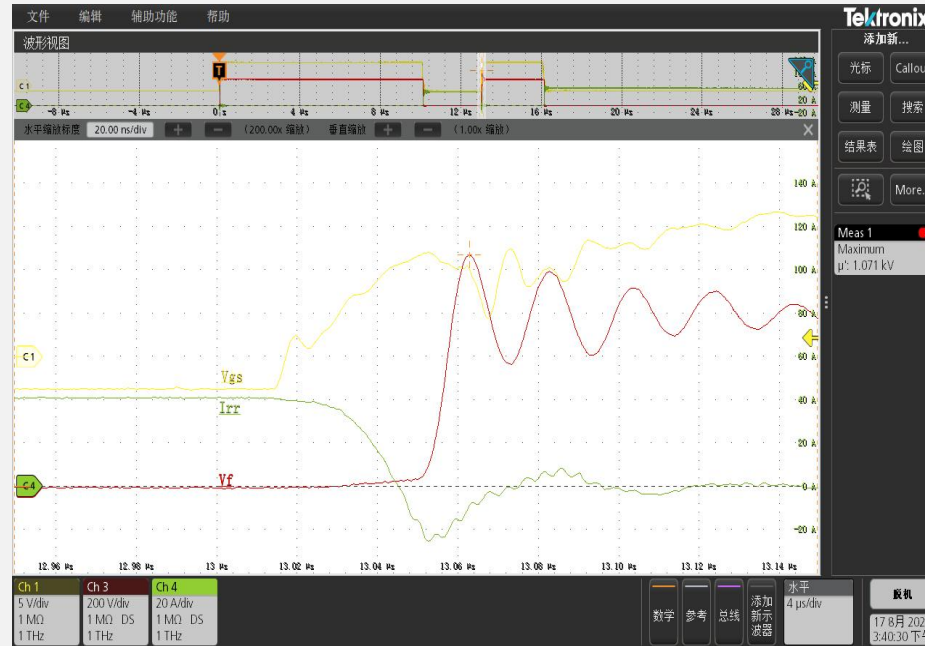
B2M040120Z与C3M0040120K各自的体二极管反向恢复行为对比

测试条件: $V_{GS}=-4V/+18V$, $R_{gon}=R_{goff}=8.2\Omega$, $V_{DC}=800V$, $I_D=40A$, $L_\sigma=109nH$, $L_{Load}=200\mu H$, $T_j=25^\circ C$

B2M040120Z



C3M0040120K



统计数据

| | B2M040120Z | C3M0040120K | Unit |
|--------------|------------|-------------|-------|
| I_{RRpeak} | 25.01 | 25.64 | A |
| V_{RRpeak} | 934.4 | 1071 | V |
| Qrr | 389.4 | 349.3 | nC |
| 前沿 di/dt | 2.935 | 3.408 | kA/us |
| 反向恢复 dv/dt | 69.68 | 106.3 | kV/us |

实验结论: B2M040120Z和C3M0040120K在关断时, 栅极 V_{GS} 波形良好, 没有明显的震荡和跌落, V_{DS} 和 I_D 波形因关断速度过快会有些轻微震荡, 但没有出现误开通的现象。

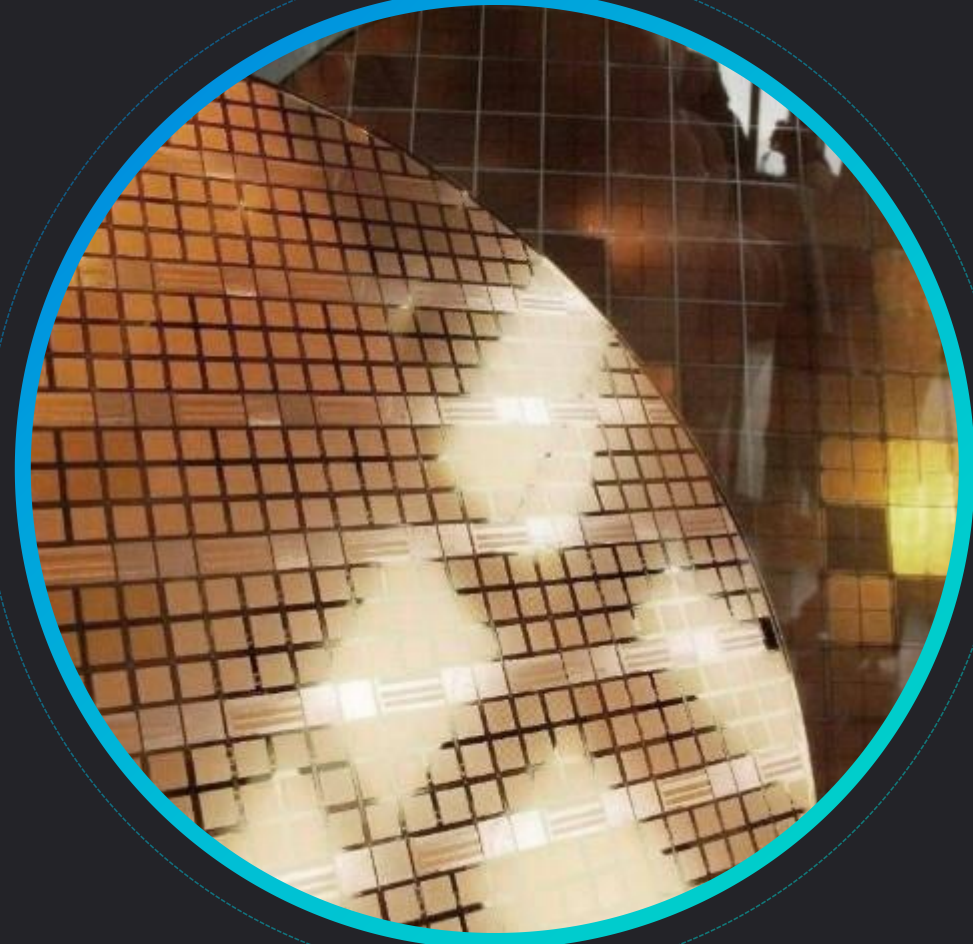
650V碳化硅肖特基二极管选型

| Voltage | Current | T0-220-2 | T0-220F-2 | T0-220-isolated | T0-247-3 | T0-247-2 | T0-252 | T0-263 | SOT-227 |
|---------|---------|--------------------------|---------------------------|-----------------|----------------------------|------------|-------------------------|-------------------------|--------------|
| 650V | 4A | B2D04065K1 | B2D04065KF1 | | | | B2D04065E1 | | |
| | 6A | B2D06065K1 | B2D06065KF1 | | | | B2D06065E1 | | |
| | 8A | B2D08065K1 | | | | | | | |
| | 10A | B2D10065K1 B3D10065K* | B2D10065KF1 B3D10065KF | B3D10065KS | | | B2D10065E1 B3D10065E | B2D10065F1 B3D10065F | |
| | 16A | | | | B2D16065HC1 | | | | |
| | 20A | B2D20065K1 | | | B2D20065HC1 B3D20065HC* | B2D20065H1 | | B2D20065F1 | |
| | 30A | | | | B2D30065HC1 | B2D30065H1 | | | |
| | 40A | | | | B3D40065HC | B2D40065H1 | | | |
| | 60A*2 | | | | | | | | B2DM060065N1 |

*即将推出

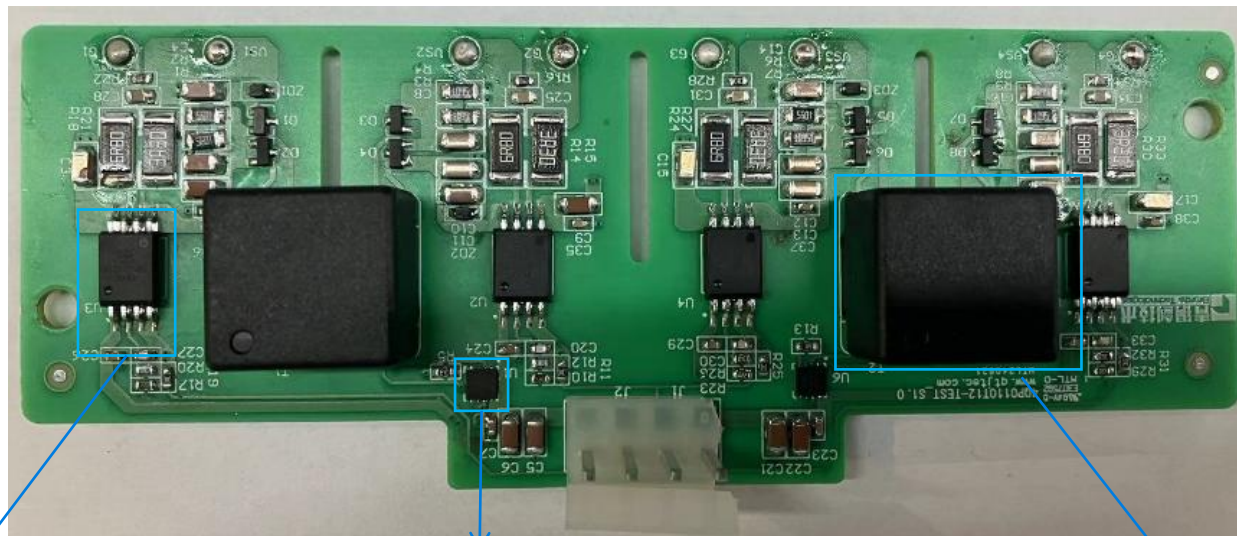
02

SiC逆变焊机驱动板
整体解决方案



基本半导体提供SiC MOSFET驱动板整体解决方案及其零件

- 即插即用驱动板，型号 4QP0110T12，其中有3个零件可以由基本半导体供应
- 4通道输出
- 单通道输出功率2W
- 输出峰值拉灌电流10A
- 可支持驱动1200V的功率器件(SiC MOSFET)
- 整板尺寸：(126 x 47x 15)mm



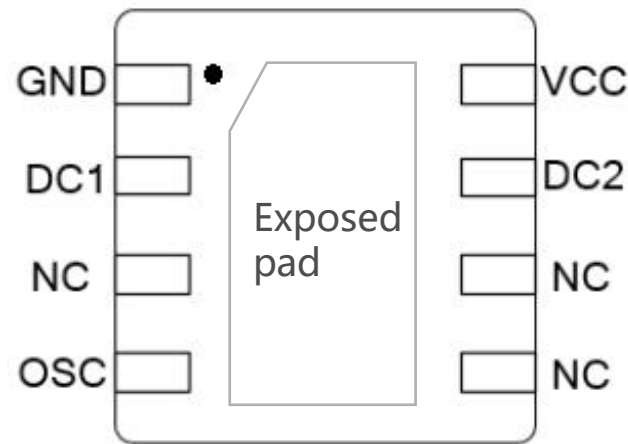
型号：BTD5350SCWR
规格：单通道隔离驱动
芯片
封装：SOW-8 (宽体)

型号：BTP1521F
规格：正激DCDC电源
芯片
封装：DFN3*3
输出功率：6W

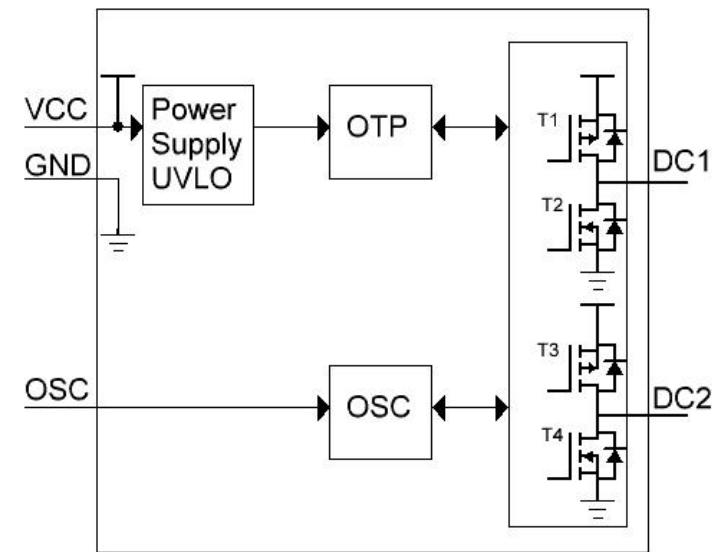
型号：TR-P15DS23
规格：双通道隔离变压器
封装：SIP-8
输出功率：2W每通道

隔离驱动专用正激DC-DC芯片BTP1521xx

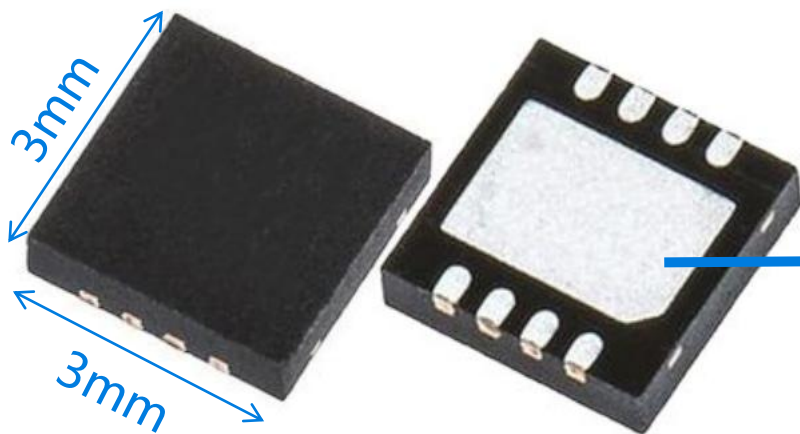
- 输出功率可达6W
- 适用于给隔离驱动芯片副边电源供电
- 正激电路（H桥逆变或推挽逆变）
- 软启动时间1.5ms
- 工作频率可编程，最高工作频率可达1.5MHz
- VCC供电电压可达24V
- VCC欠压保护点4.7V
- 工作环境-40~125°C
- 芯片过温保护点150°C, 过温恢复点120°C
- 超小体积封装



管脚示意顶视图



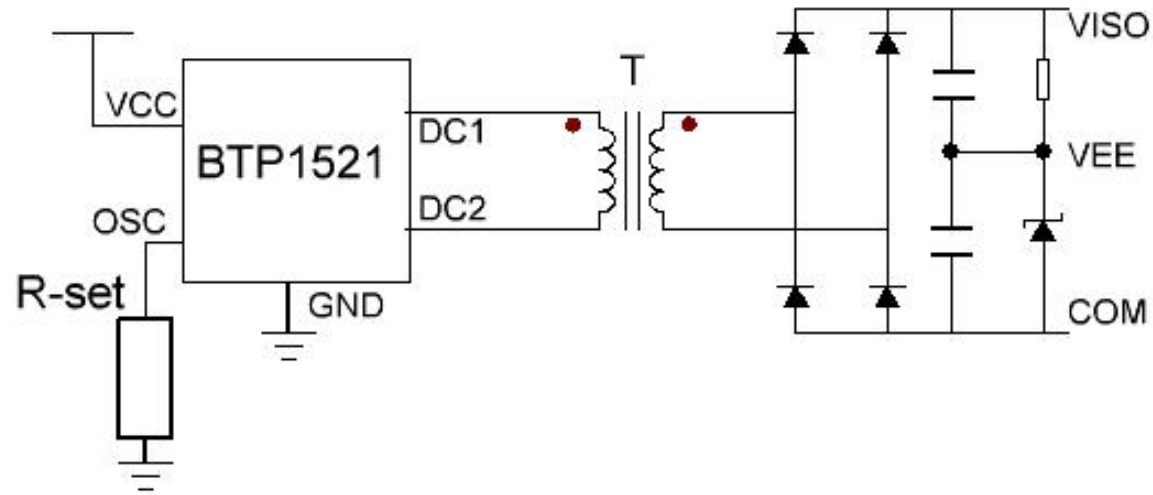
原理框图



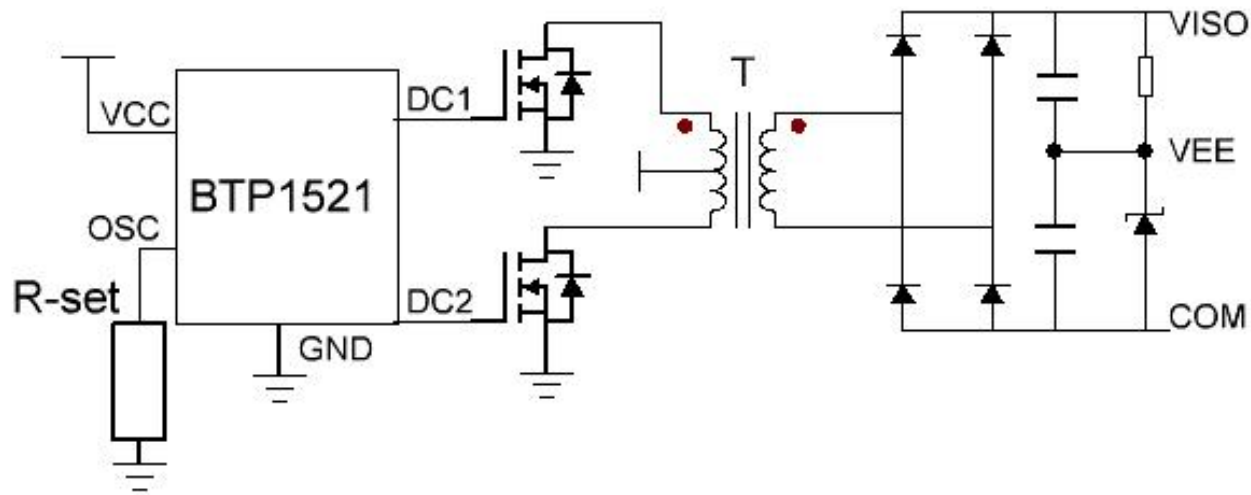
底部裸露散热片, 加强封装散热能力。

封装: DFN3*3-8

BTP1521xx应用推荐电路图



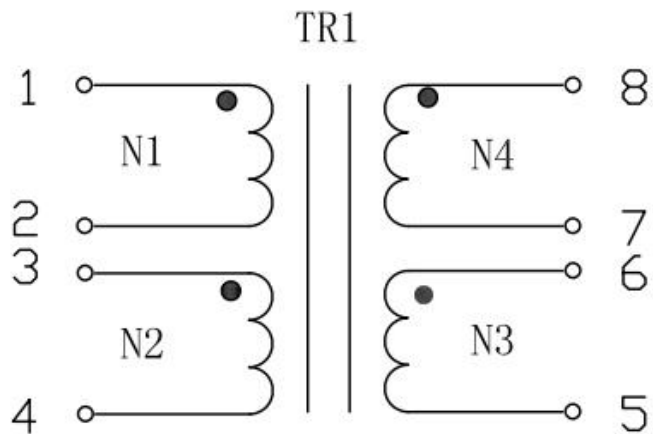
DC1和DC2接变压器原边线圈，副边二极管桥式整流，组成开环的全桥拓扑（H桥逆变），输出功率可达6W，输出经过电阻和稳压管分压后构成正负压，供SiC MOSFET使用，非常适用于给隔离驱动芯片副边电源供电。



当副边需求功率大于 6W 时，可以使用推挽逆变拓扑，通过DC1和DC2 端控制外接的 MOSFET 来增加输出功率。

双通道隔离变压器TR-P15DS23介绍

- TR-P15DS23是驱动器专用的隔离电源变压器，采用SIP-8封装，可实现驱动器隔离供电，传输功率可达4W（每通道2W）。

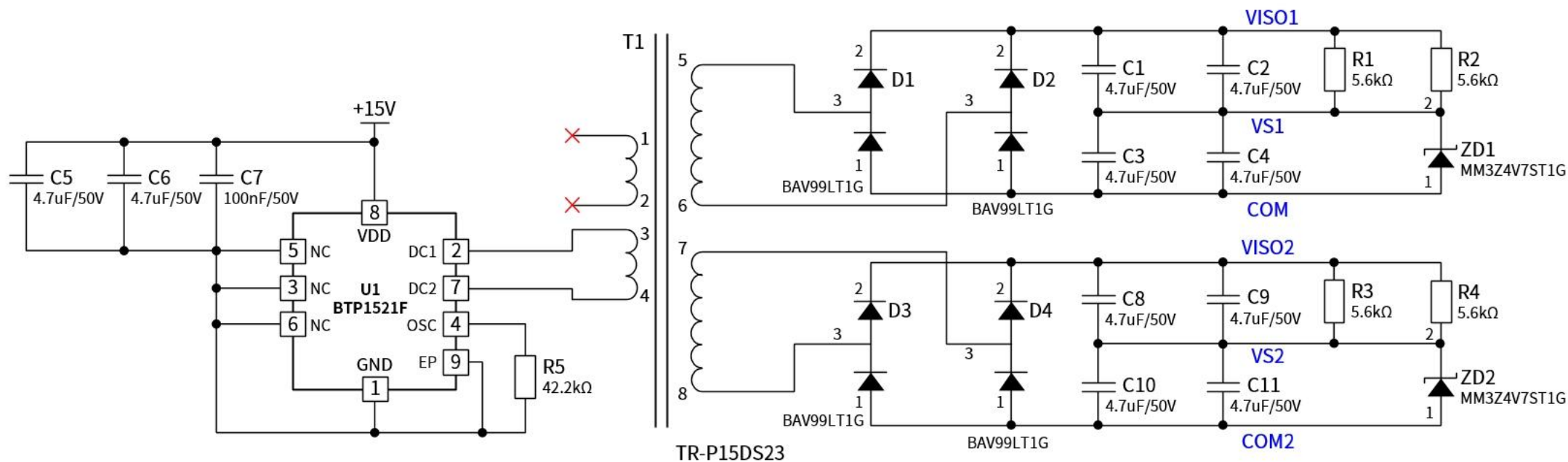


- 原理框图，N1和N2是原边线圈，N3和N4是副边线圈
采用圆形磁环，磁环材质DMR95



尺寸: (16.88 x16.58 x17.27)mm

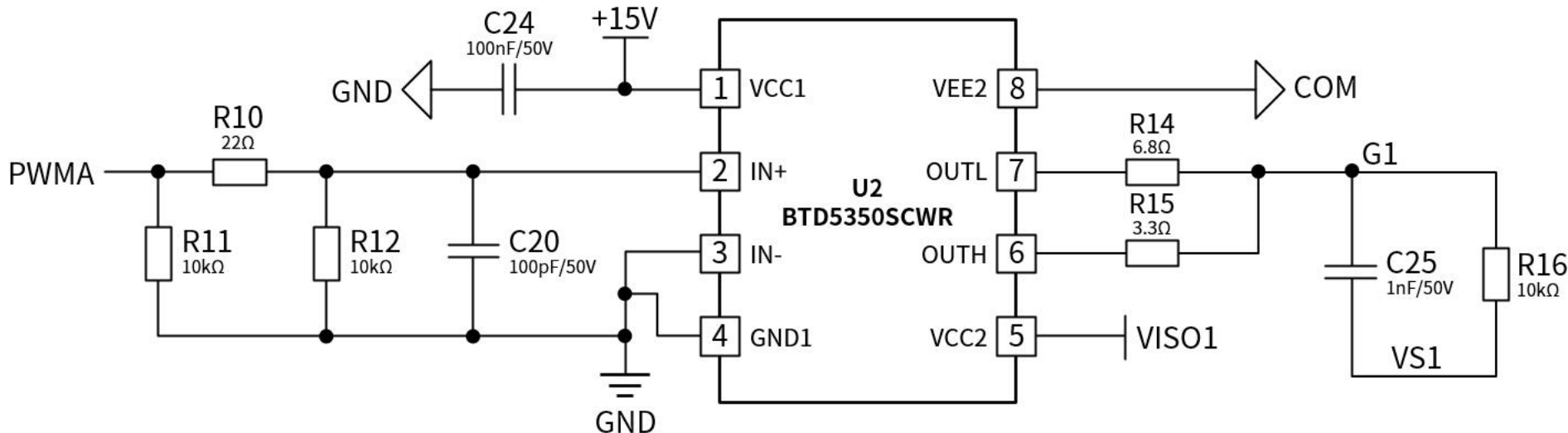
| 参数 | 数值 | 单位 |
|-----------|-----|---------------|
| N1线圈电感量 | 120 | μH |
| N2线圈电感量 | 120 | μH |
| N3线圈电感量 | 246 | μH |
| N4线圈电感量 | 246 | μH |
| N1和N2线圈匝数 | 9 | 匝 |
| N3和N4线圈匝数 | 14 | 匝 |
| N1线圈内径 | 0.2 | mm |
| N2线圈内径 | 0.2 | mm |
| N3线圈内径 | 0.2 | mm |
| N4线圈内径 | 0.2 | mm |



