

SW12400（开关参数测试方案介绍）

1. 双脉冲测试原理框图以及测试规格
2. 二极管反向恢复TRR测试测试规格
3. 短路Isc测试规格
4. IGBT样本（IKW40N120H3FKSA1）测试参数
5. SiC样本（CI60N120SM）测试参数



SW12400

+

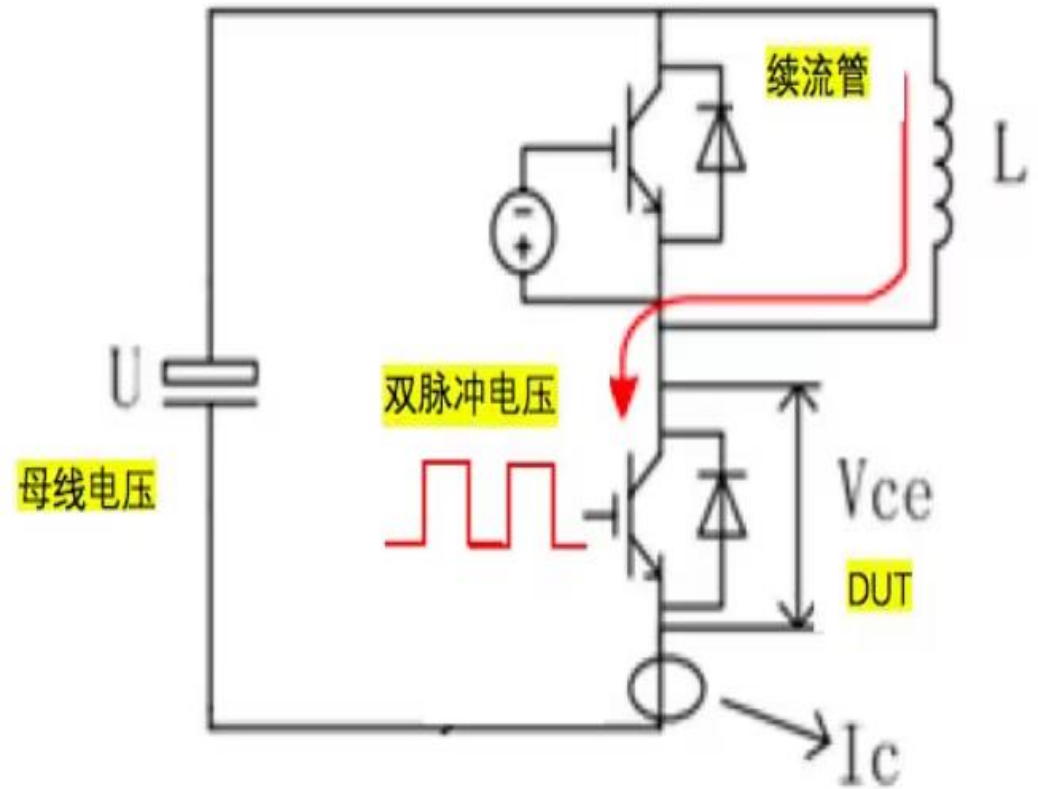


STT-700X

1.双脉冲测试原理框图

我们的方案采用感性负载的方式来
进行测试，陪测管始终保持关断，
给待测管DUT的驱动施加两个脉冲信
号，分别使用高压探头和电流探头
采集待测管相关波形，从而测试待
测管DUT的开关参数。