- 全桥式拓扑，副边两路输出，单路输出功率可达2W，总输出功率4W。
- 输入电压15V，副边全桥整流输出全电压（VISO-COM=23V）
- 输出全电压通过4.7V的稳压管，将全电压拆分成正电压（VISO-VS=18V），负电压（COM-VS=-4V）。
- BTP1521F的OSC管脚通过电阻R5=42.2KΩ接地，设置工作频率为F=477KHz。

工作频率可以通过 R_{F-SET} 电阻设置，以下式子给出了 R_{F-SET}(kΩ) 和 F(kHz) 的关系（典型值）：

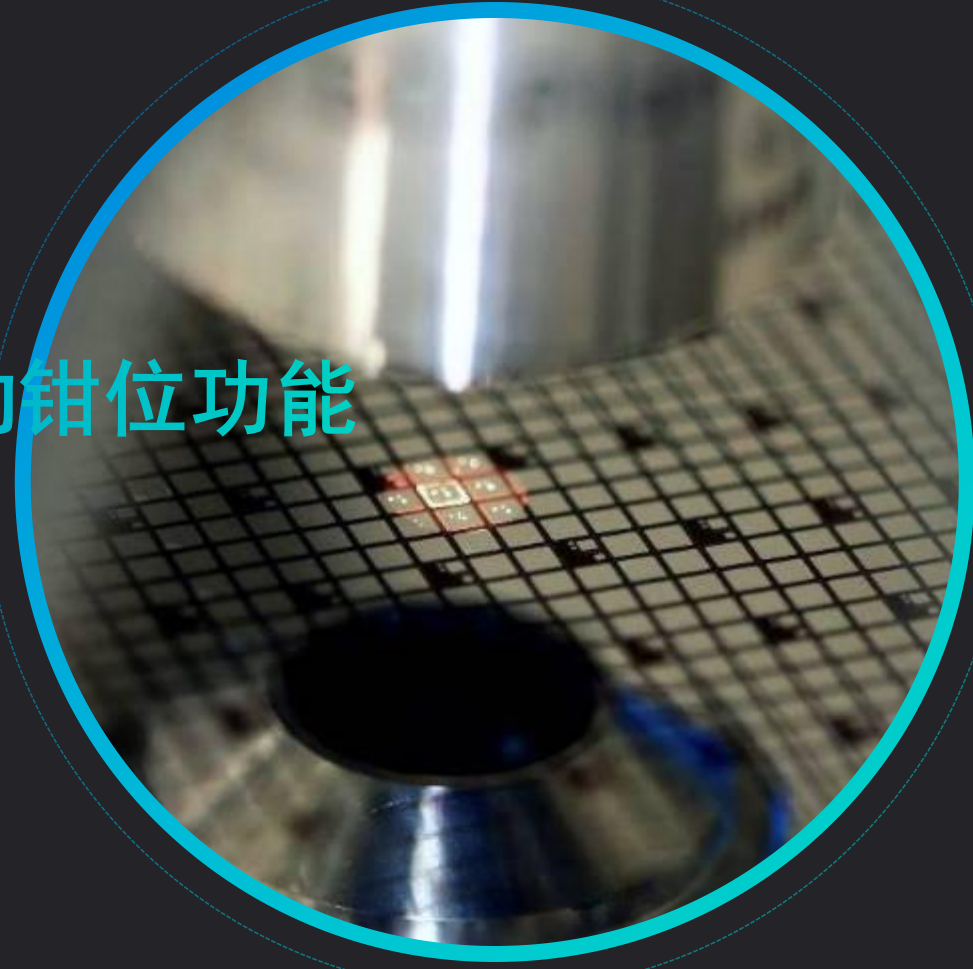
$$F = \frac{1}{44.4R + 223} \times 10^6$$



- 原方VCC1供电电压15V
- BTD5350xx是电压型输入的容隔驱动，输入IN是高阻抗，如果输入信号PCB布线不合理，容易导致输入信号受到干扰，驱动芯片会误动作，建议在PWM输入接电阻R11=10KΩ到地（甚至更低的电阻），目的是使得PWM信号的线路上能产生足够的电流，可以避免芯片输入IN脚受到干扰，同时靠近芯片IN脚接滤波电容C20=100pF到地。
- 副方电源VISO1接+18V， COM1接-4V，VS1接SiC MOSFET的辅助源极

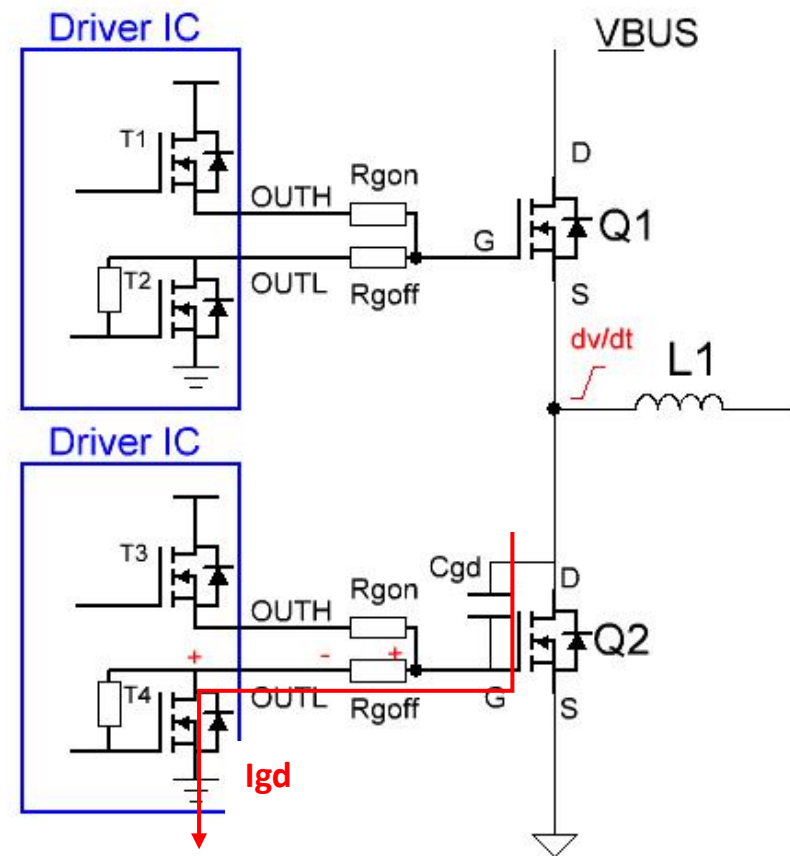
03

驱动SiC MOSFET使用米勒钳位功能的必要性



功率器件米勒现象产生机理

- 在实际应用中，特别是在桥式电路中，功率器件容易发生串扰行为，在串扰行为下，门极电压会被抬高，一旦门极电压超过功率器件的开启电压，将会使已关闭的功率器件出现误开通，从而造成直流母线短路。
- 原理分析：
 - 当下管Q2保持关闭时，将上管Q1开通，桥臂中点电压快速上升，桥臂中点dv/dt的大小，取决于上管Q1的开通速度，Q1开通越快，dv/dt越大。
 - 桥臂中点电压的快速变化，使得下管Q2的栅漏间寄生电容Cgd流过电流，这个电流叫做米勒电流Igd，米勒电流 $I_{gd} = C_{gd} \cdot (dV/dt)$ ，dv/dt越大，米勒电流Igd越大。
 - 米勒电流Igd（红色线）会流经Cgd→Rgoff→T4到负电源轨，产生左负右正的电压，这三个电压叠加在功率器件门极，门极电压会被抬高，一旦门极电压超过功率器件的开启电压，将会使已关闭的功率器件出现误开通，从而造成直流母线短路。



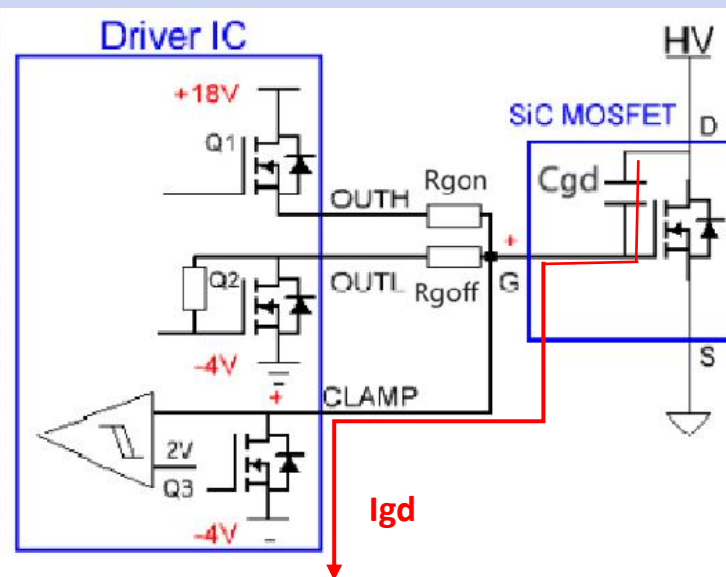
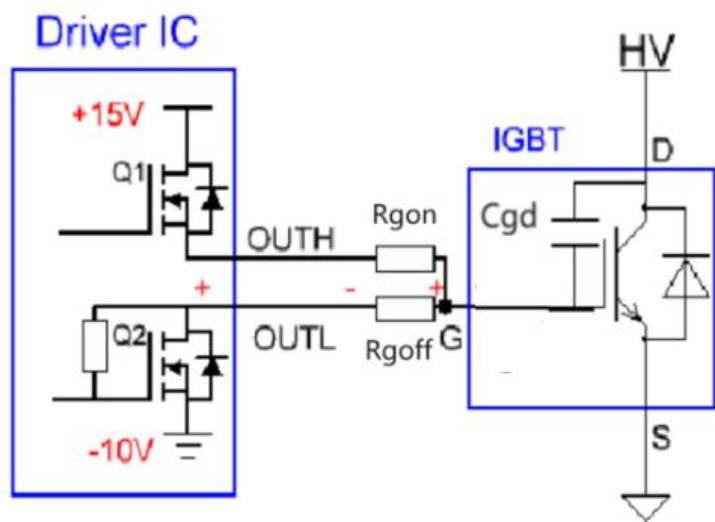
驱动SiC MOSFET使用米勒钳位功能的必要性

| 参数和性能 | IGBT | SiC MOSFET | Unit | 说明 |
|--------------|------|------------|------|---|
| 门极负压极限VGS- | -30 | -8 | V | 1:硅MOSFET和IGBT对驱动电压的负值的忍耐能力明显优于SiC MOSFET。 2:SiC MOSFET的实战的驱动负压通常在-2~-4V的水平。 3:硅MOSFET和IGBT的驱动负压通常在-8~-10V，腾挪空间明显多于SiCMOSFET。 |
| 开启电压Vgs (th) | 5 | 1.8~2.7 | V | 1:开启电压低，容易误开通。 2:Vgs(th)随着TJ温度上升而下降，在高温时，更容易误开通。 |
| 开关速度 | 100 | 300 | % | 米勒电流Igd=Cgd* (dv/dt) ， dv/dt越大，Igd越大，越容易误开通。 |

驱动IGBT通常不需要使用米勒钳位功能

驱动SiC MOSFET则比较需要使用米勒钳位功能

驱动方案



- 驱动芯片的米勒钳位脚 (Clamp) 直接连接到SiC MOSFET的门极，米勒电流Igd (红色线) 会流经Cgd→Q3到负电源轨，形成了一条更低阻抗的门极电荷泄放回路。
- 驱动芯片内部比较器的翻转电压阈值2V (相对芯片地)，在SiC MOSFET关断期间，当门极电压高于2V时，比较器输出从低电平翻转到高电平，MOSFET (Q3)被打开，使得门极以更低阻抗拉到负电源轨，从而保证SiC MOSFET负电压被更有效关断，达到抑制误开通的效果。

单通道带米勒钳位隔离驱动BTD5350Mx系列介绍

■ 产品特性

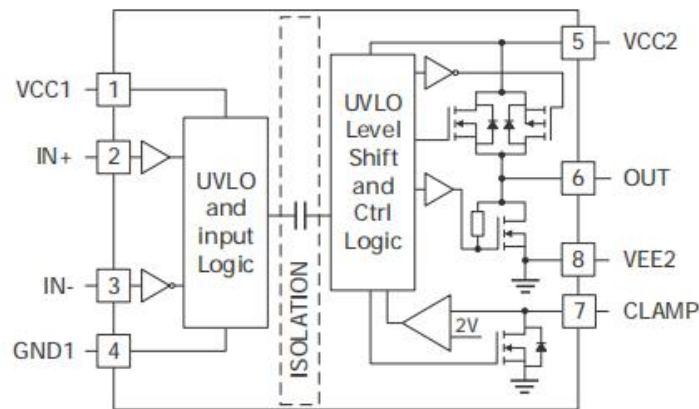
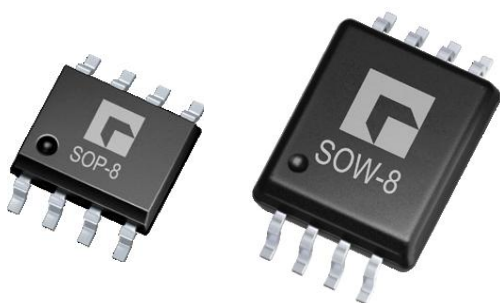
- 专门给SiC MOSFET驱动的门极驱动芯片
- 副方驱动器带米勒钳位功能脚clamp BTD5350M
- 驱动器输出峰值电压可达10A
- 驱动器电源全电压高达33V

■ 副方驱动器电源欠压保护点

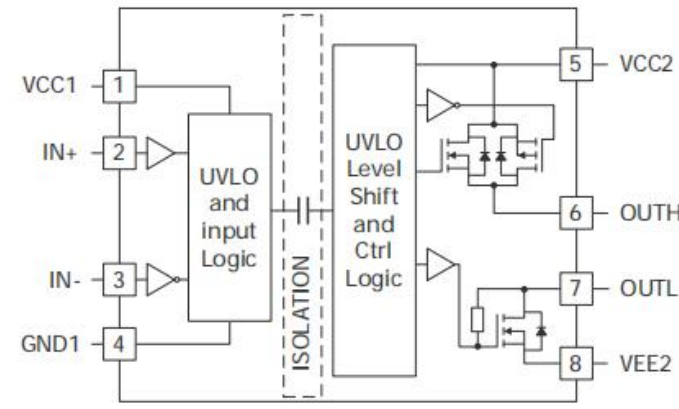
- 8V
- 11V

■ 封装类型

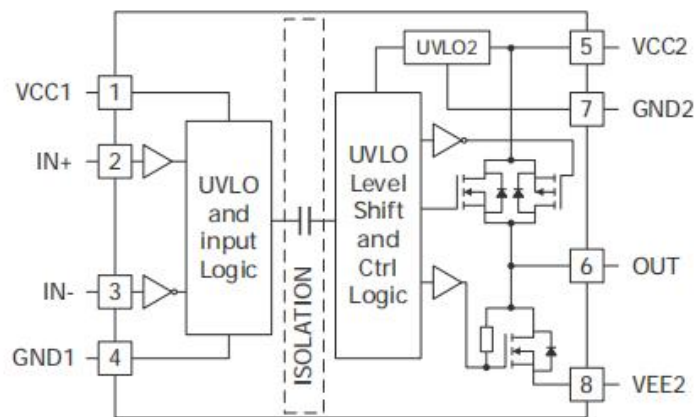
- SOW-8 (宽体)
- SOP-8 (窄体)



(BTD5350M)



(拓展型号BTD5350S
开通和关断分开)







(拓展型号BTD5350E
副边正电压UVLO)

典型应用：

- 工业电源
- 锂电池化成设备
- 商业空调
- 通信电源
- 光伏储能一体机
- 焊机电源

BTD5350xx系列交叉选型表

| 管脚功能 | UVLO | 封装 | 基本半导体 | TI | 纳芯微 | 英飞凌 |
|------------|------|----------|--|--|--|--|
| | | |  基本半导体 BASiC Semiconductor |  TEXAS INSTRUMENTS |  NOVOSENSE ROBUST & RELIABLE |  infineon |
| 米勒钳位 | 8V | SOW8(宽体) | BTD5350MBWR | NA | NSi6601MB-DSWVR | NA |
| 米勒钳位 | 8V | SOP8(窄体) | BTD5350MBPR | UCC5350SBDR | NSi6601MB-DSPR | NA |
| 米勒钳位 | 11V | SOW8(宽体) | BTD5350MCWR | UCC5350MCDWVR | NSi6601MC-DSWVR | NA |
| 米勒钳位 | 11V | SOP8(窄体) | BTD5350MCPR | UCC5350MCDR | NSi6601MC-DSPR | 1EDI30I12MF |
| 开通与关断管脚分开 | 8V | SOW8(宽体) | BTD5350SBWR | NA | NSi6601B-DSWVR | NA |
| 开通与关断管脚分开 | 8V | SOP8(窄体) | BTD5350SBPR | UCC5350SBDR | NSi6601B-DSPR | 1ED3140MU12F |
| 开通与关断管脚分开 | 11V | SOW8(宽体) | BTD5350SCWR | UCC5320SCDWVR | NSi6601C-DSWVR | NA |
| 开通与关断管脚分开 | 11V | SOP8(窄体) | BTD5350SCPR | UCC5320SCDR//UCC5390SCDR | NSi6601C-DSPR | 1ED3141MU12F |
| 副边正电压带UVLO | 8V | SOW8(宽体) | BTD5350EBWR | NA | NA | NA |
| 副边正电压带UVLO | 8V | SOP8(窄体) | BTD5350EBPR | NA | NA | NA |
| 副边正电压带UVLO | 11V | SOW8(宽体) | BTD5350ECWR | UCC5390ECDWVR | NA | NA |
| 副边正电压带UVLO | 11V | SOP8(窄体) | BTD5350ECPR | UCC5390ECDR//UCC5320ECDR | NA | NA |

双通道带米勒钳位隔离驱动BTD25350xx—创新性产品

■ 产品特性

- 专门给SiC MOSFET驱动的门极驱动芯片
- 原方带使能禁用脚DIS, 死区时间设置脚DT
- 副方驱动器带米勒钳位功能脚clamp
- 驱动器输出峰值电压可达10A
- 驱动器电源全电压高达33V
- 原副方封装爬电间距大于8.5mm, 绝缘电压可以5000Vrms
- 副方两驱动器爬电间距大于3mm,

■ 副方驱动器电源欠压保护点

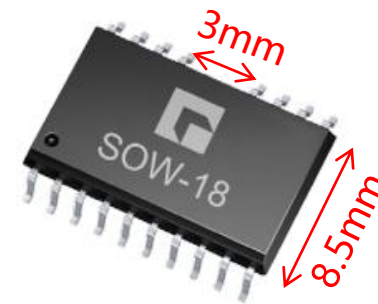
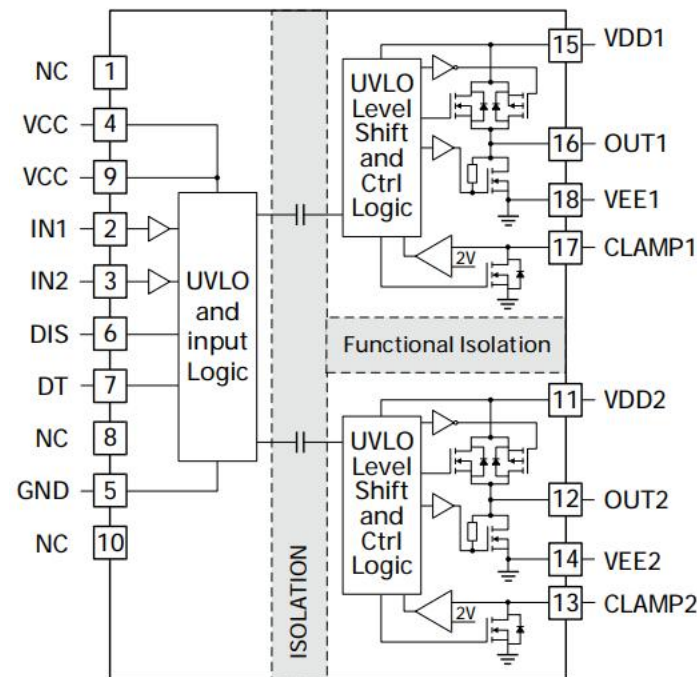
- 8V
- 11V

■ 封装类型

- SOW-18 (宽体)

应用方向:

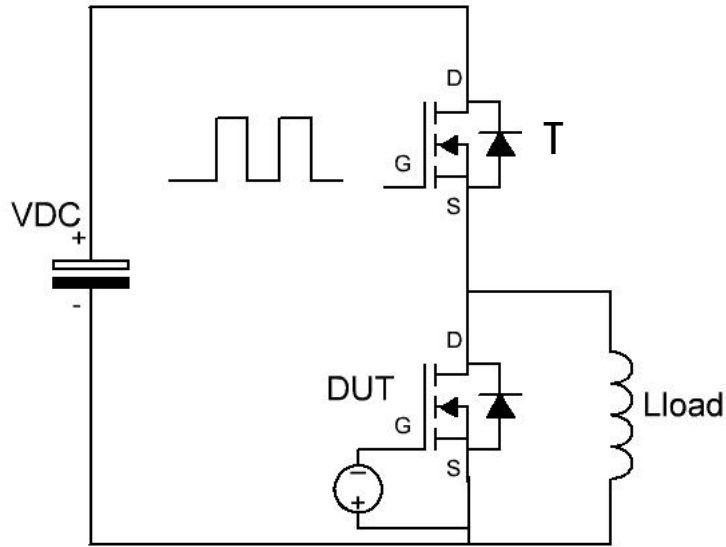
- 1: 充电桩中后级LLC用SiC MOSFET 方案
- 2: 光伏储能BUCK-BOOST中SiC MOSFET方案
- 3: 高频APF, 用两电平的三相全桥SiC MOSFET方案
- 4: 空调压缩机三相全桥SiC MOSFET方案
- 5: 焊机电源全桥拓扑SiC MOSFET方案
- 6: 服务器交流侧图腾柱PFC高频臂GaN或者SiC方案



SOW-18 封装

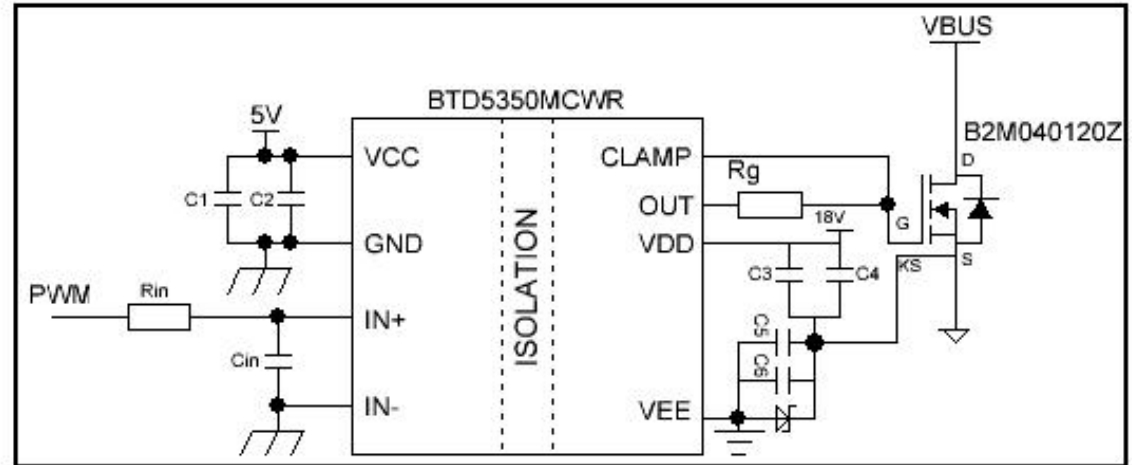
BTD25350xx系列选型表

| 产品型号 | 管脚功能 | UVLO | 封装 |
|---------------|--------------------|------|--------|
| BTD25350MMCWR | DIS, DT, 米勒钳位 | 11V | SOW-18 |
| BTD25350MMBWR | DIS, DT, 米勒钳位 | 8V | SOW-18 |
| 拓展型号 | | | |
| BTD25350MSBWR | DIS, DT, 开通和关断分开控制 | 8V | SOW-18 |
| BTD25350MECWR | DIS, DT, 副边正电源带欠压 | 11V | SOW-18 |

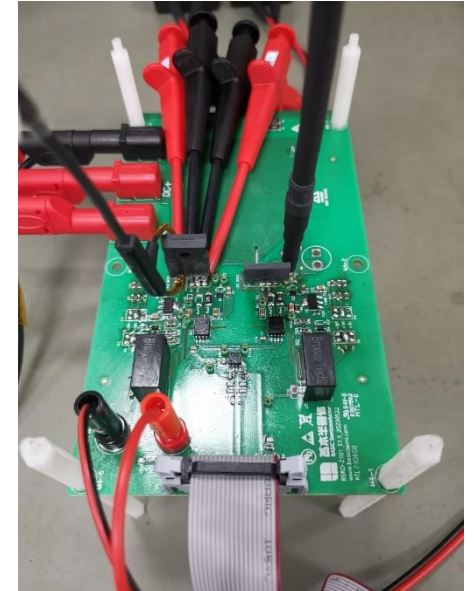


双脉冲原理图

- 上管(T)作为开关管接收脉冲PWM信号，下管(DUT)处于关断状态，体二极管续流
- 由于米勒现象，在上管(T)开通时，下管(DUT)门极电压会产生波动
- 因此通过观察下管(DUT)门极电压来判断米勒钳位功能的作用

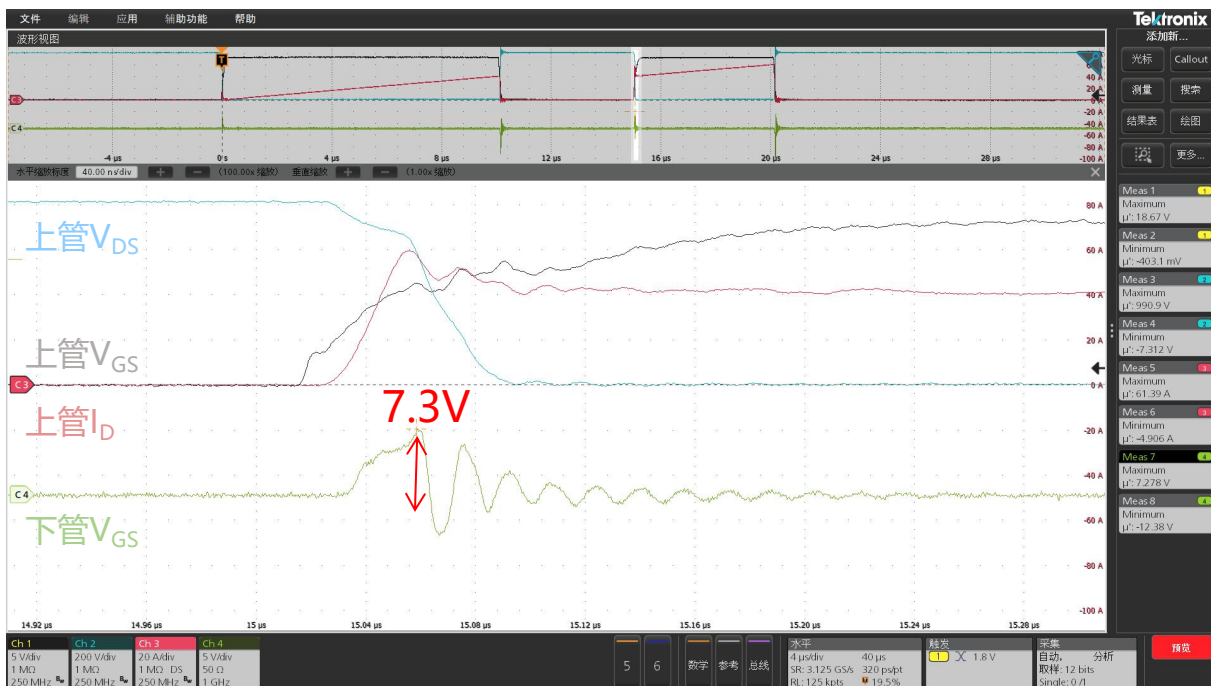


米勒钳位功能原理图

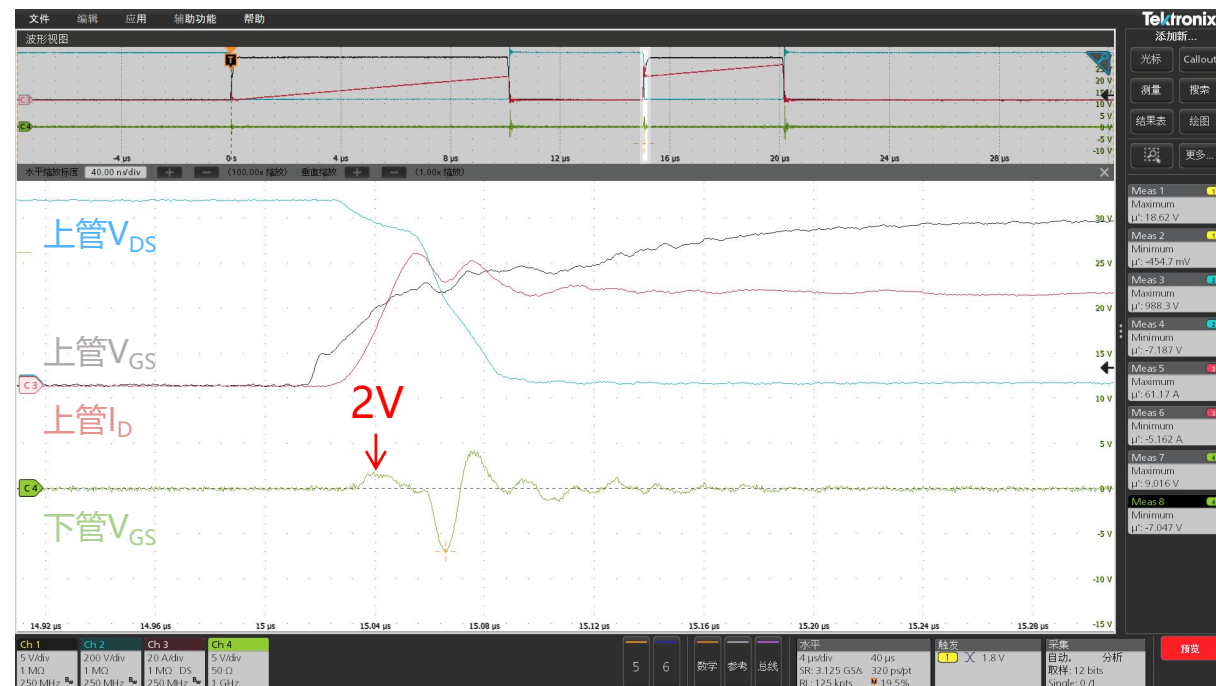


米勒钳位作用//双脉冲平台实测对比

测试条件：上管 $V_{GS}=0V/+18V$ ，下管 $V_{GS}=0V$ ； $V_{DS}=800V$ ； $I_D=40A$ ； $R_g=8.2\Omega$ ； $L_{load}=200\mu H$ ； $T_a=25^\circ C$



无米勒钳位

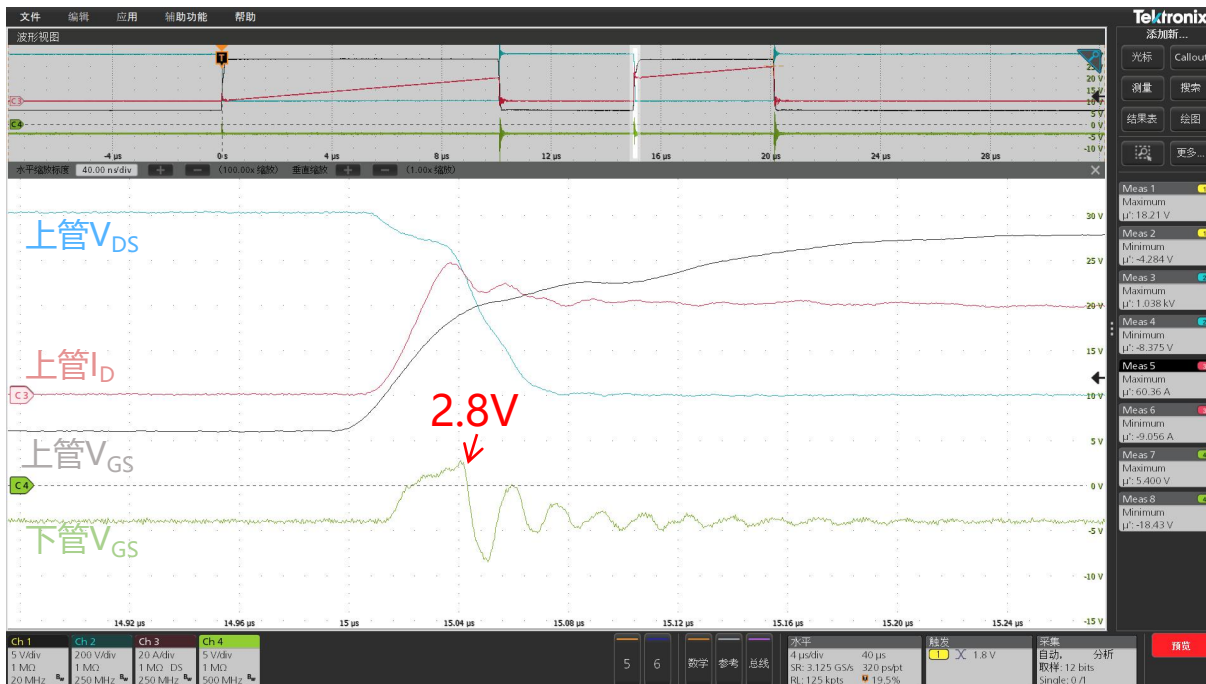


有米勒钳位

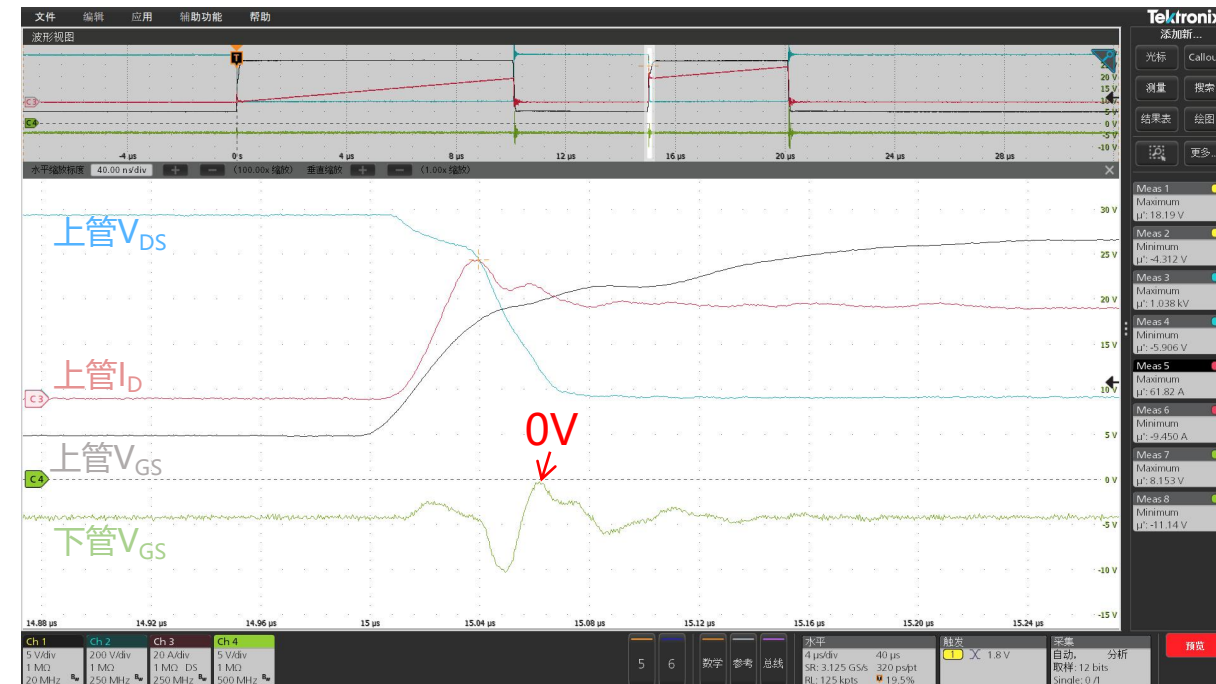
| 结论 | 无米勒钳位 | 有米勒钳位 | Unit | |
|----|-------------|-------|-------|-------|
| | dv/dt | 14.51 | 14.76 | KV/us |
| | di/dt | 2.24 | 2.24 | KA/us |
| | 下管 V_{GS} | 7.3 | 2 | V |

米勒钳位作用//双脉冲平台实测对比

测试条件：上管 $V_{GS} = -4V/+18V$ ，下管 $V_{GS} = -4V$ ； $V_{DS} = 800V$ ； $I_D = 40A$ ； $R_g = 8.2\Omega$ ； $L_{load} = 20\mu H$ ； $T_a = 25^\circ C$



无米勒钳位

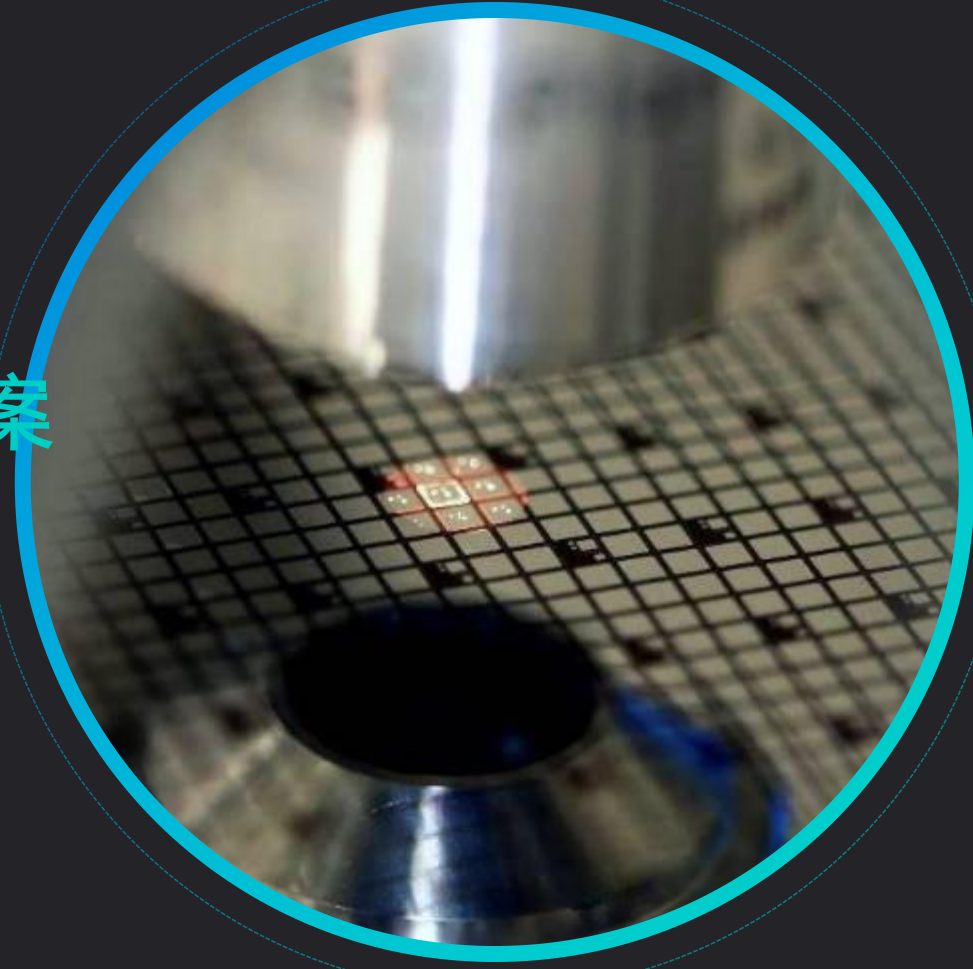


有米勒钳位

| 结论 | 无米勒钳位 | 有米勒钳位 | Unit | |
|----|-------------|-------|-------|-------|
| | dv/dt | 14.51 | 14.76 | KV/us |
| | di/dt | 2.24 | 2.24 | KA/us |
| | 下管 V_{GS} | 2.8 | 0 | V |

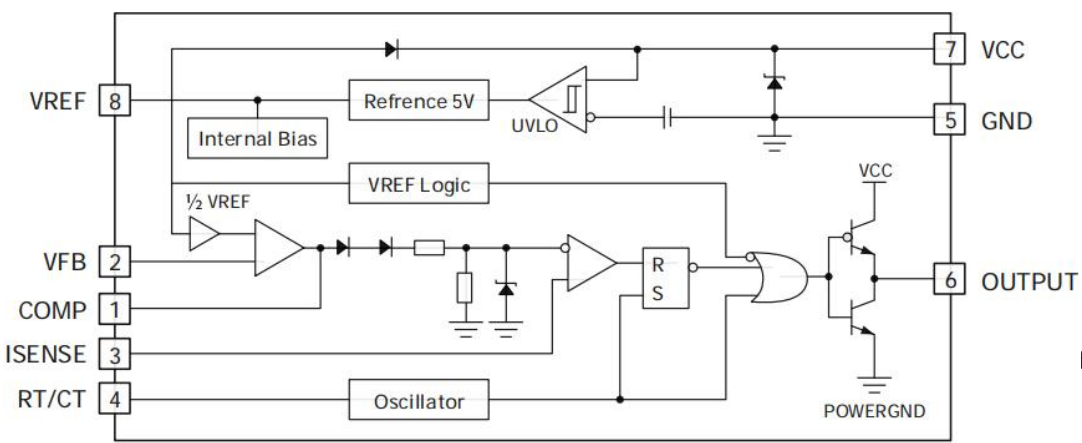
04

焊机辅助电源解决方案

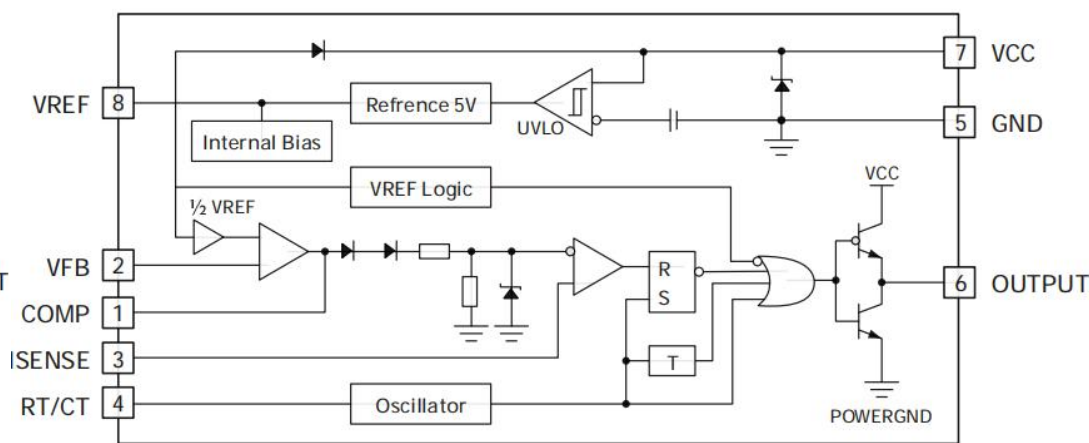


反激控制芯片BTD284xx介绍

| 产品型号 | 欠压保护值 | 欠压恢复值 | 占空比 | 工作温度 | 驱动峰值电流 | 最大工作频率 | 封装 | 兼容型号 | | | |
|-----------|-------|-------|------|-------------|--------|--------|------|--------|--------|--------|--------|
| | | | | | | | | TI | 安森美 | ST | UTC |
| BTP2842DR | 10V | 16V | 100% | -40°C~105°C | 1A | 500KHz | SOP8 | UCx842 | UCx842 | UCx842 | UCx842 |
| BTP2843DR | 7.6V | 8.4V | 100% | -40°C~105°C | 1A | 500KHz | SOP8 | UCx843 | UCx843 | UCx843 | UCx843 |
| BTP2844DR | 10V | 16V | 50% | -40°C~105°C | 1A | 500KHz | SOP8 | UCx844 | UCx844 | UCx844 | UCx844 |
| BTP2845DR | 7.6V | 8.4V | 50% | -40°C~105°C | 1A | 500KHz | SOP8 | UCx845 | UCx845 | UCx845 | UCx845 |

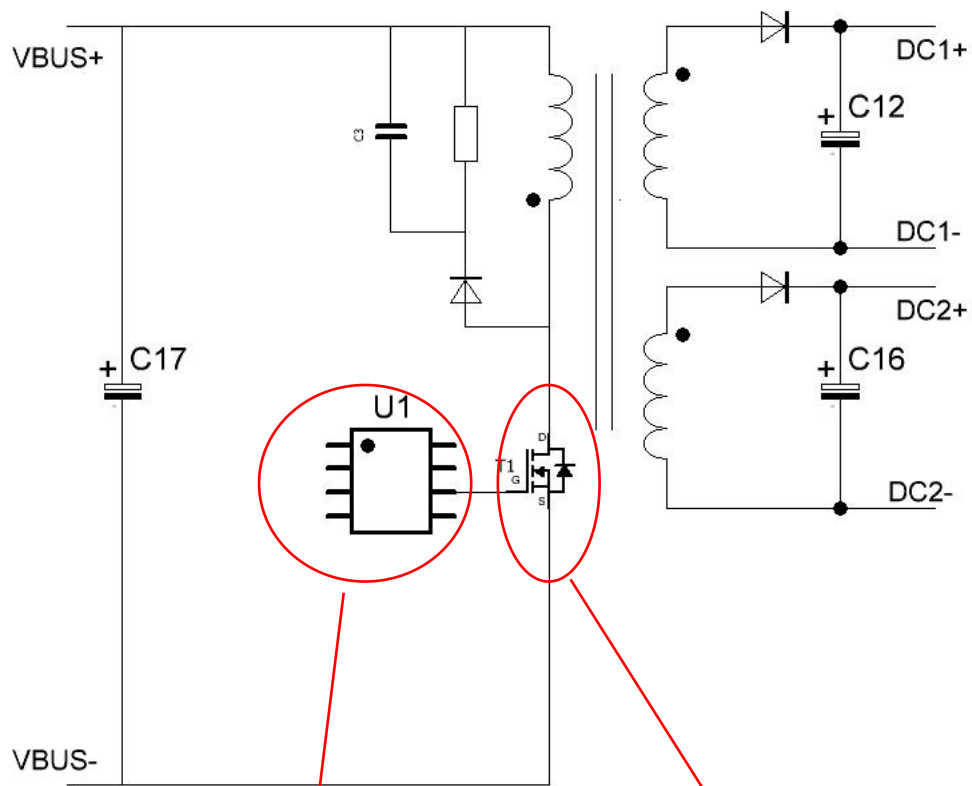


(BTP2842DR , BTP2843DR)



(BTP2844DR , BTP2845DR)





- 采用单端反激拓扑
- 副边多路输出
- 输出总功率可达50W

电源芯片采用BTP284x

原边开关管采用SiC MOSFET，规格1700V/600mR
型号B2M600170R (T0-263-7) 或B2M600170H (T0-247-3)