注：二极管反向恢复时间TRR和短路电流测试采用类似原理图。



双脉冲测试规格

测试名称	测试参数	测试范围	测量精度	测试条件
双脉冲（感性负载，开通、关断特性）	Tdon导通延时时间	5~10000ns	Vds: $\pm 2\%$ Ids: $\pm 4\%$ Vgs: $\pm 1.5\%$ L-Load: 20uH、50uH、100uH、 200uH、500uH、1mH 稳定度: $\pm 3\%$ ^[1]	Vdc: 50~1200V Ids(Ice): 5~400A L-Load: 20uH、50uH、100uH、200uH、 500uH、1mH 栅极驱动电压范围: Vge(Vgs) ON: 0~20V Vge(Vgs) OFF: -20~0V 栅极驱动电阻范围: Rg ON: 0~255ohm, 步进1ohm, 精度1% Rg OFF: 0~255ohm, 步进1ohm, 精度1% 1st on time: 1~1000 μ s, 分辨率0.1 μ s 1st off time: 1~100 μ s, 分辨率0.1 μ s 2nd on time: 1~100 μ s, 分辨率0.1 μ s
	Tr上升时间	5~10000ns		
	Ton开通时间	5~10000ns		
	Imax峰值电流	400A		
	Eon开通损耗	1~1000000 μ J		
	Di/Dton开通电流斜率	0.01~100KA/ μ s		
	Dv/Dton开通电压斜率	0.01~100KA/ μ s		
	Vmax1第1次关断过冲电压	50~1200V		
	Vmax2第2次关断过冲电压	50~1200V		
	Tdoff关断延时时间	5~10000ns		
	Tf下降时间	5~10000ns		
	Toff关断时间	5~10000ns		
	Eoff关断损耗	1~1000000 μ J		
	Di/Dtoff关断电流斜率	0.01~100KA/ μ s		
Dv/Dtoff关断电压斜率	0.01~100KA/ μ s			

[1] 测试夹具接触良好，使用力科HDO6054B示波器在实验室环境下统计得出

2.二极管反向恢复TRR测试规格

测试名称	测试参数	测试范围	测量精度	测试条件
反向恢复特性 (感性负载)	Irr反向恢复电流	400A	Vds: $\pm 2\%$ Ids: $\pm 4\%$ Vgs: $\pm 1.5\%$ L-Load: 20uH、50uH、100uH、200uH、500uH、1mH 稳定性: $\pm 3\%$ [1]	Vdc: 50~1200V Ids(Ice): 5~400A L-Load: 20uH、50uH、100uH、200uH、500uH、1mH 栅极驱动电压范围: Vge(Vgs) ON: 0~20V Vge(Vgs) OFF: -20~0V 栅极驱动电阻范围: Rg ON: 0~255ohm, 步进1ohm, 精度1% Rg OFF: 0~255ohm, 步进1ohm, 精度1% 1st on time: 1~1000 μ s, 分辨率0.1 μ s 1st off time: 1~100 μ s, 分辨率0.1 μ s 2nd on time: 1~100 μ s, 分辨率0.1 μ s
	Trr反向恢复时间	5~10000ns		
	Qrr恢复电荷	0.001~100 μ C		
	Erec反向恢复损耗	1~1000000 μ J		
	IFM正向电流	400A		