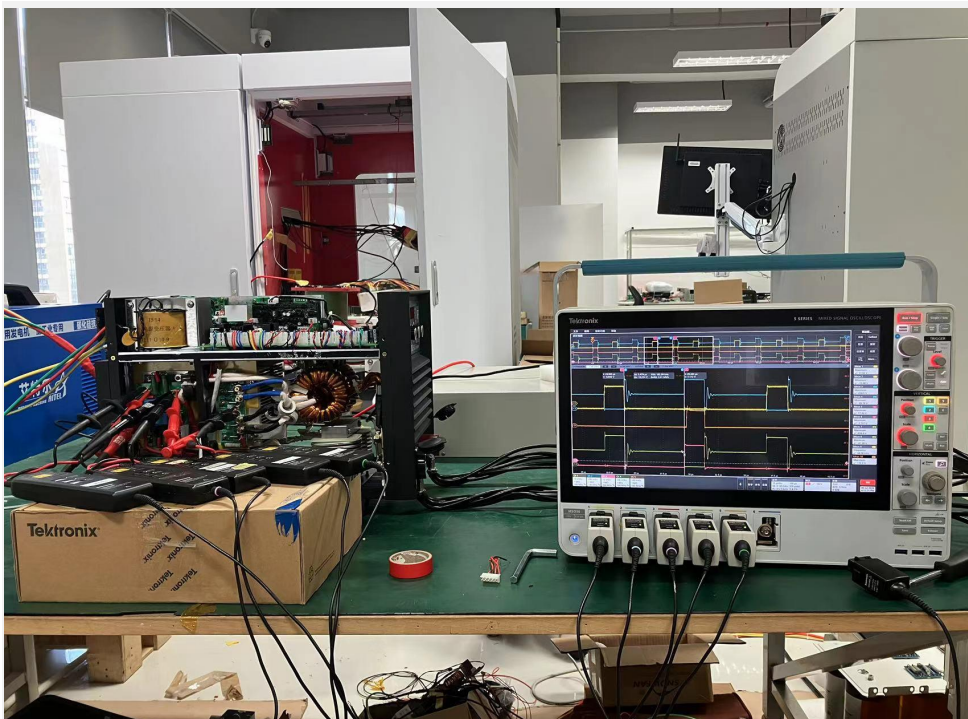
05



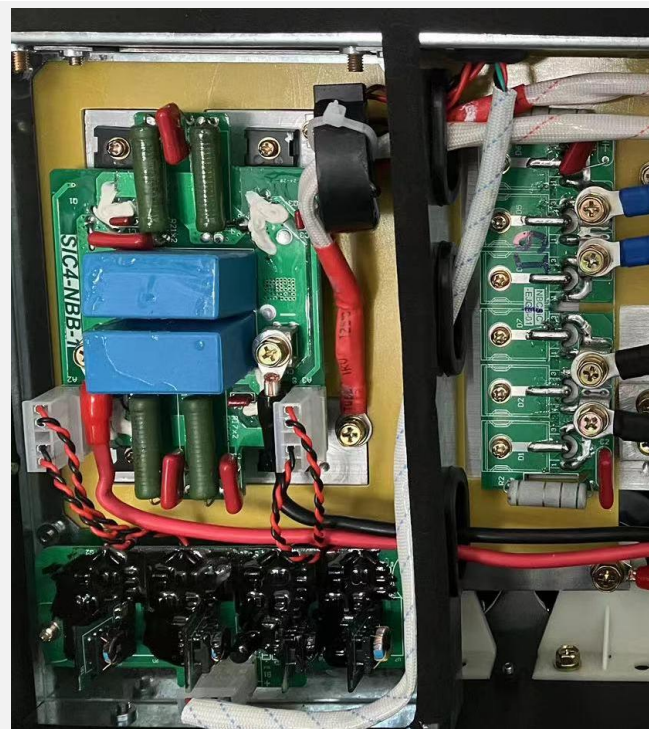
搭配隔离驱动芯片的SiC MOSFET 在
焊机应用中实测波形对比



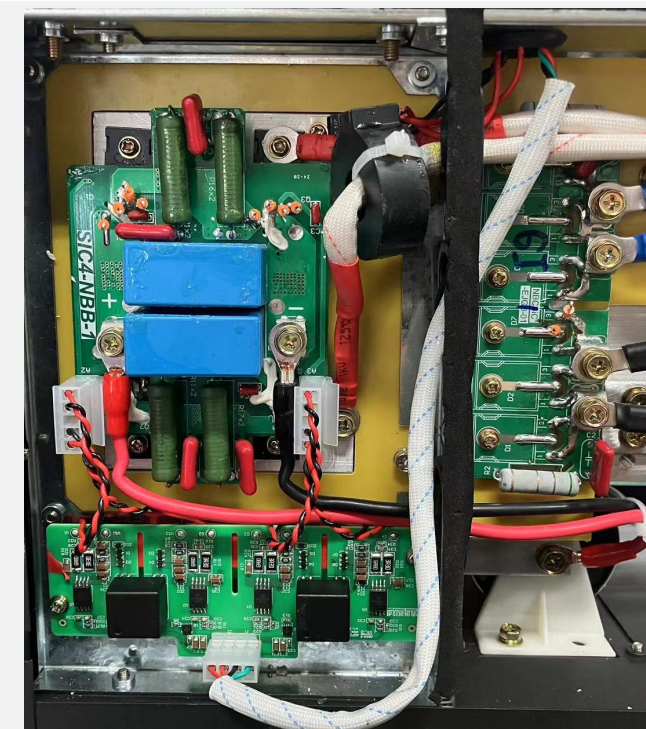
测试仪器和设备



电焊机整机测试平台



原型机驱动方案
Gate Driver: NSi6601 (N公司)
SiC MOSFET: B2M040120Z(BASiC)



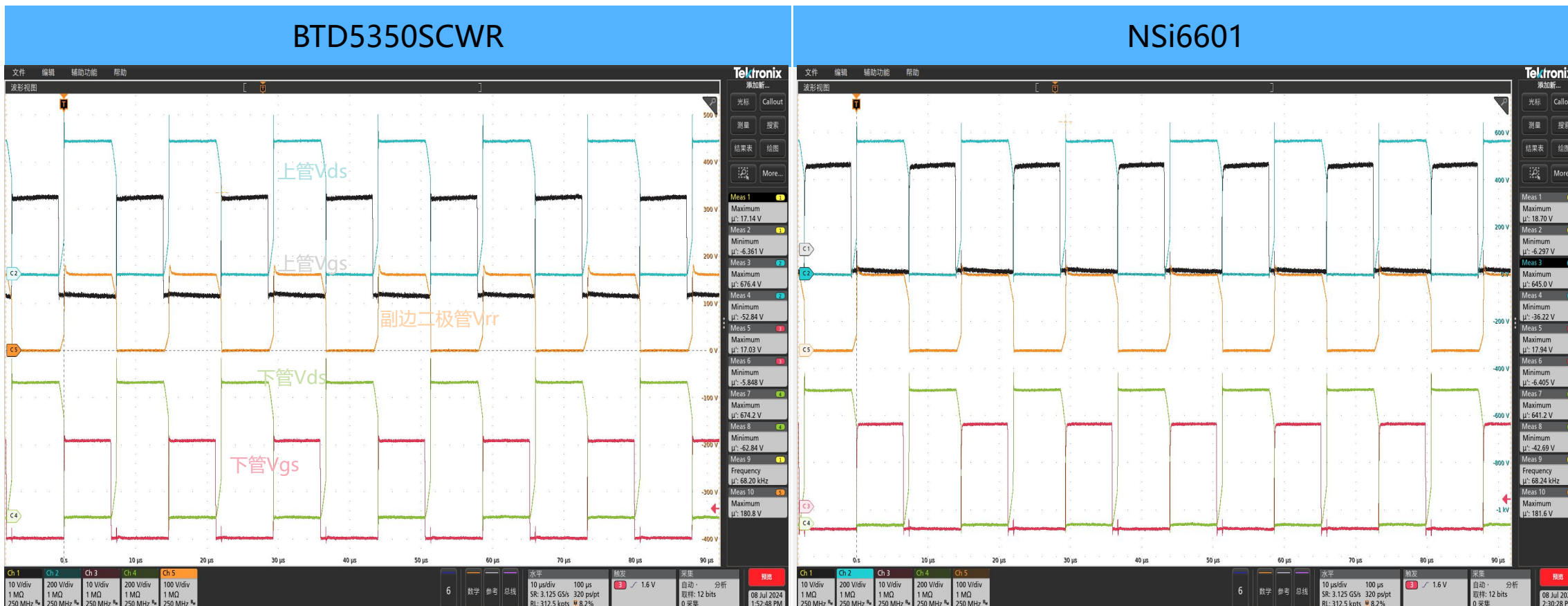
更换驱动方案
Gate Driver: BTD5350SCWR (BASiC)
SiC MOSFET: B2M040120Z(BASiC)

测试项目及数据汇总

| 测试条件: Vac=380V, IO _{UT} =0/250A V _{gs} =18V/-4V, Ron=3.3Ω, R _{off} =6.8Ω。 | | BTD5350SCWR (BASiC) | | NSi6601 (纳芯微) | | |
|--|-------------|---------------------|-------|---------------|-------|-------|
| | | UNIT | 0A | 250A | 0A | 250A |
| SiC MOSFET B2M040120Z | 开关频率 | kHz | 70 | | | |
| | 上管DS关断电压尖峰 | V | 676.4 | 652.4 | 645.0 | 650.0 |
| | 下管DS关断电压尖峰 | V | 674.2 | 640.6 | 641.2 | 638.5 |
| | 上管DS开通dv/dt | kv/us | 0.849 | 24.37 | 0.839 | 25.99 |
| | 上管DS关断dv/dt | kV/us | 1.28 | 23.31 | 1.26 | 24.05 |
| | 下管DS开通dv/dt | kV/us | 0.868 | 24.25 | 0.863 | 25.21 |
| | 下管DS关断dv/dt | kV/us | 1.21 | 24.85 | 1.20 | 25.68 |
| | 上管GS开通上升时间 | ns | 56.64 | 51.37 | 128.8 | 123.9 |
| | 上管GS关断下降时间 | ns | 42.01 | 44.79 | 37.47 | 46.48 |
| | 下管GS开通上升时间 | ns | 54.21 | 51.18 | 137.2 | 125.3 |
| | 下管GS关断下降时间 | ns | 41.62 | 48.22 | 37.65 | 40.98 |
| 副边Diode | 反向恢复电压尖峰 | V | 180.8 | 181.9 | 181.9 | 182.0 |

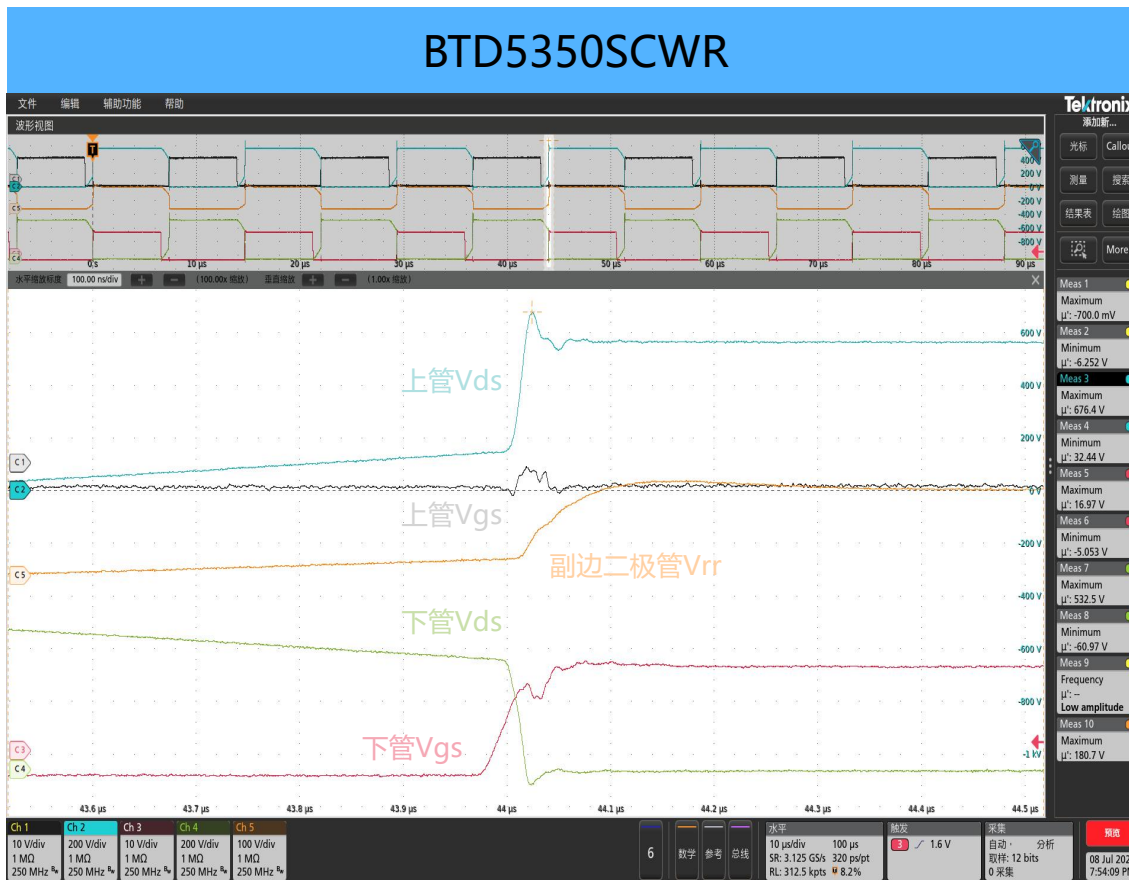
- 从表中可知, 使用SiC MOSFET, 焊机的工作频率可以提升到70KHz。
- 在250A的输出电流情况下, 不同的驱动芯片, SiC MOSFET的V_{ds}的反向电压尖峰都控制在同一水平。
- BTD5350SCWR的V_{gs}开通上升时间只有NSi6601的一半, 表面BTD5350SCWR开通速度更快, 开通损耗更小。

焊机输出空载//SiC MOSFET的Vgs和Vds整体波形

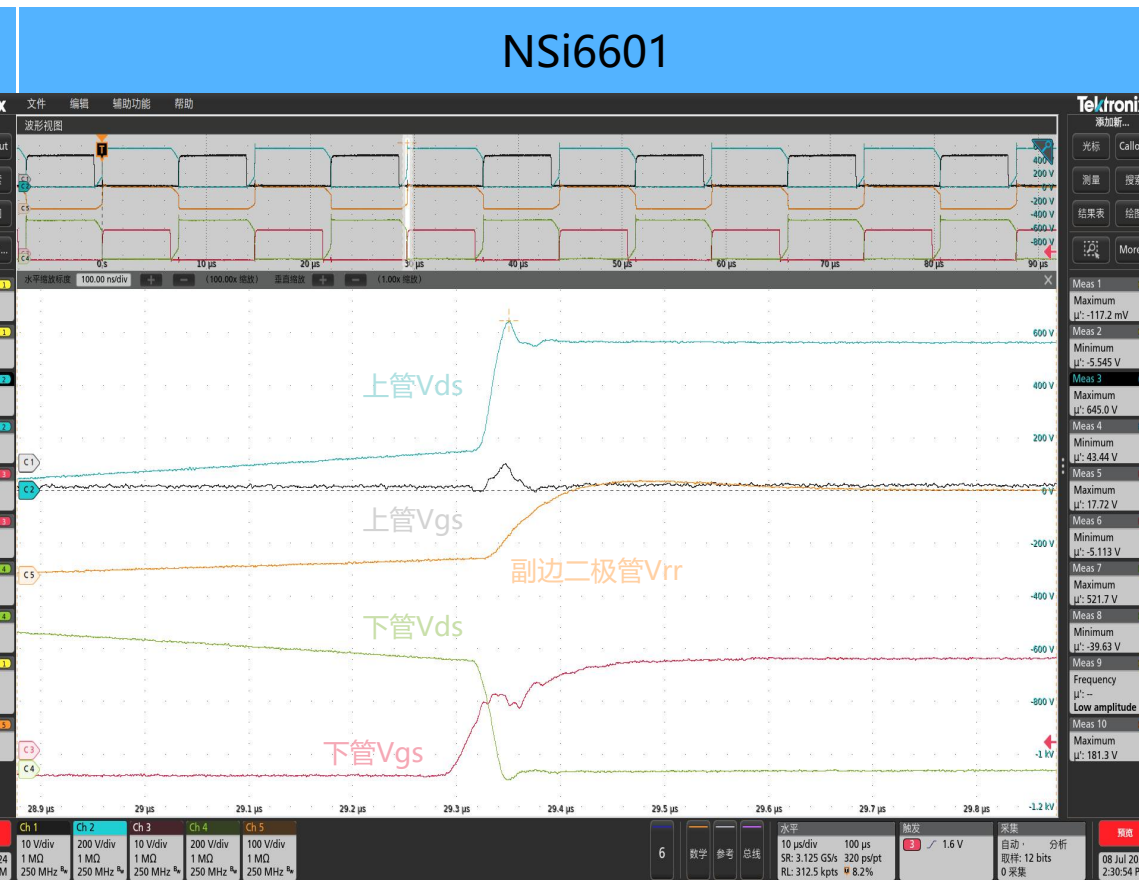


测试条件：三相电电压380V，驱动电压-4V/+18V，负载电流0A

上管V_{ds}最大关断电压尖峰



关断电压尖峰=676.4V



关断电压尖峰=645.0V

测试条件：三相电电压380V，驱动电压-4V/+18V，负载电流0A

下管Vds关断电压尖峰

下管Vds最大关断电压尖峰



关断电压尖峰=674.2V



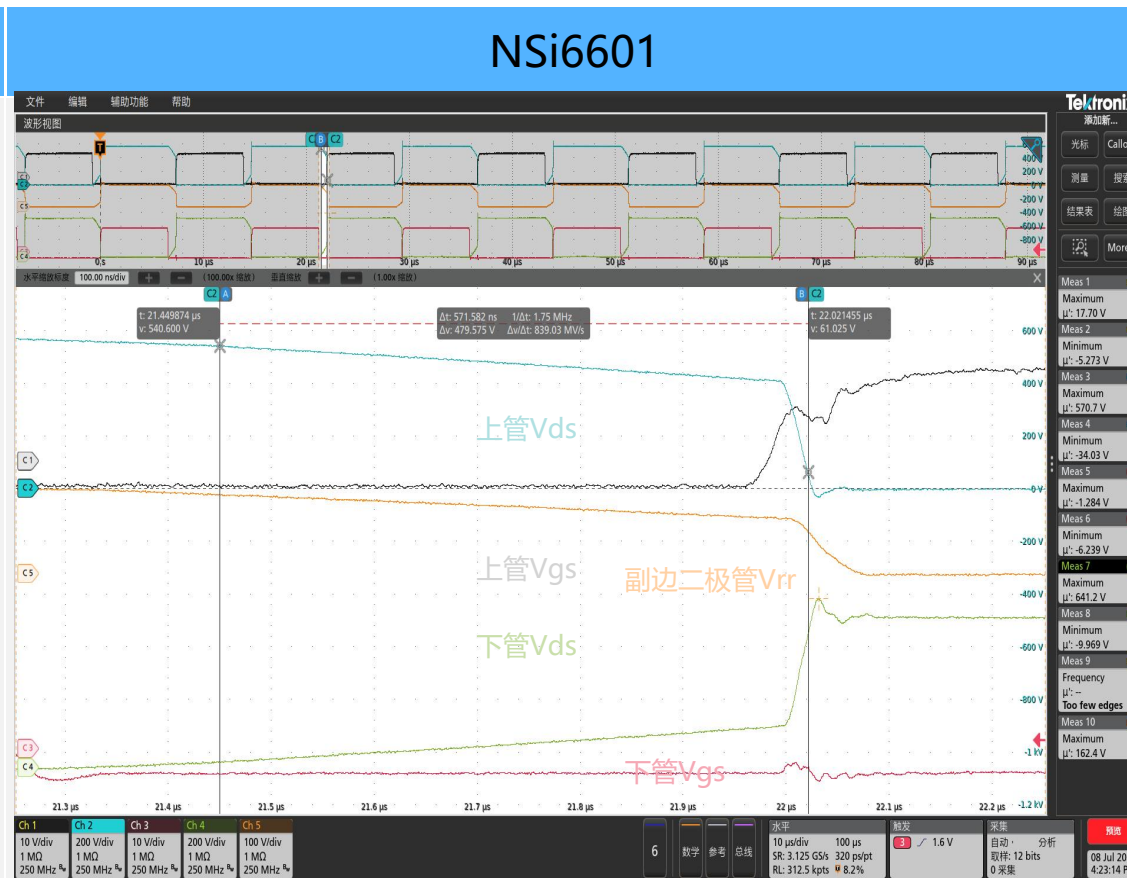
关断电压尖峰=641.2V

测试条件：三相电电压380V，驱动电压-4V/+18V，负载电流0A

- 以上管Vds波形为基准，电压下降时的Vds在90%到10%之间的斜率为开通dv/dt。



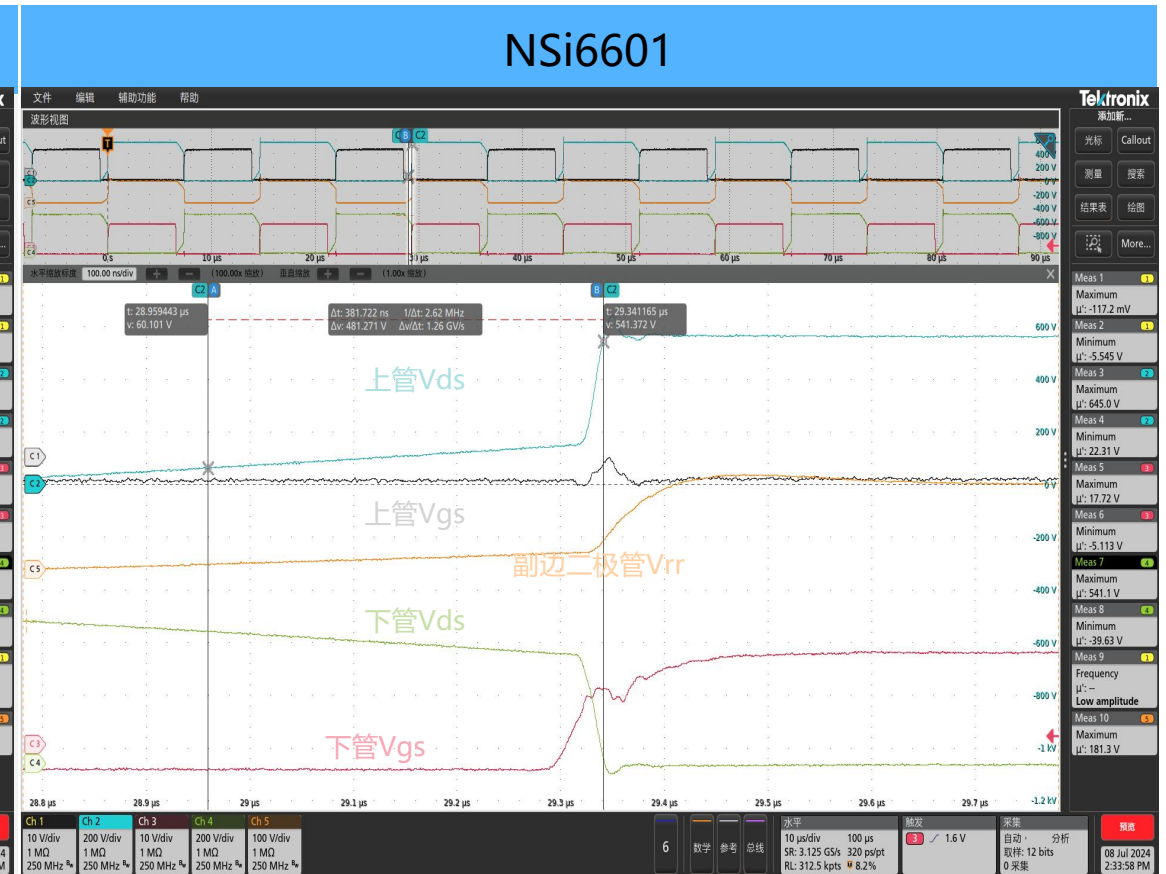
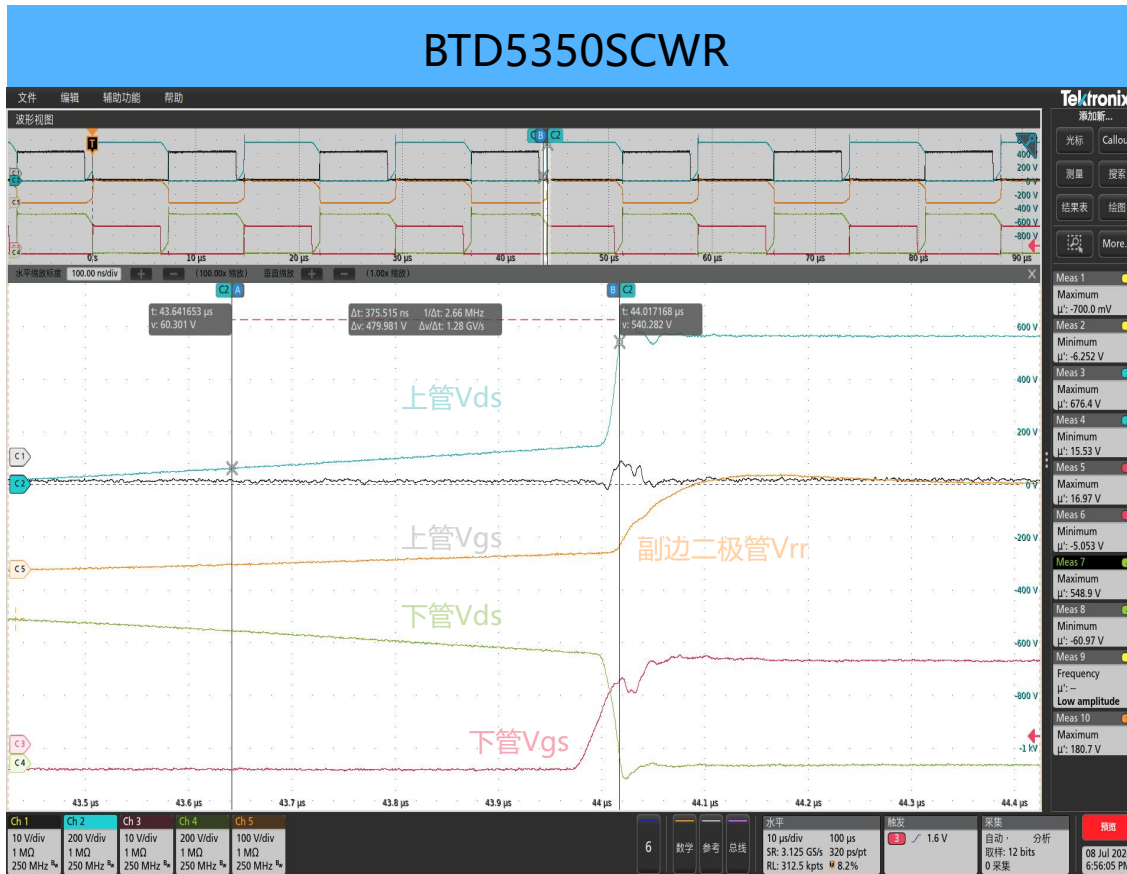
上管开通dv/dt=0.849kV/us