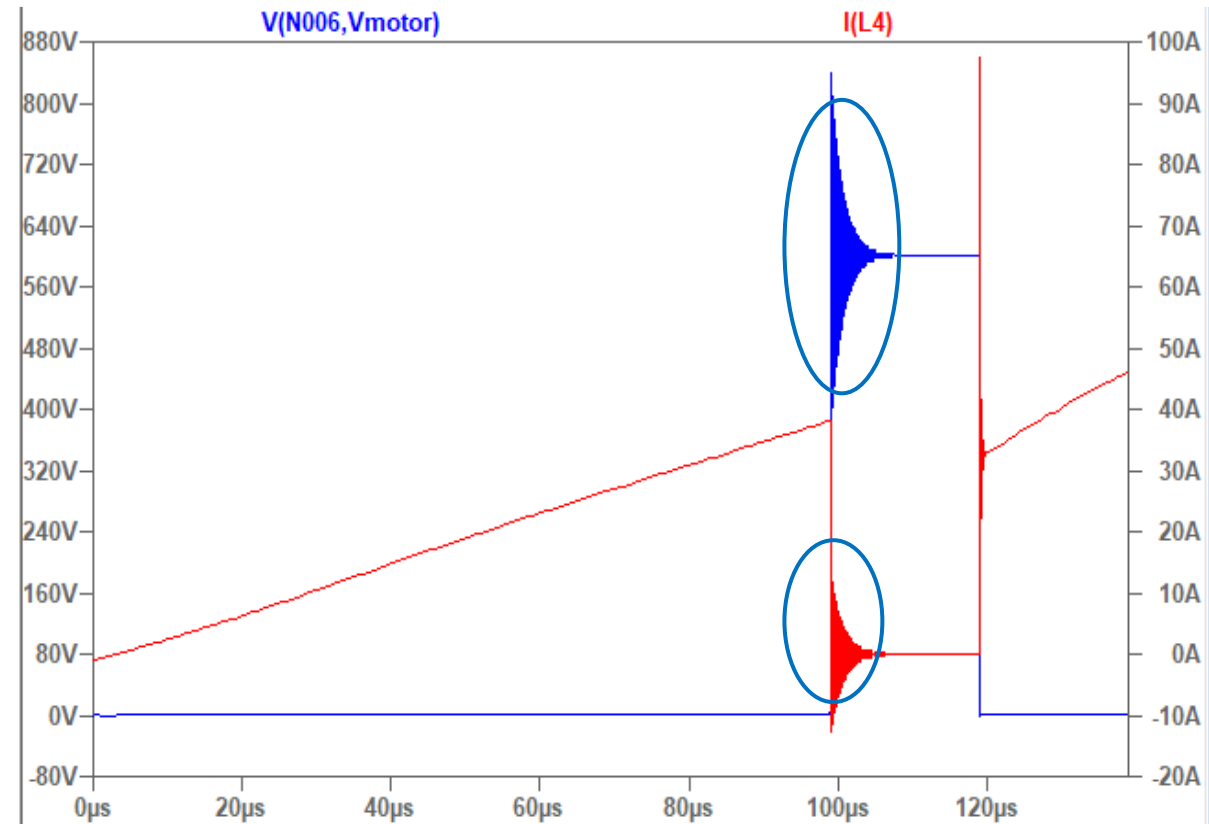
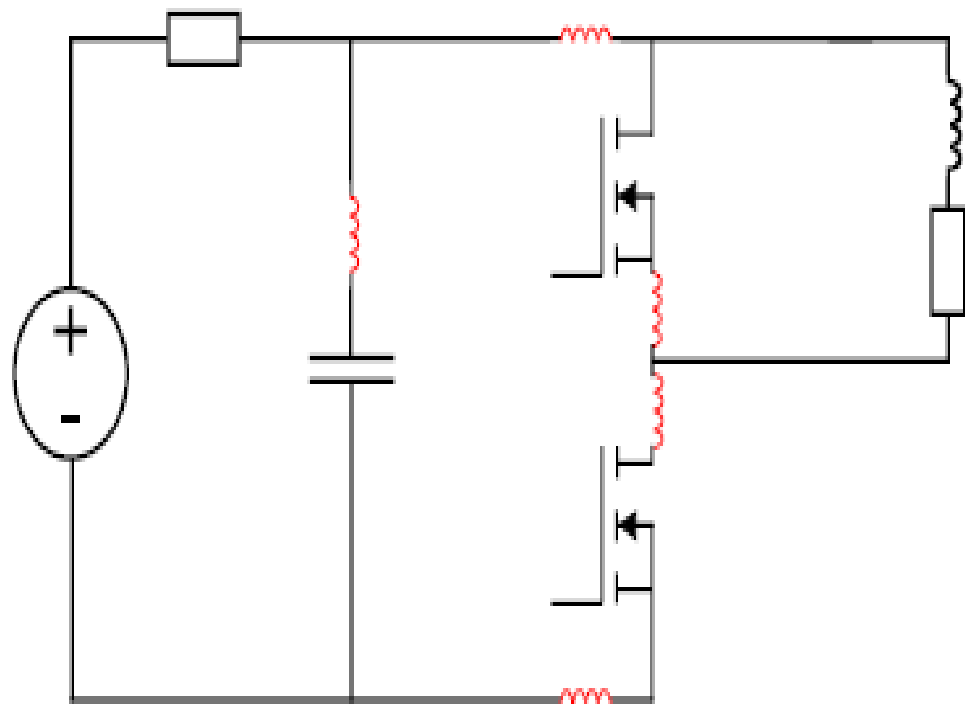
[1] 测试夹具接触良好, 使用力科HDO6054B示波器在实验室环境下统计得出