上管开通dv/dt=0.839kV/us

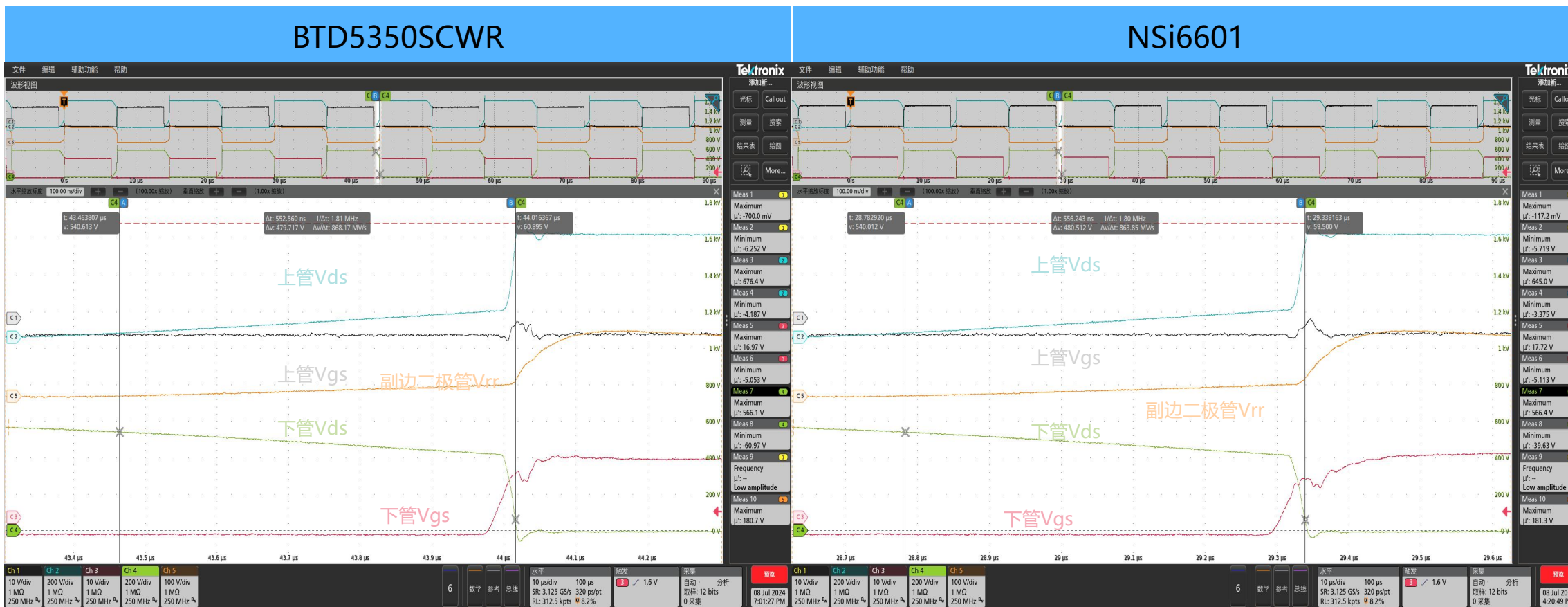
测试条件：三相电电压380V，驱动电压-4V/+18V，负载电流0A

- 以上管 V_{ds} 波形为基准，电压上升时的 V_{ds} 在10%到90%之间的斜率为开通 dv/dt 。



测试条件：三相电电压380V，驱动电压-4V/+18V，负载电流0A

- 以下管 V_{ds} 波形为基准，电压下降时的 V_{ds} 在90%到10%之间的斜率为开通 dv/dt 。



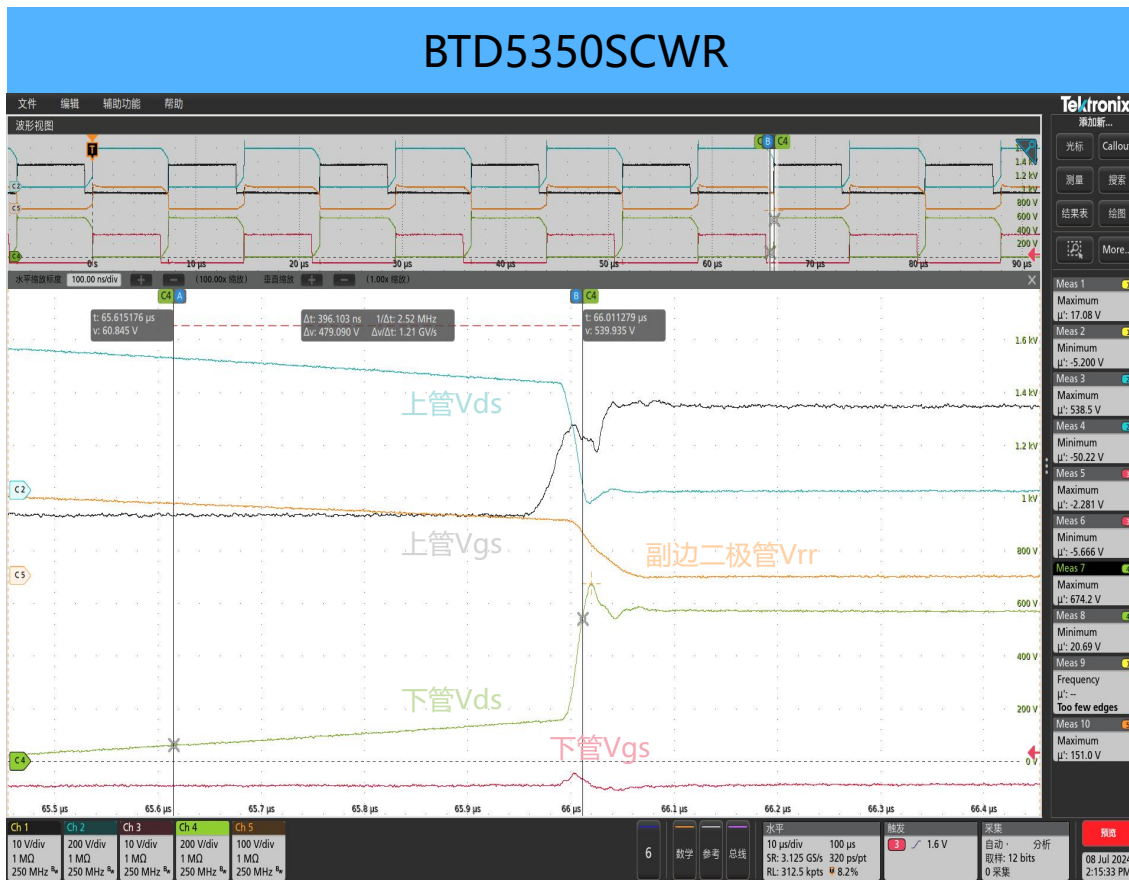
下管开通 $dv/dt = 0.868 \text{ kV/us}$

下管开通 $dv/dt = 0.863 \text{ kV/us}$

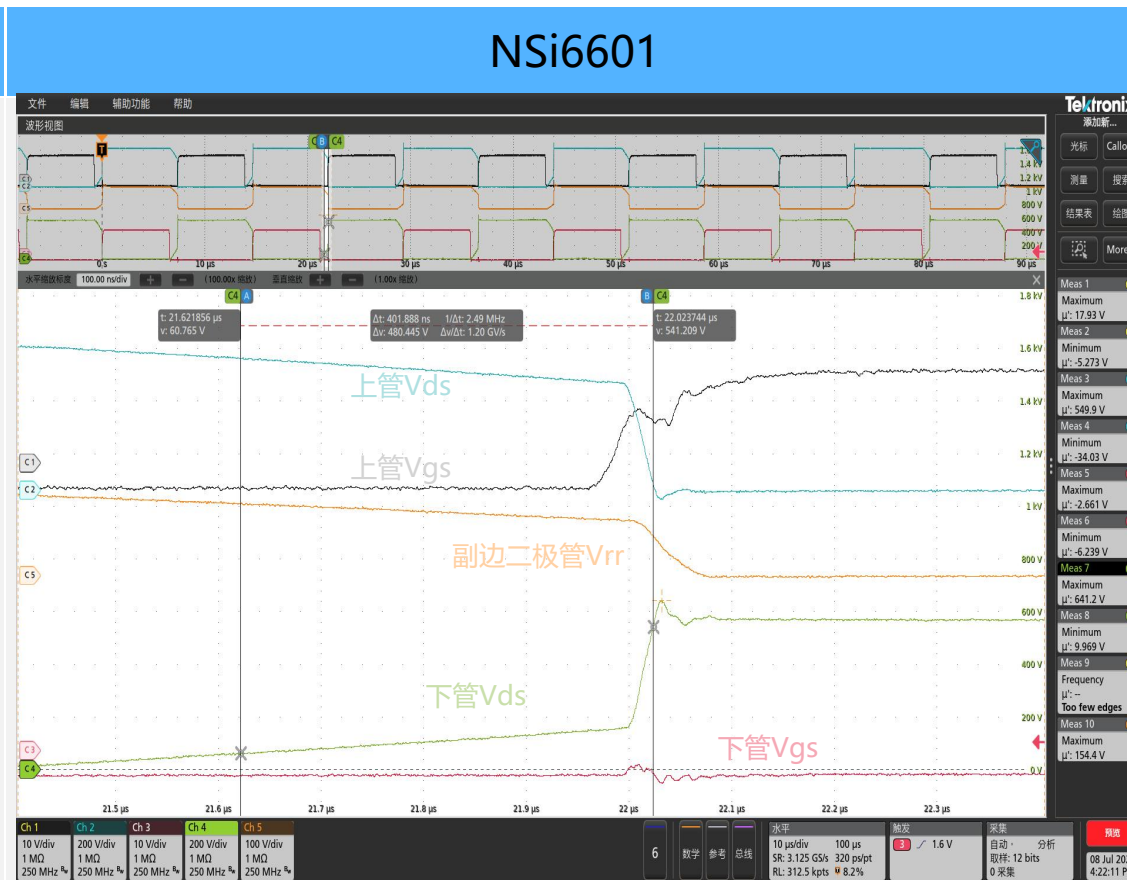
测试条件：三相电电压380V，驱动电压-4V/+18V，负载电流0A

下管关断dv/dt

- 以下管V_{ds}波形为基准，电压上升时的V_{ds}在10%到90%之间的斜率为开通dv/dt。



下管关断dv/dt=1.21kV/us

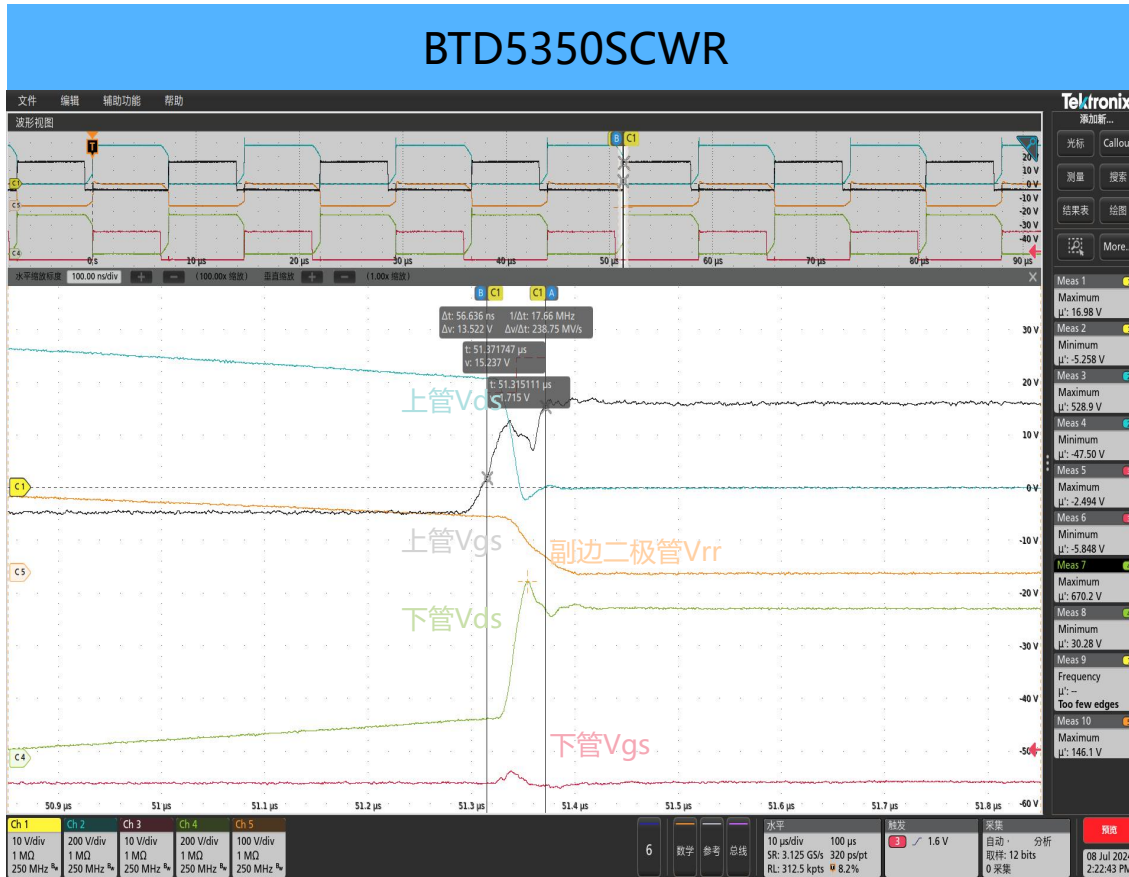


下管关断dv/dt=1.20kV/us

测试条件：三相电电压380V，驱动电压-4V/+18V，负载电流0A

上管Vgs开通上升时间

- 以Vgs波形为基准，电压上升时的Vgs在10%到90%之间的时间为上升时间。



上管Vgs开通上升时间=56.64ns

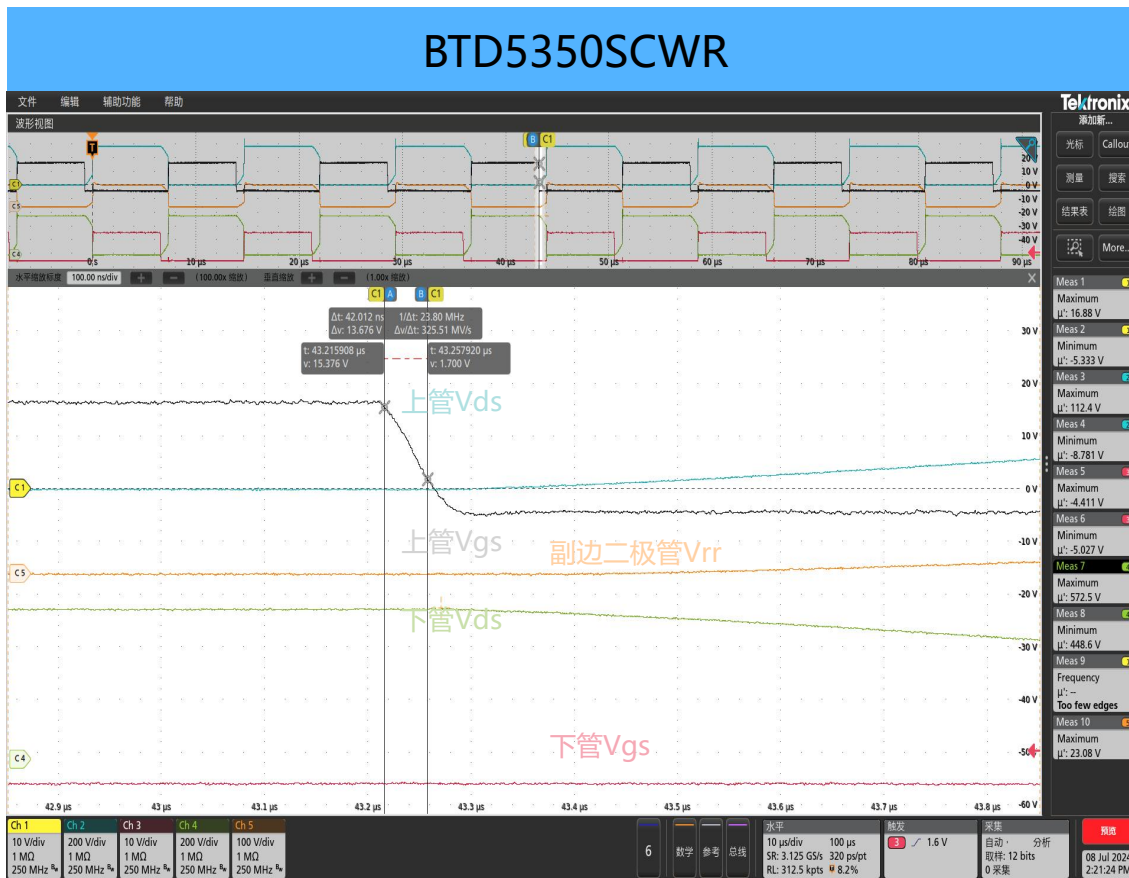


上管Vgs开通上升时间=128.8ns

测试条件：三相电电压380V，驱动电压-4V/+18V，负载电流0A

上管Vgs关断下降时间

- 以Vgs波形为基准，电压下降时的Vgs在90%到10%之间的时间为下降时间。



上管Vgs关断下降时间=42.01ns

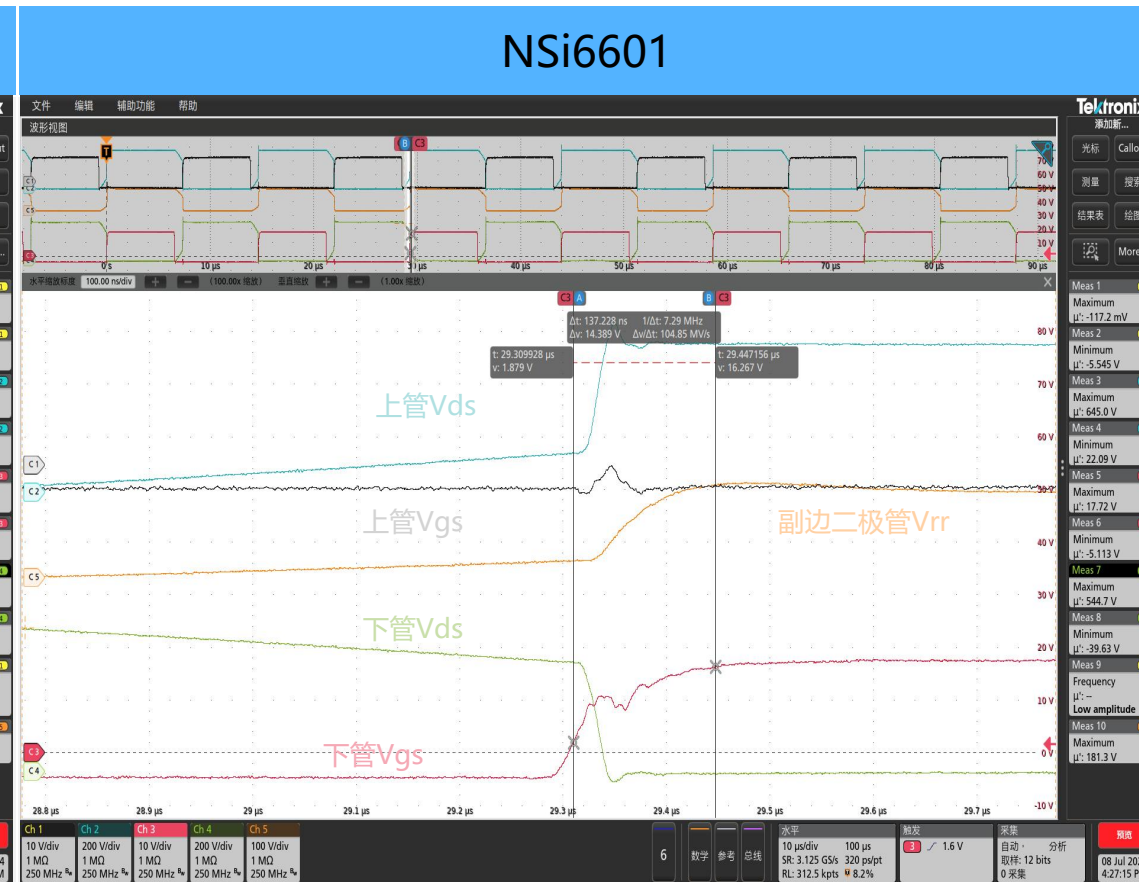
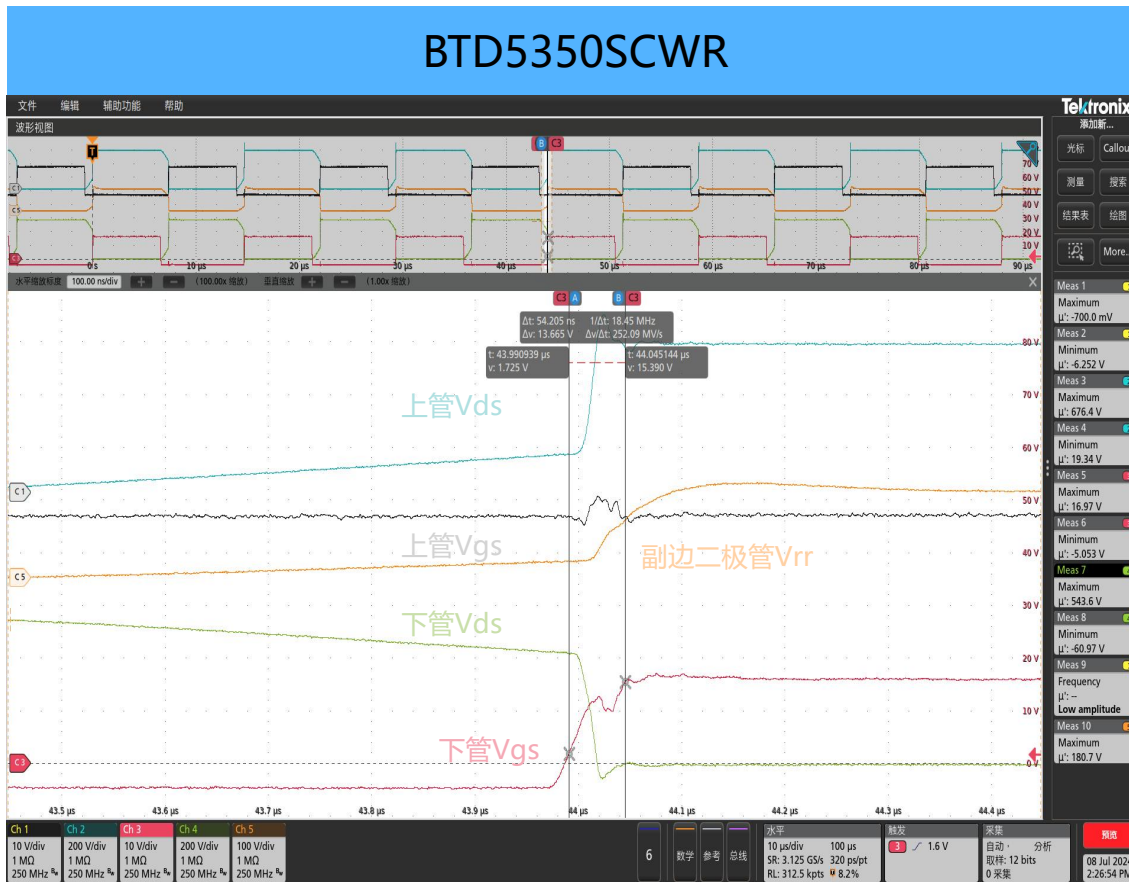


上管Vgs关断下降时间=37.47ns

测试条件：三相电电压380V，驱动电压-4V/+18V，负载电流0A

下管开通上升时间

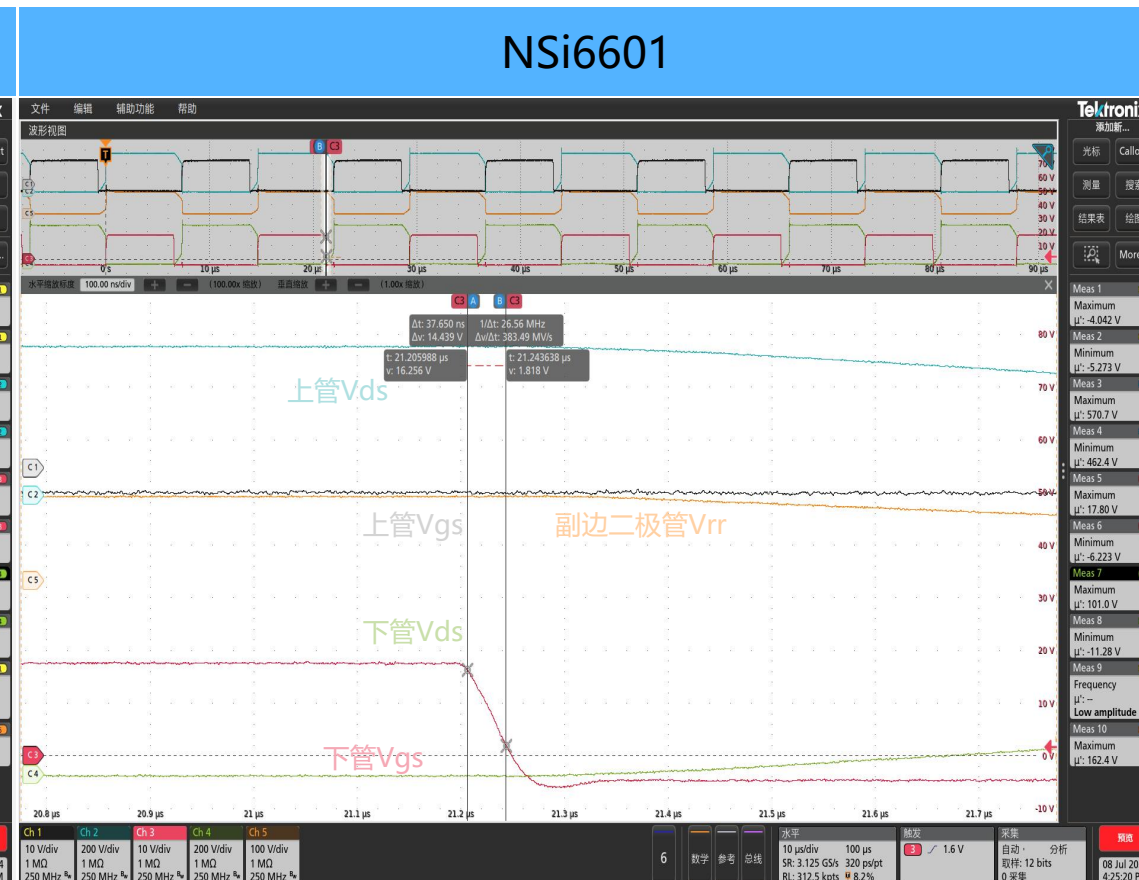
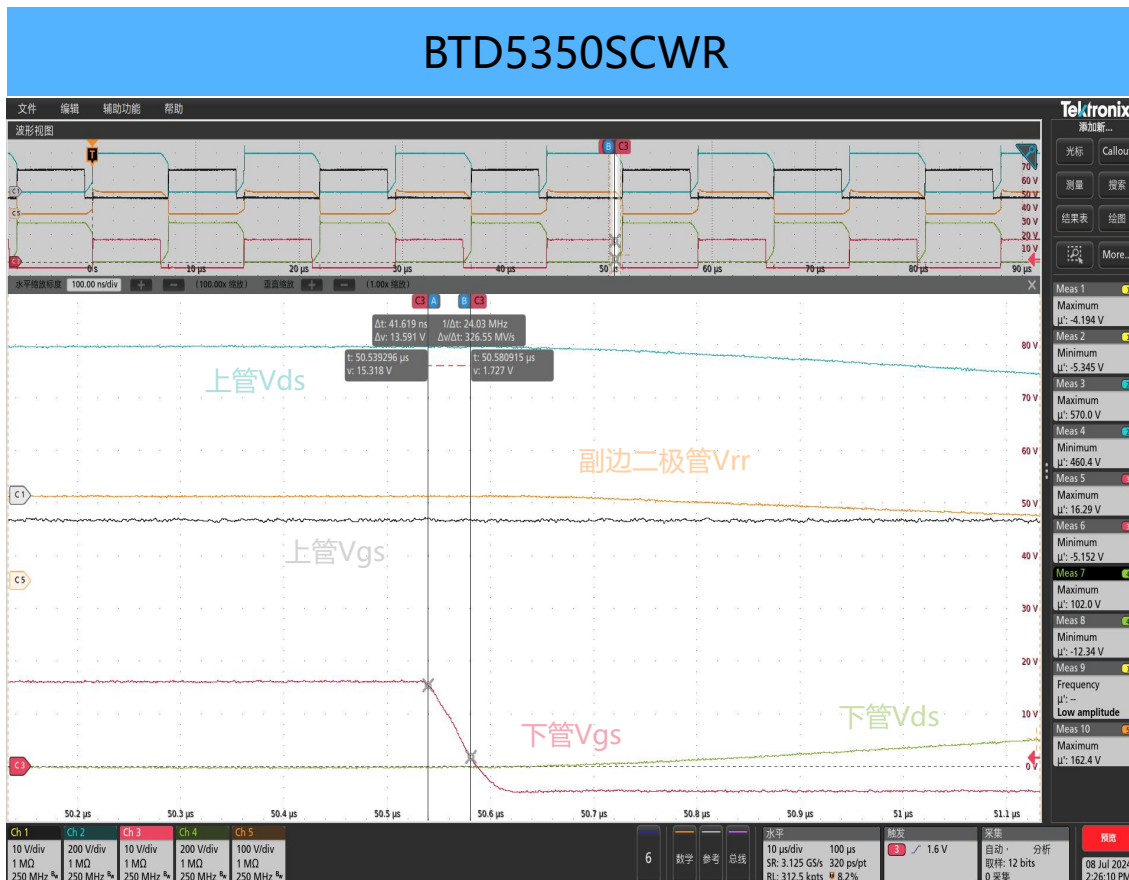
- 以Vgs波形为基准，电压上升时的Vgs在10%到90%之间的时间为上升时间。



测试条件：三相电电压380V，驱动电压-4V/+18V，负载电流0A

下管关断下降时间

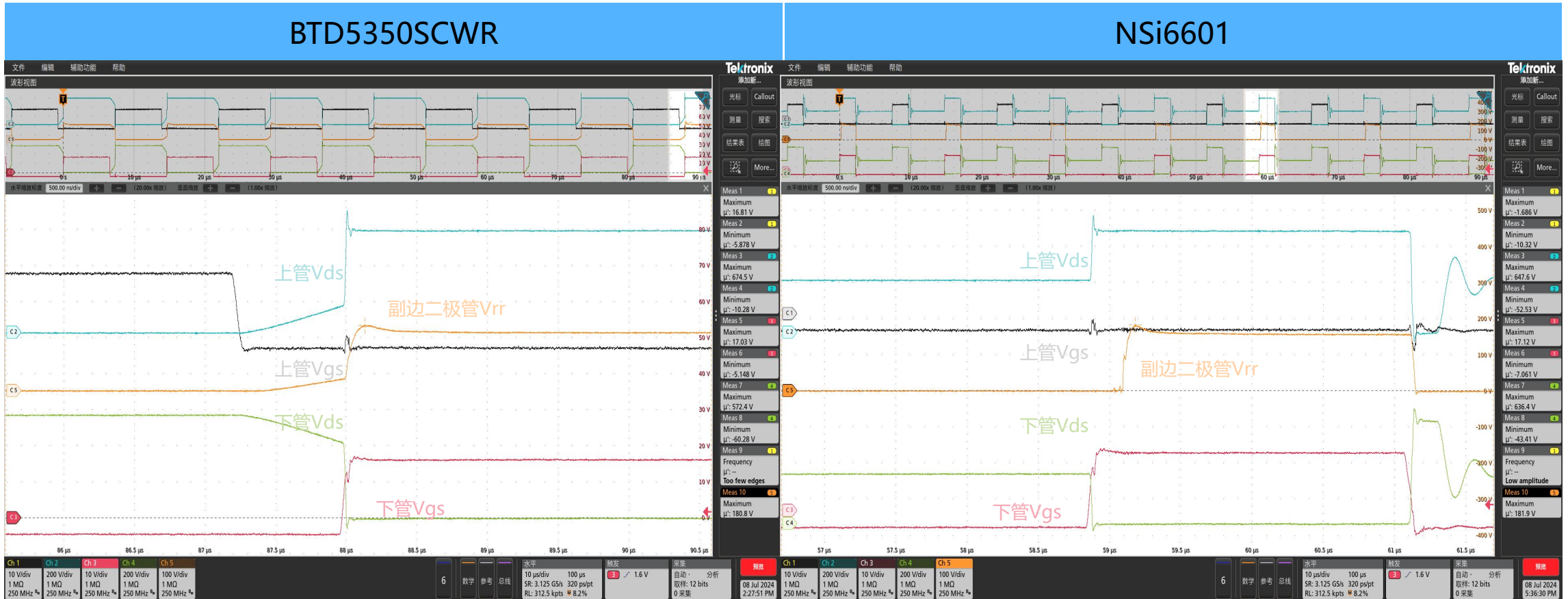
- 以V_{gs}波形为基准，电压下降时的V_{gs}在90%到10%之间的时间为下降时间。



测试条件：三相电电压380V，驱动电压-4V/+18V，负载电流0A

反向恢复电压尖峰

- 以次边VRR波形为准，最大尖峰电压值是二极管反向恢复电压尖峰。



二极管反向恢复电压尖峰 = 180.8V

二极管反向恢复电压尖峰 = 181.9V

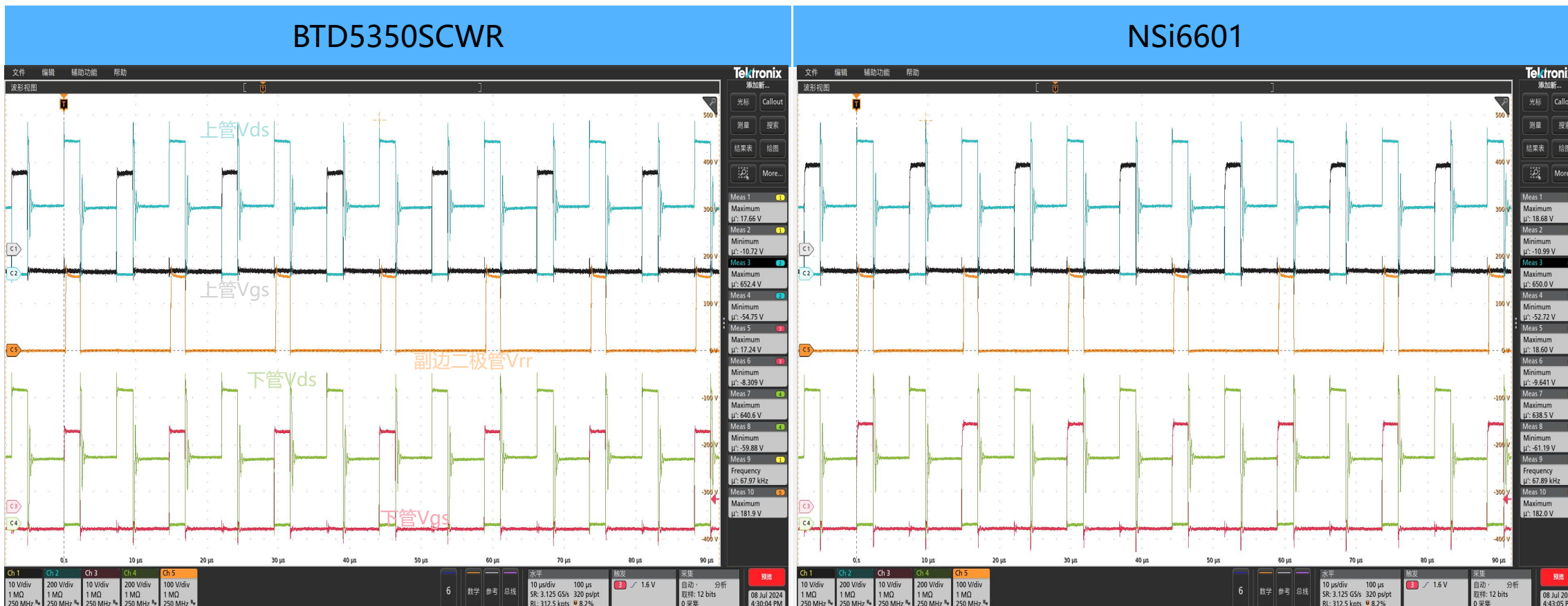
测试条件：三相电电压380V，驱动电压-4V/+18V，负载电流0A

06

焊机带载输出实测对比波形

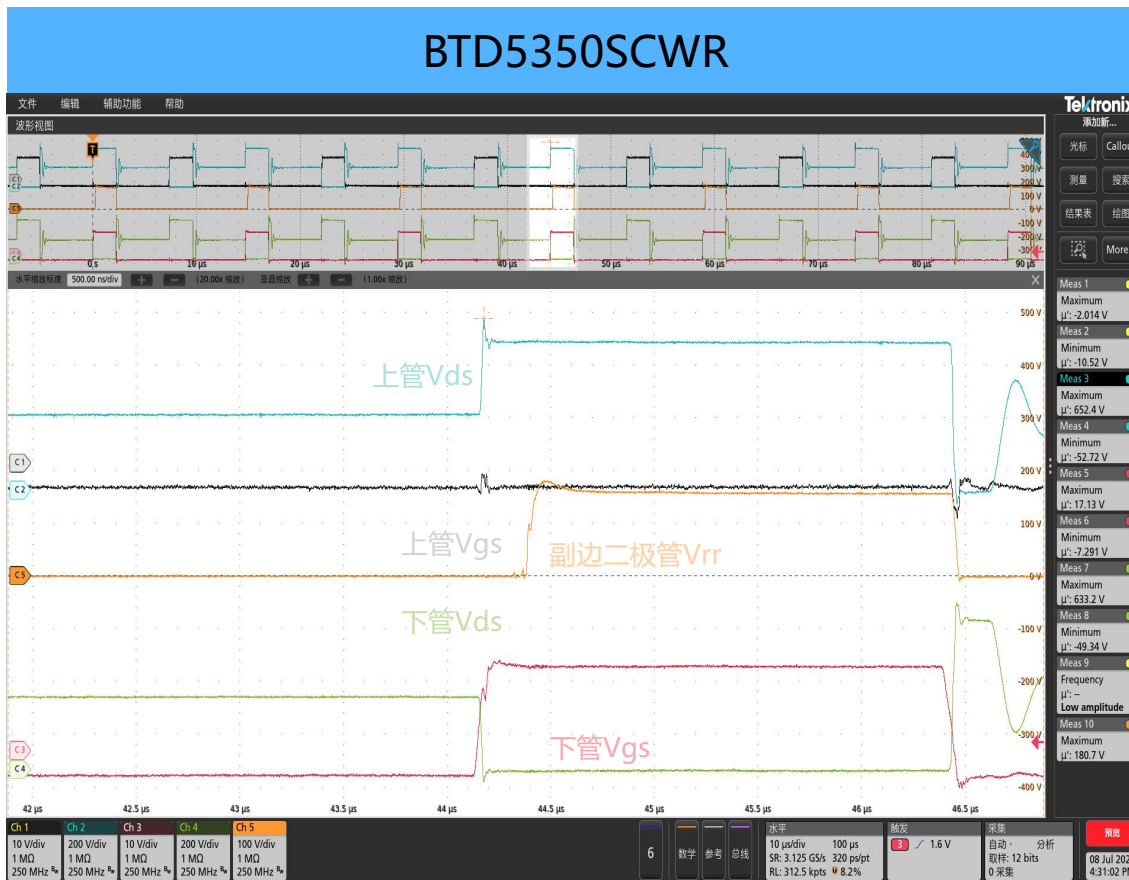


焊机输出 $I_{out}=250A$ // SiC MOSFET的 V_{gs} 和 V_{ds} 整体波形

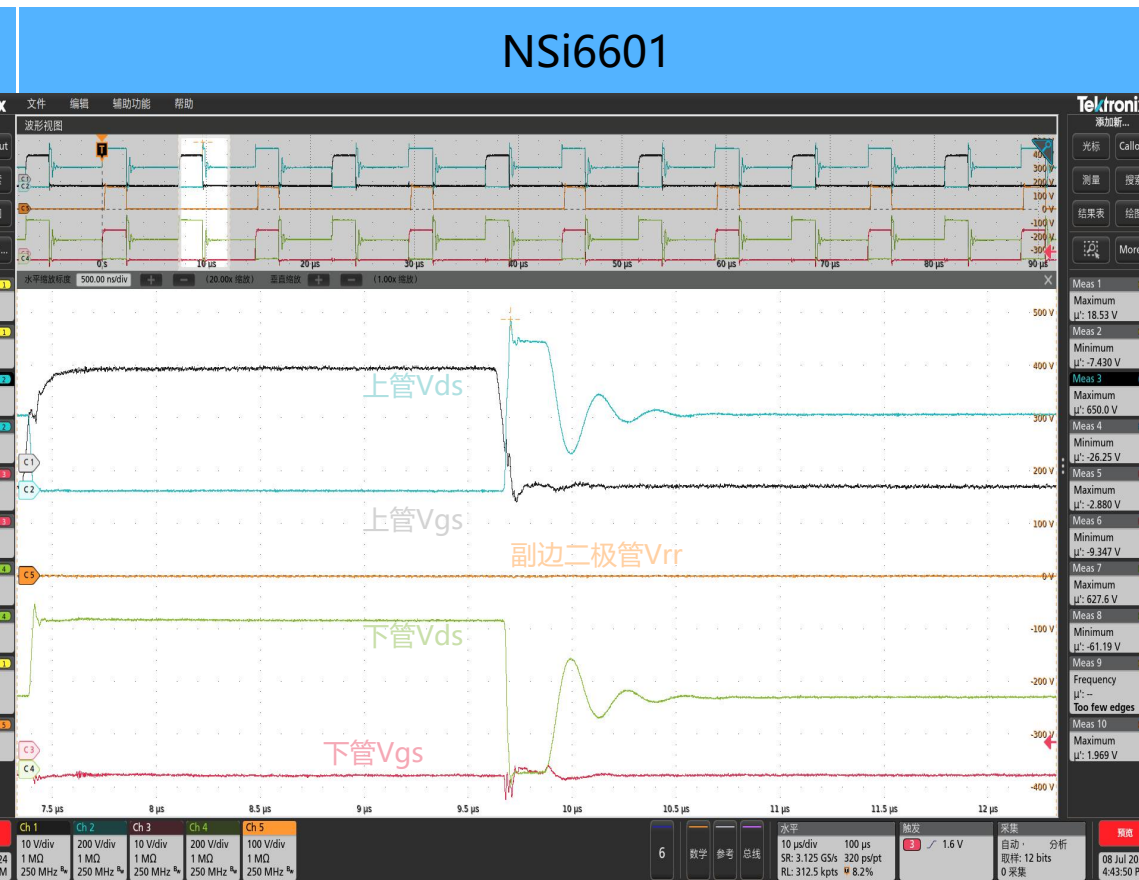


测试条件：三相电电压380V，驱动电压-4V/+18V，负载电流250A

TOP最大关断电压尖峰



关断电压尖峰=652.4V

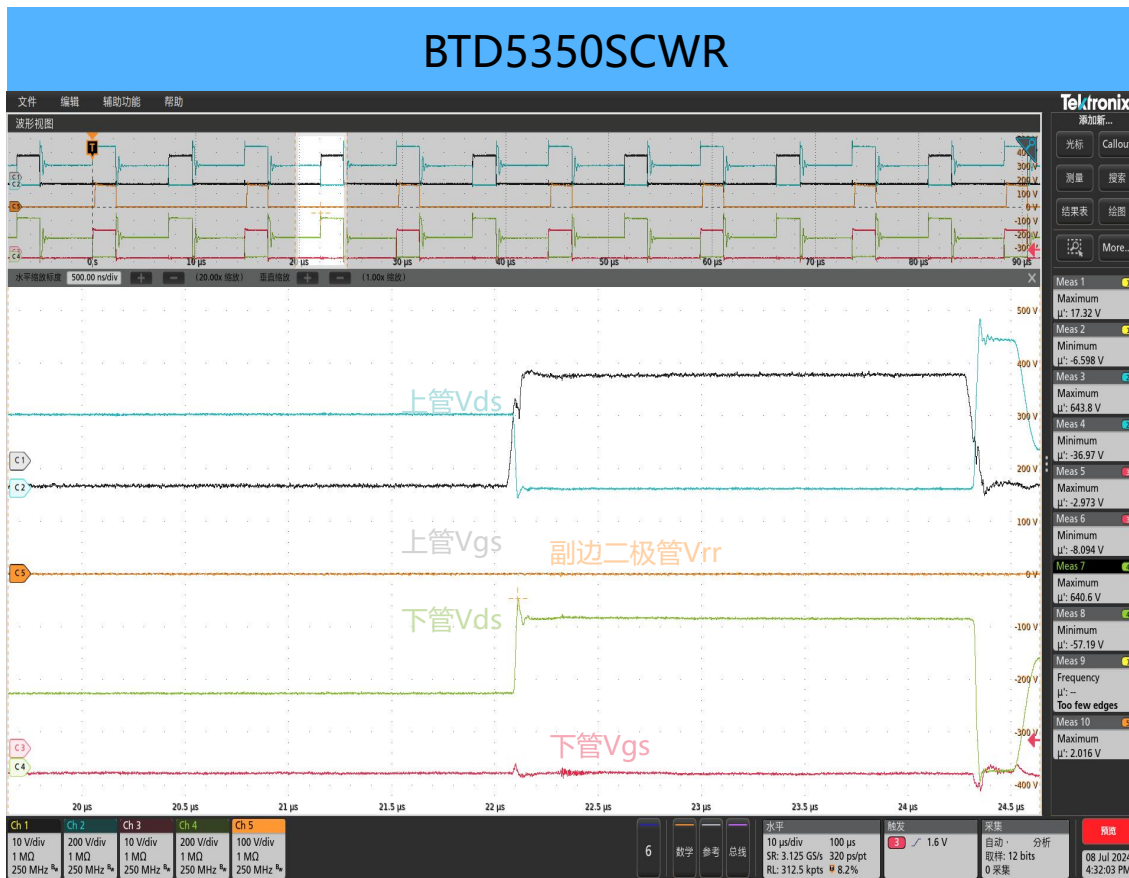


关断电压尖峰=650.0V

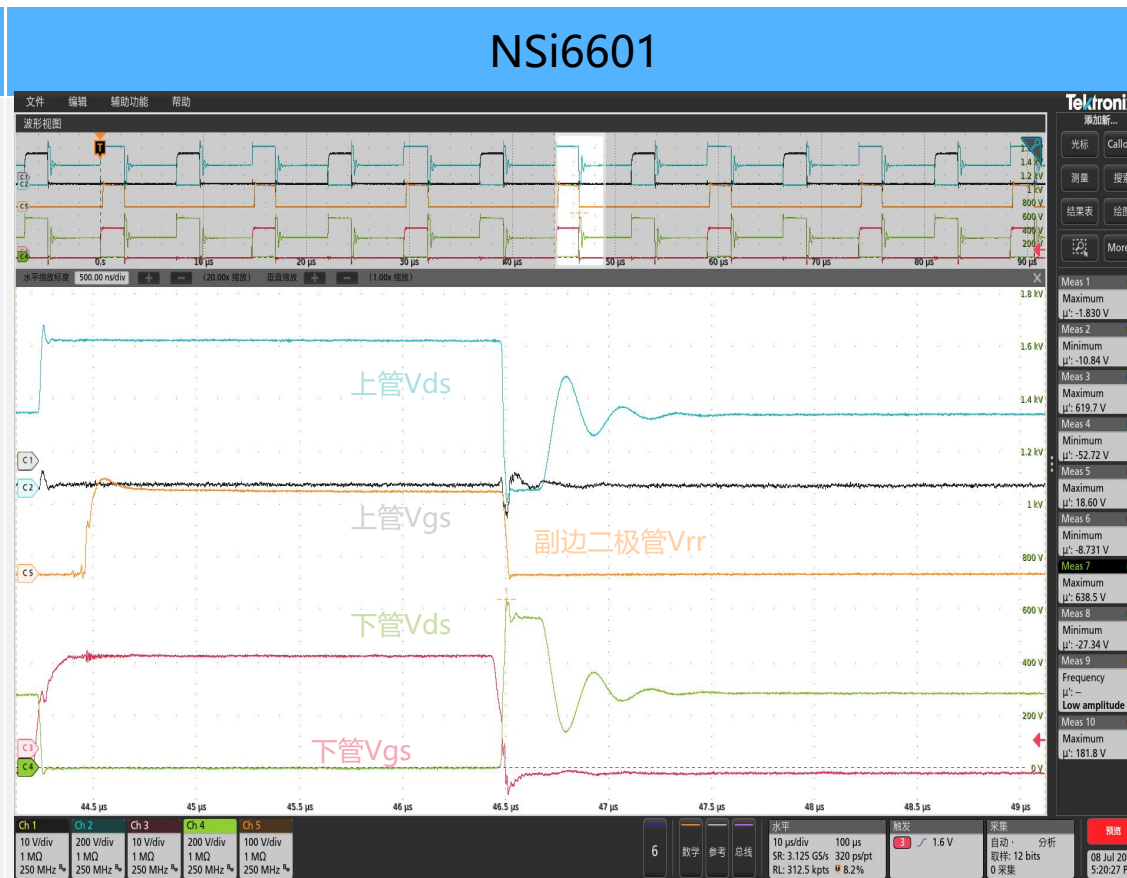
测试条件：三相电电压380V，驱动电压-4V/+18V，负载电流250A

下管DS关断电压尖峰

■ BOT最大关断电压尖峰



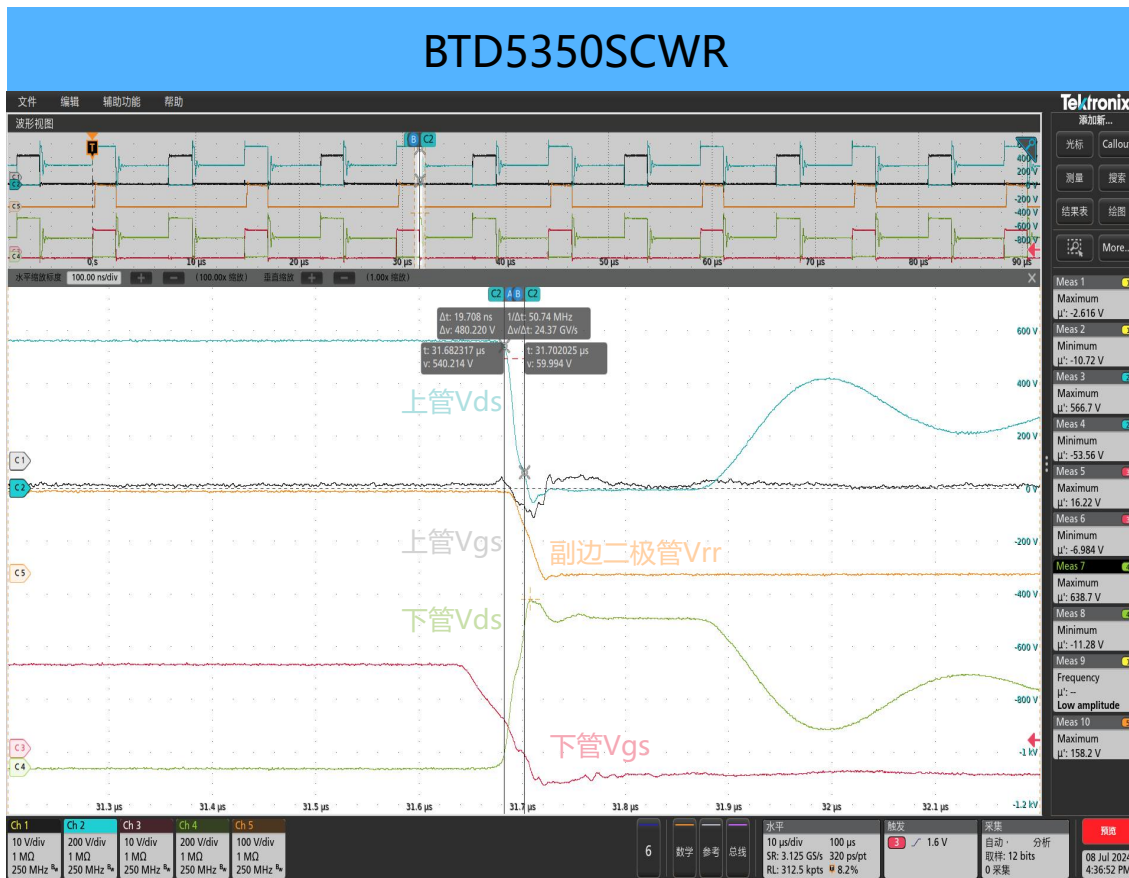
关断电压尖峰=640.6V



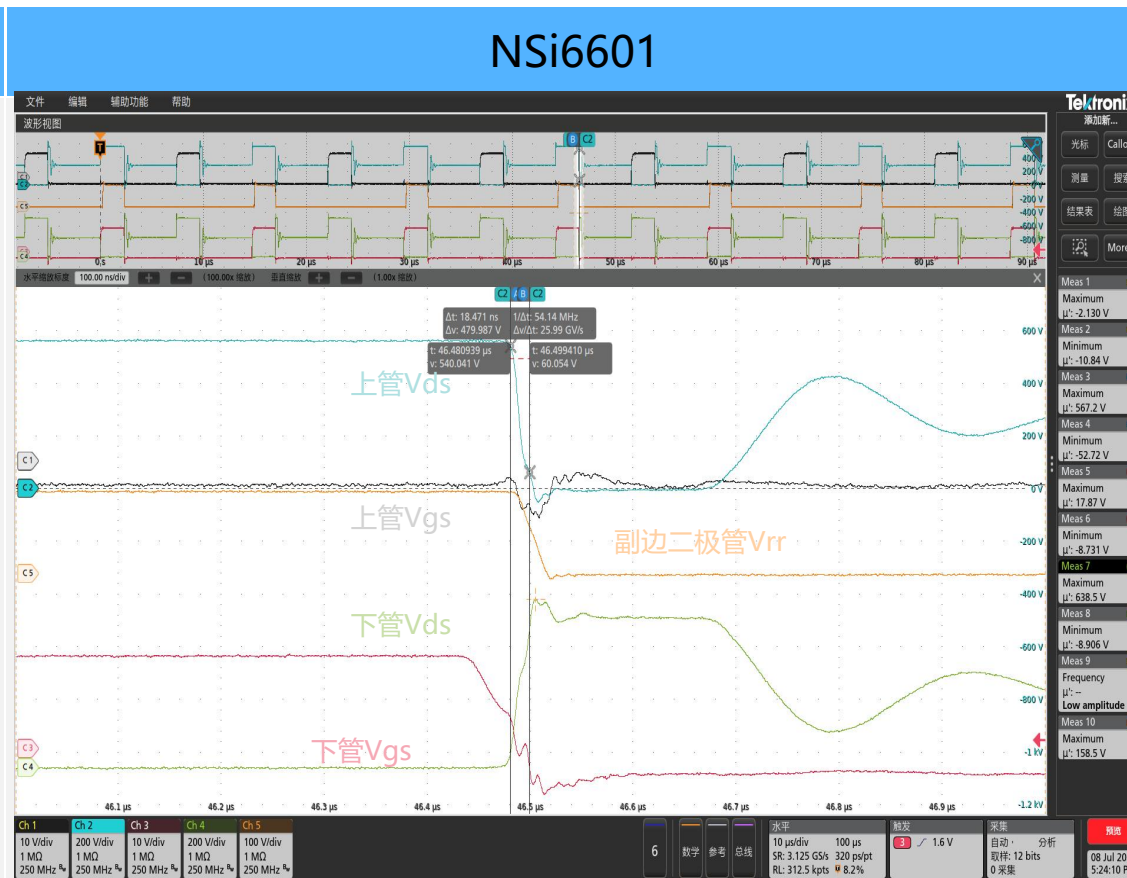
关断电压尖峰=638.5V

测试条件：三相电电压380V，驱动电压-4V/+18V，负载电流250A

- 以TOP Vds波形为基准，电压下降时的Vds在90%到10%之间的斜率为开通dv/dt。



TOP开通dv/dt=24.37kV/us

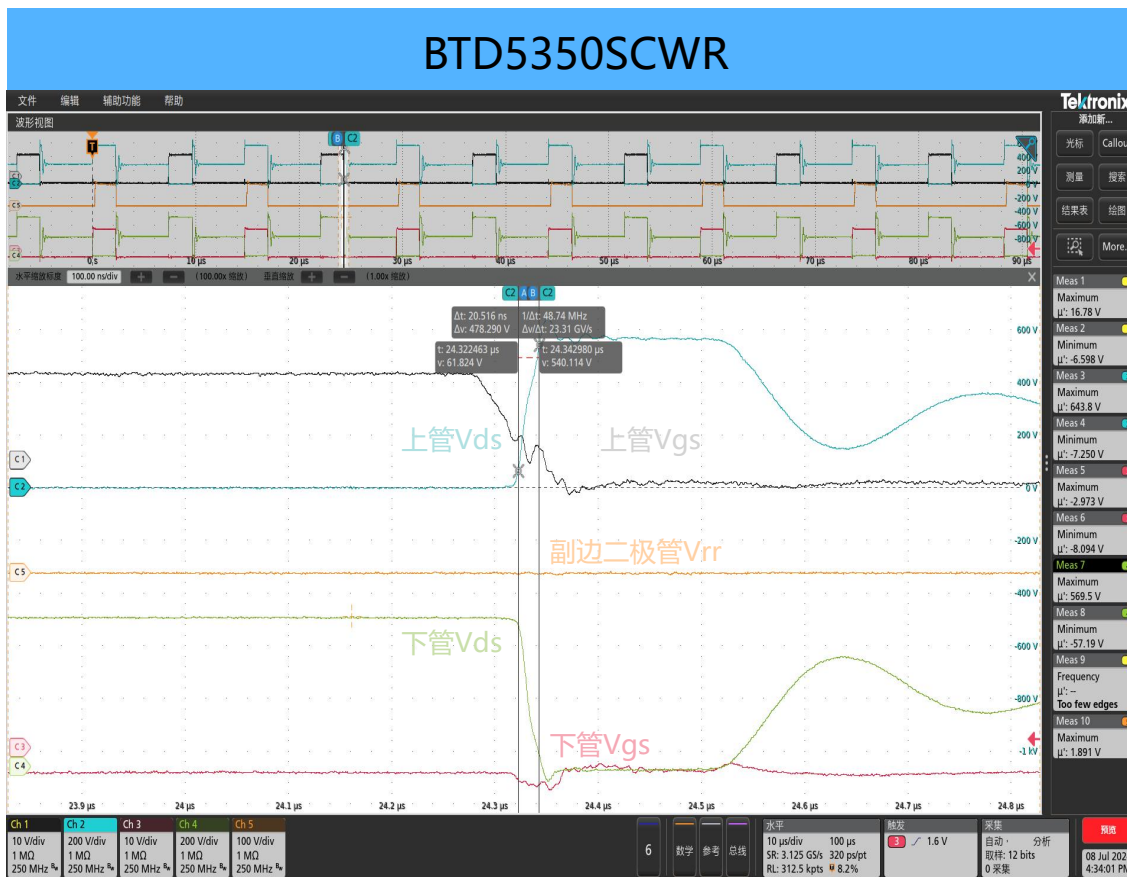


TOP开通dv/dt=25.99kV/us

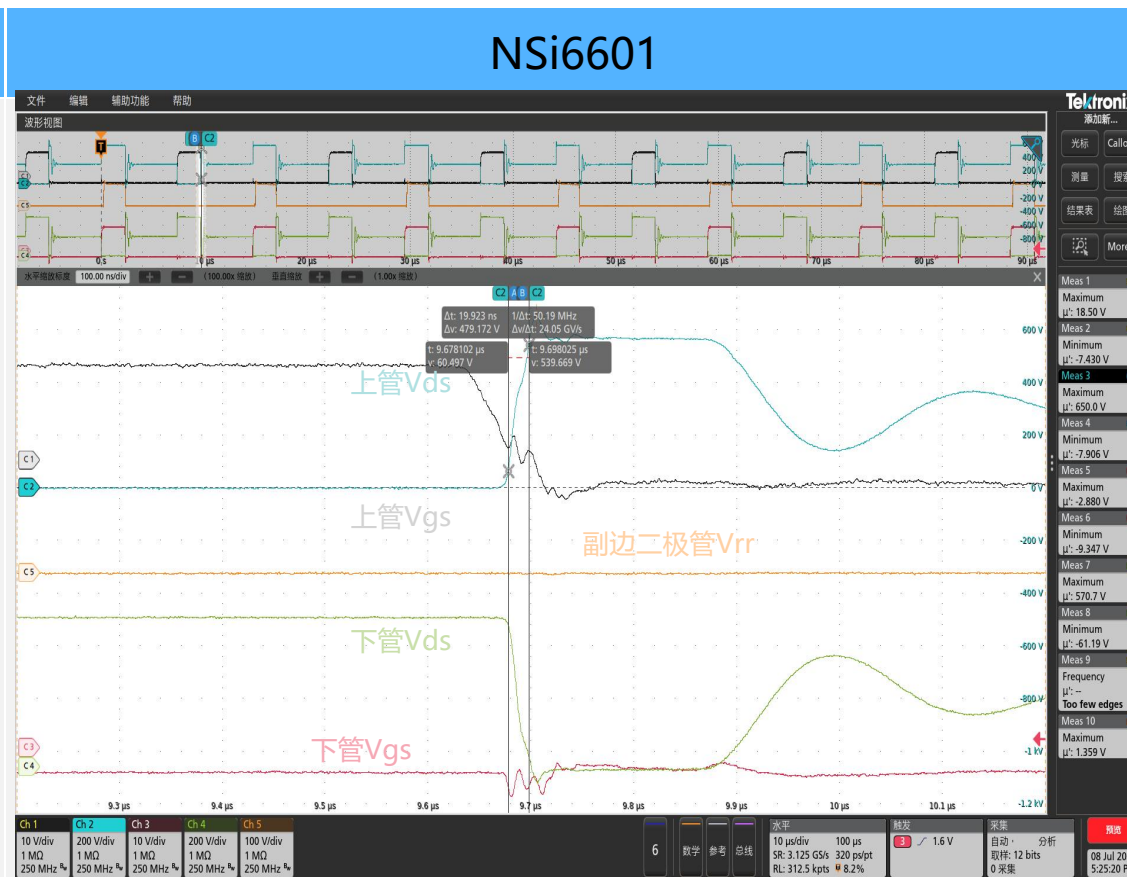
测试条件：三相电电压380V，驱动电压-4V/+18V，负载电流250A

下管DS关断dv/dt

- 以TOP Vds波形为基准，电压上升时的Vds在10%到90%之间的斜率为开通dv/dt。



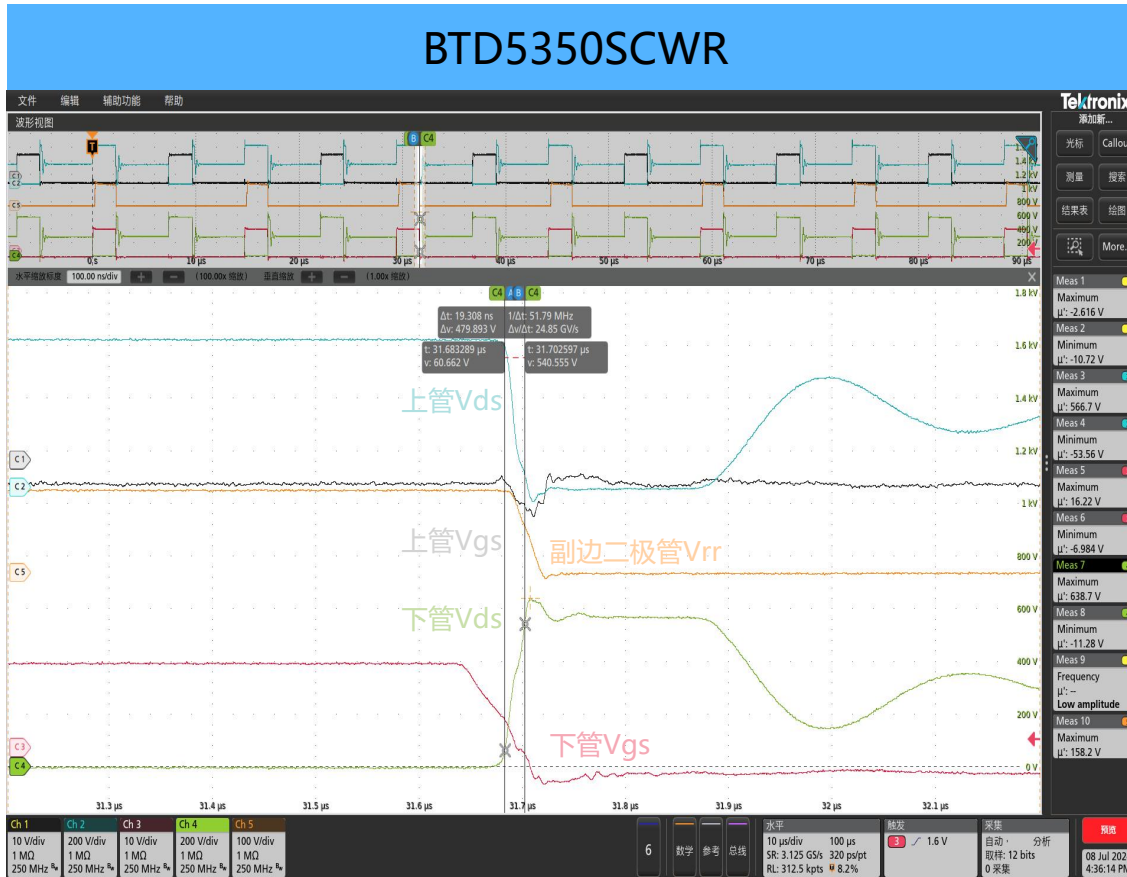
下管关断dv/dt=23.31kV/us



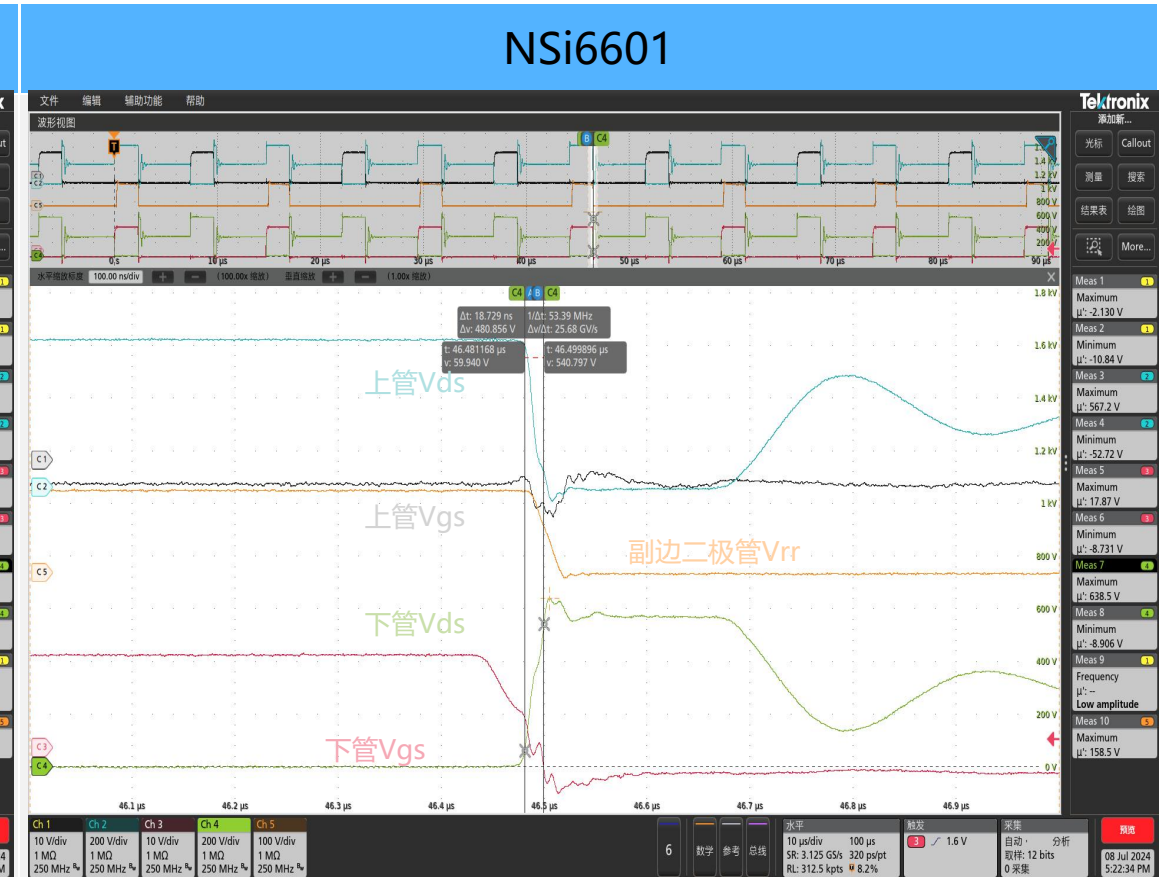
下管关断dv/dt=24.05kV/us

测试条件：三相电电压380V，驱动电压-4V/+18V，负载电流250A

- 以BOT Vds波形为基准，电压上升时的Vds在10%到90%之间的斜率为开通dv/dt。



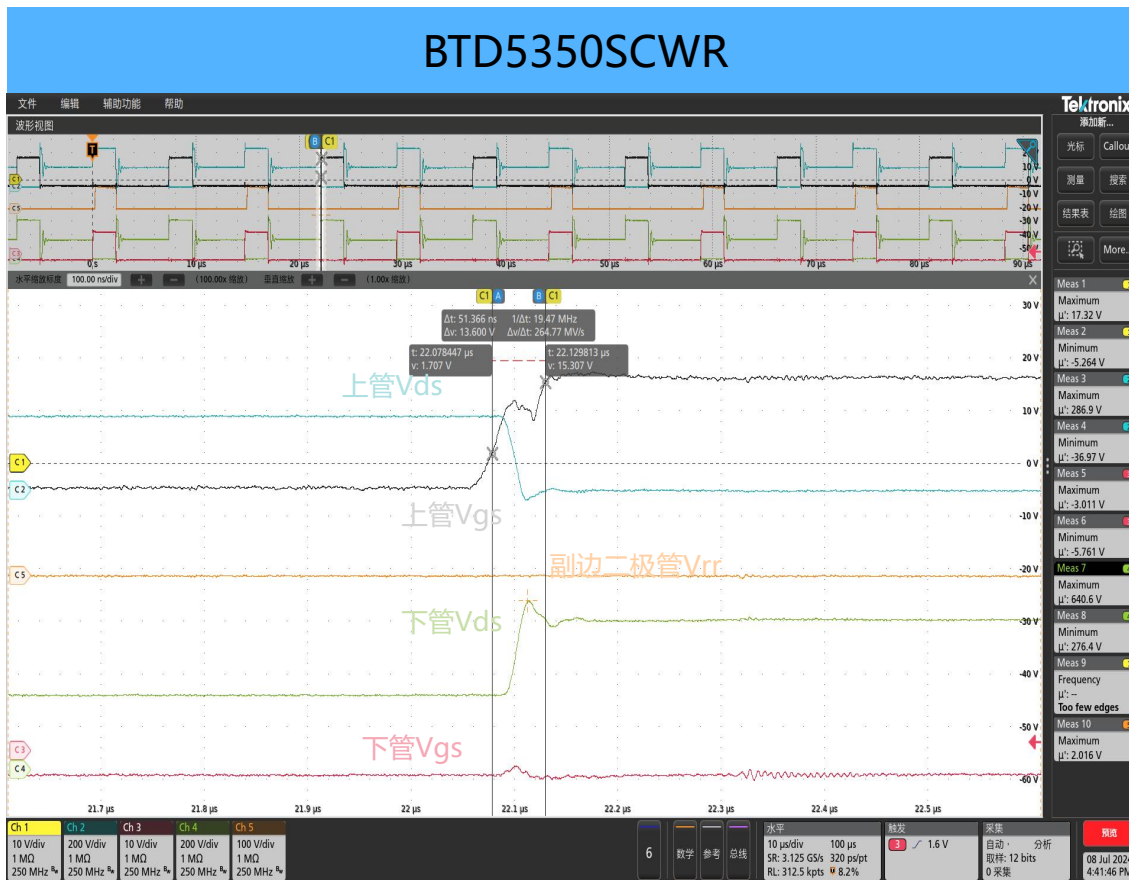
BOT关断dv/dt=24.85kV/us



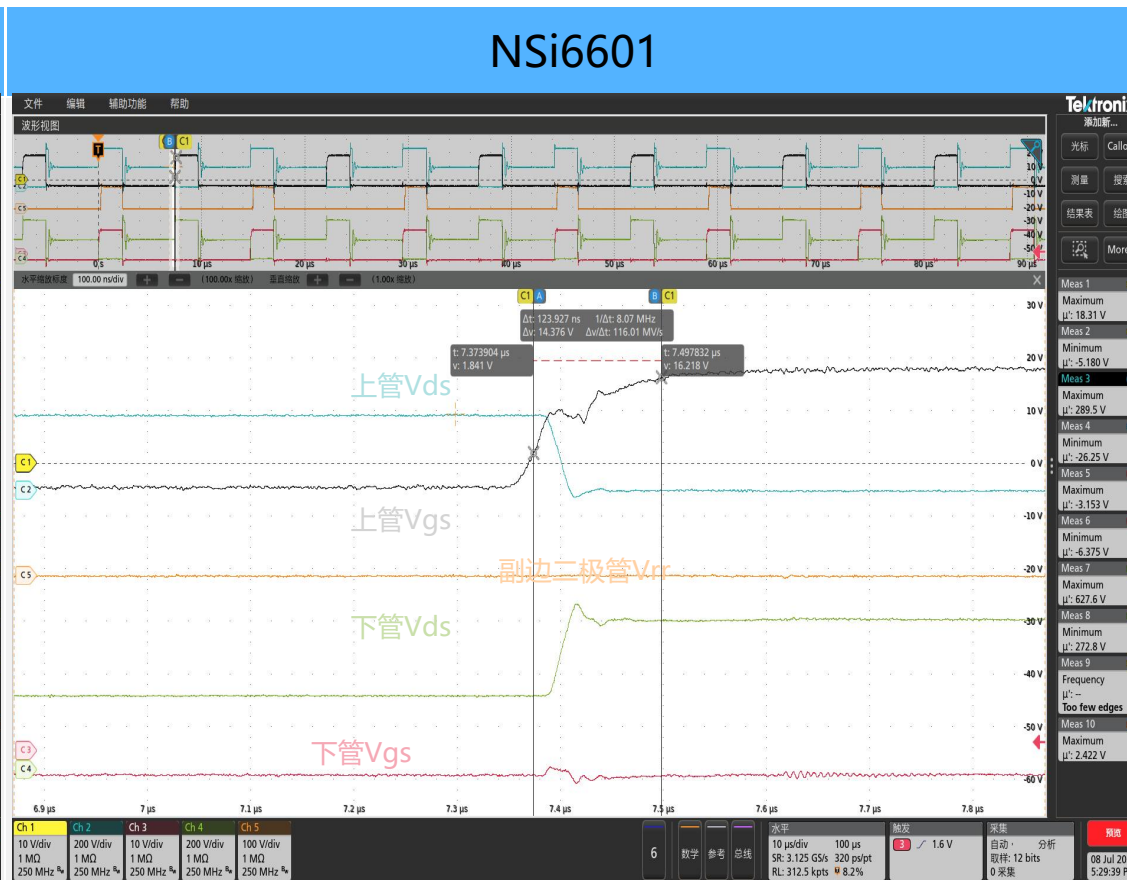
BOT关断dv/dt=25.68kV/us

测试条件：三相电电压380V，驱动电压-4V/+18V，负载电流250A

- 以V_{gs}波形为基准，电压上升时的V_{gs}在10%到90%之间的时间为上升时间。



上管V_{gs}上升时间=51.37ns

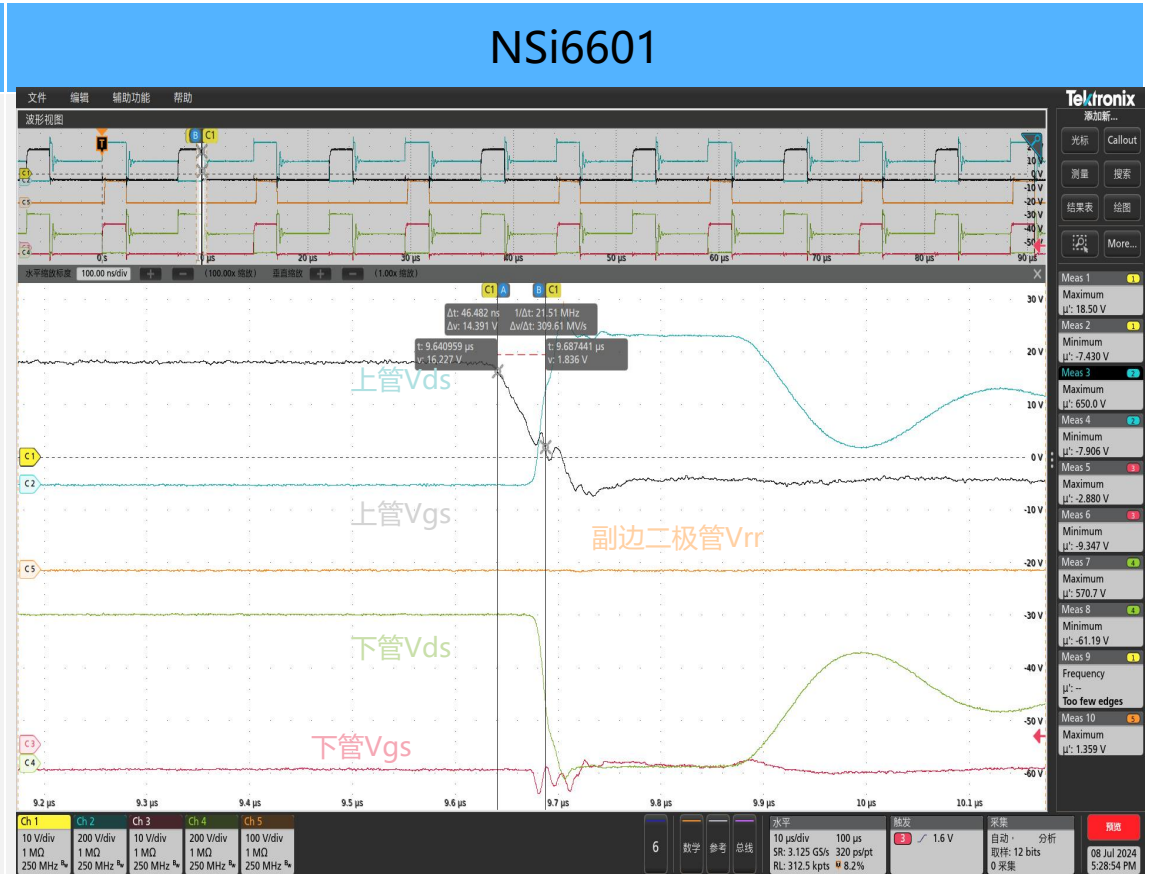
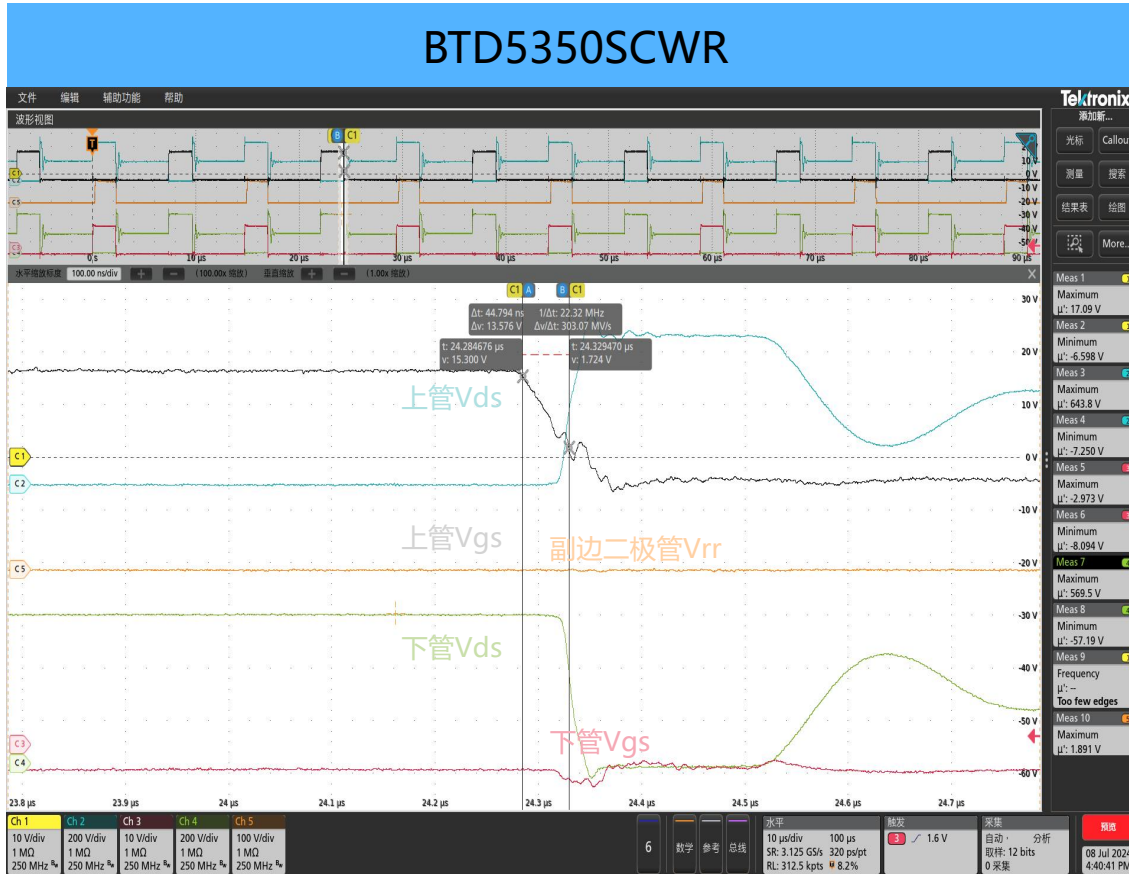


上管V_{gs}上升时间=123.9ns

测试条件：三相电电压380V，驱动电压-4V/+18V，负载电流250A

上管GS下降时间

- 以V_{gs}波形为基准，电压下降时的V_{gs}在90%到10%之间的时间为下降时间。



测试条件：三相电电压380V，驱动电压-4V/+18V，负载电流250A

下管Vgs开通上升时间

- 以Vgs波形为基准，电压上升时的Vgs在10%到90%之间的时间为上升时间。



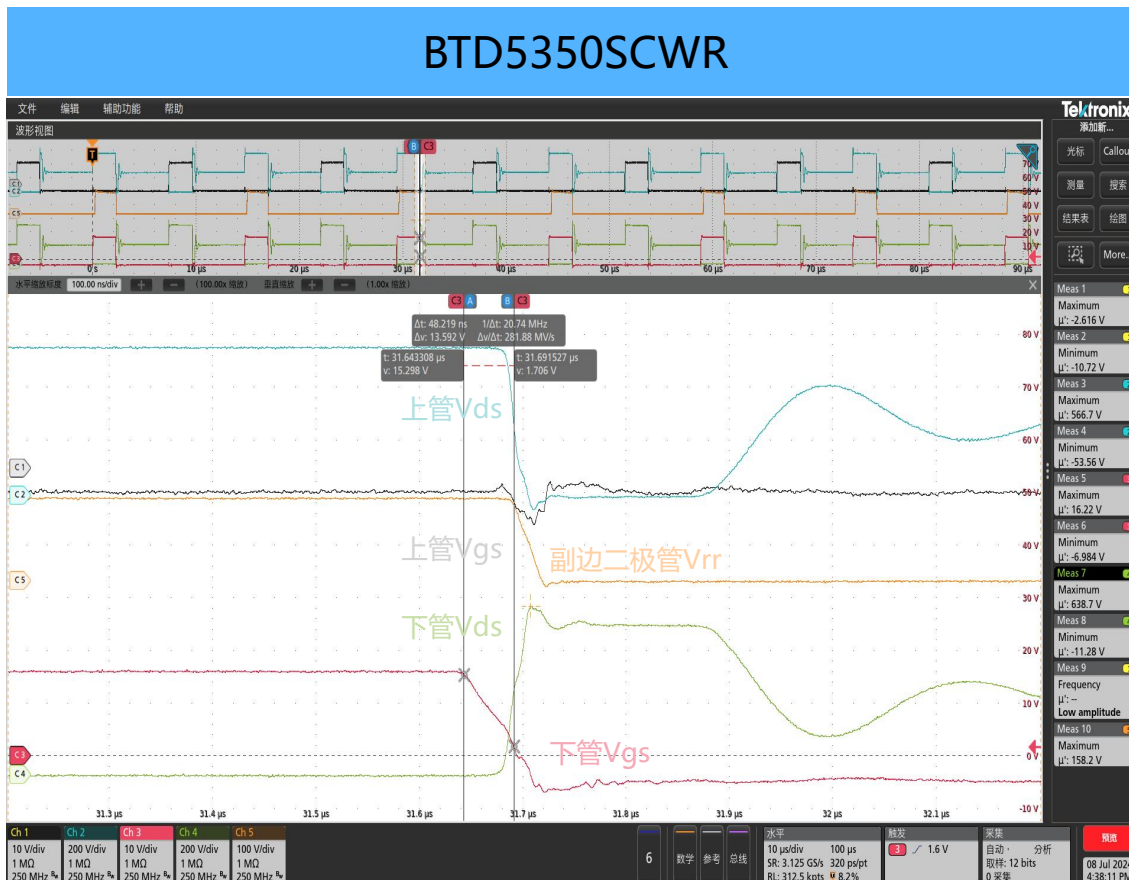
下管Vgs开通上升时间=51.18ns

下管Vgs开通上升时间=125.3ns

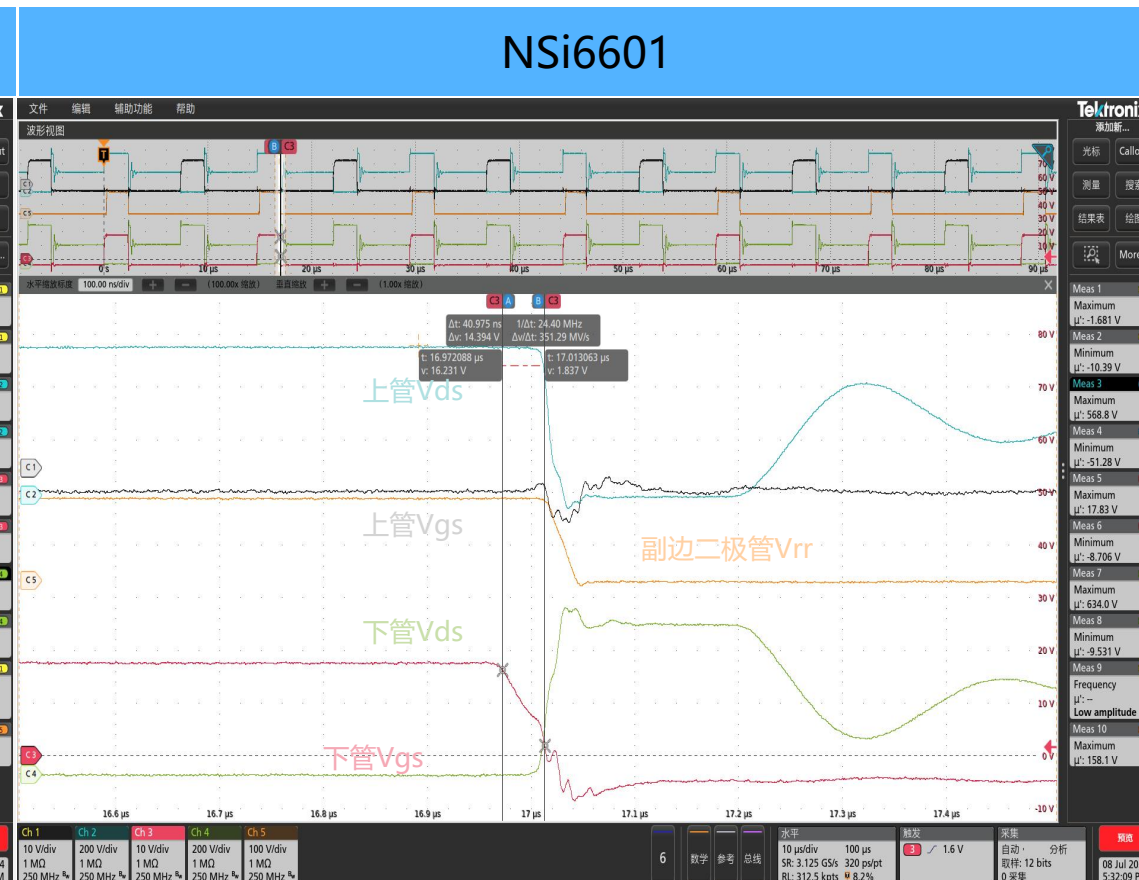
测试条件：三相电电压380V，驱动电压-4V/+18V，负载电流250A

下管GS关断下降时间

- 以V_{gs}波形为基准，电压下降时的V_{gs}在90%到10%之间的时间为下降时间。



下管V_{gs}关断下降时间=48.22ns

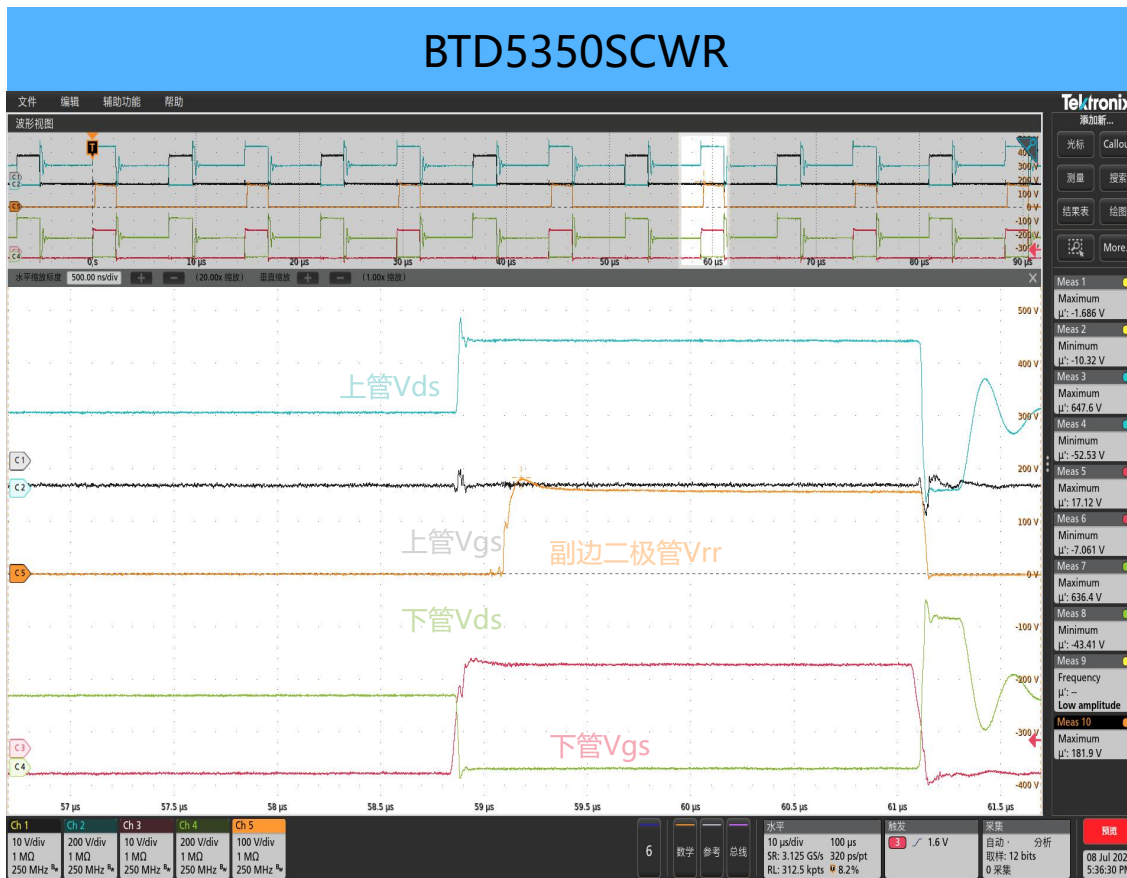


下管V_{gs}关断下降时间=40.98ns

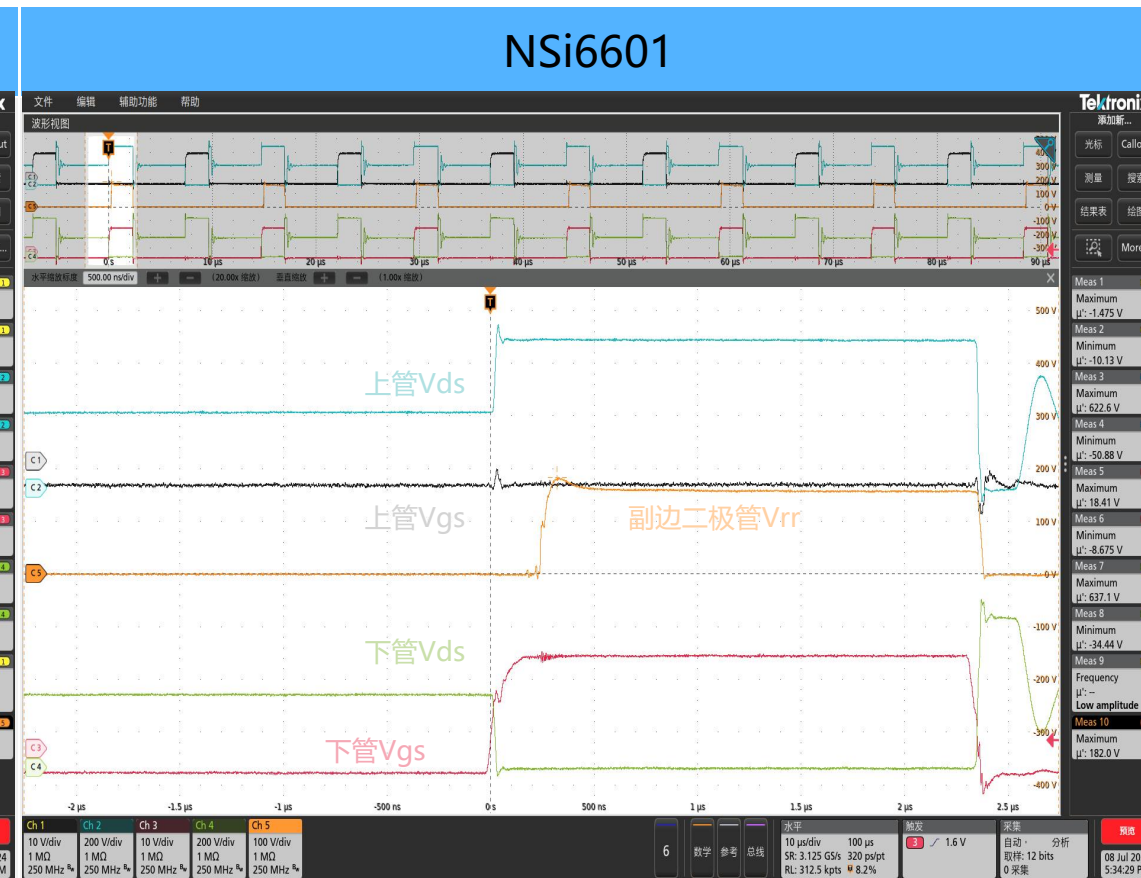
测试条件：三相电电压380V，驱动电压-4V/+18V，负载电流250A

反向恢复电压尖峰

- 以次边VRR波形为准，最大尖峰电压值是二极管反向恢复电压尖峰。



二极管反向恢复电压尖峰 = 181.9V



二极管反向恢复电压尖峰 = 182.0V

测试条件：三相电电压380V，驱动电压-4V/+18V，负载电流250A



BASiC – Vision For A Leading
Innovative SiC Company