3.短路Isc测试规格

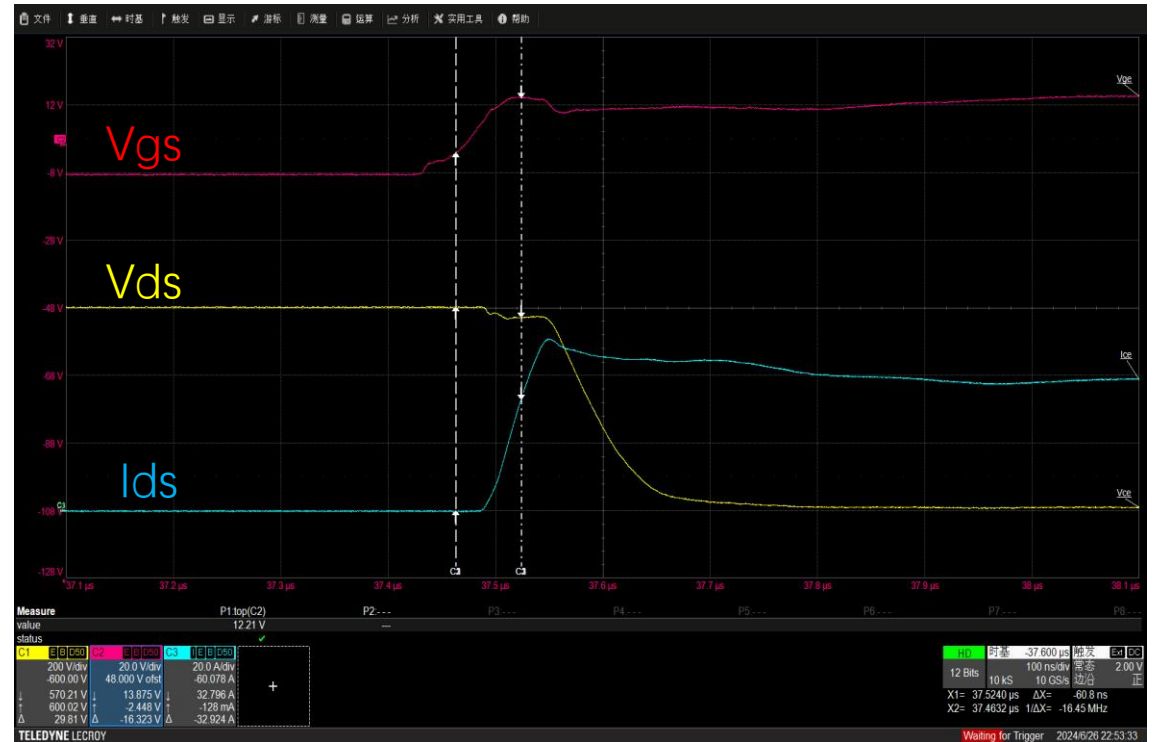
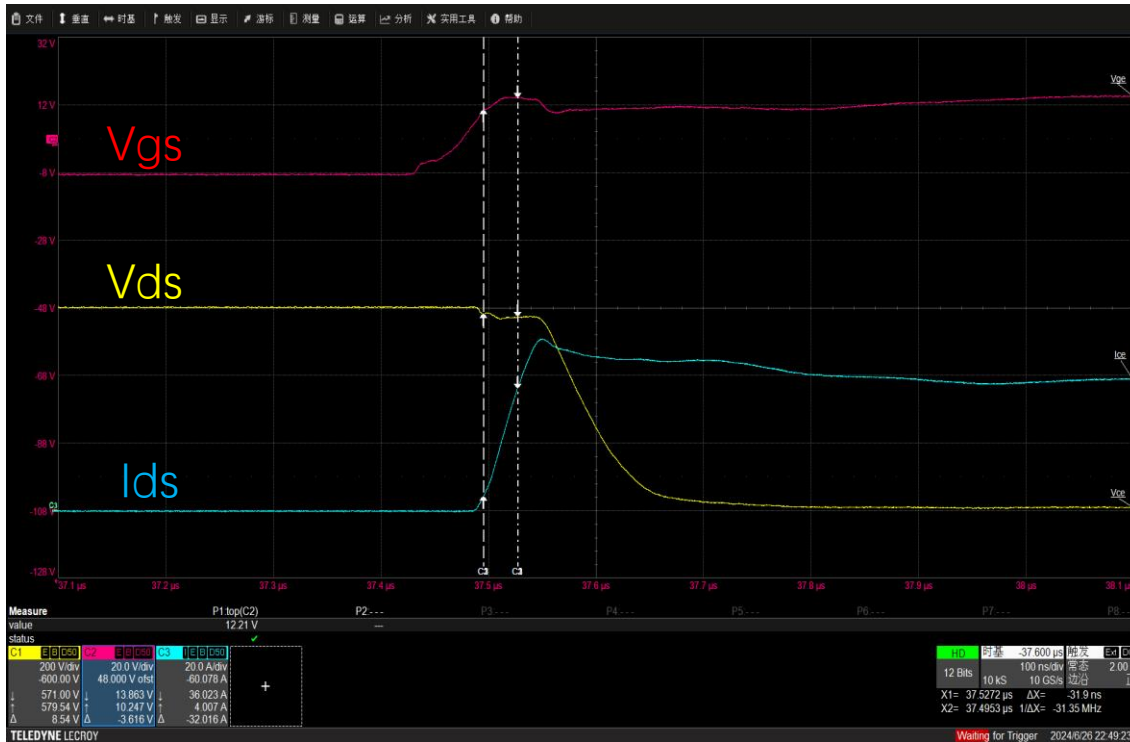
测试名称	测试参数	测试范围	测量精度	测试条件
短路测试	I _{max} 最大短路电流	1000A	V _{ds} : ±2% I _{ds} : ±4% V _{gs} : ±1.5% 稳定度: ±3% ^[1]	V _{dc} : 50~1200V I _{ds} (I _{ce}): Max 1000A 栅极驱动电压范围: V _{ge} (V _{gs}) ON: 0~20V V _{ge} (V _{gs}) OFF: -20~0V 栅极驱动电阻范围: R _g ON: 0~255ohm, 步进1ohm, 精度1% R _g OFF: 0~255ohm, 步进1ohm, 精度1% 1st on time: 1~10μs, 分辨率0.1μs
	V _{max} 关断峰值电压	50~1200V		
	T _{sc} 短路时间	1~10us		

[1] 测试夹具接触良好, 使用力科HDO6054B示波器在实验室环境下统计得出

测试回路的寄生效应影响测试精准度，对于开关参数，杂感的影响比较大。



测试回路杂散电感评估



根据IGBT第二次开通过程中的波形，我们可以根据计算杂散电感的公式 $U_s = L_s \cdot (di/dt)$ 计算得到整个主回路的杂散电感是**29.81nH**。

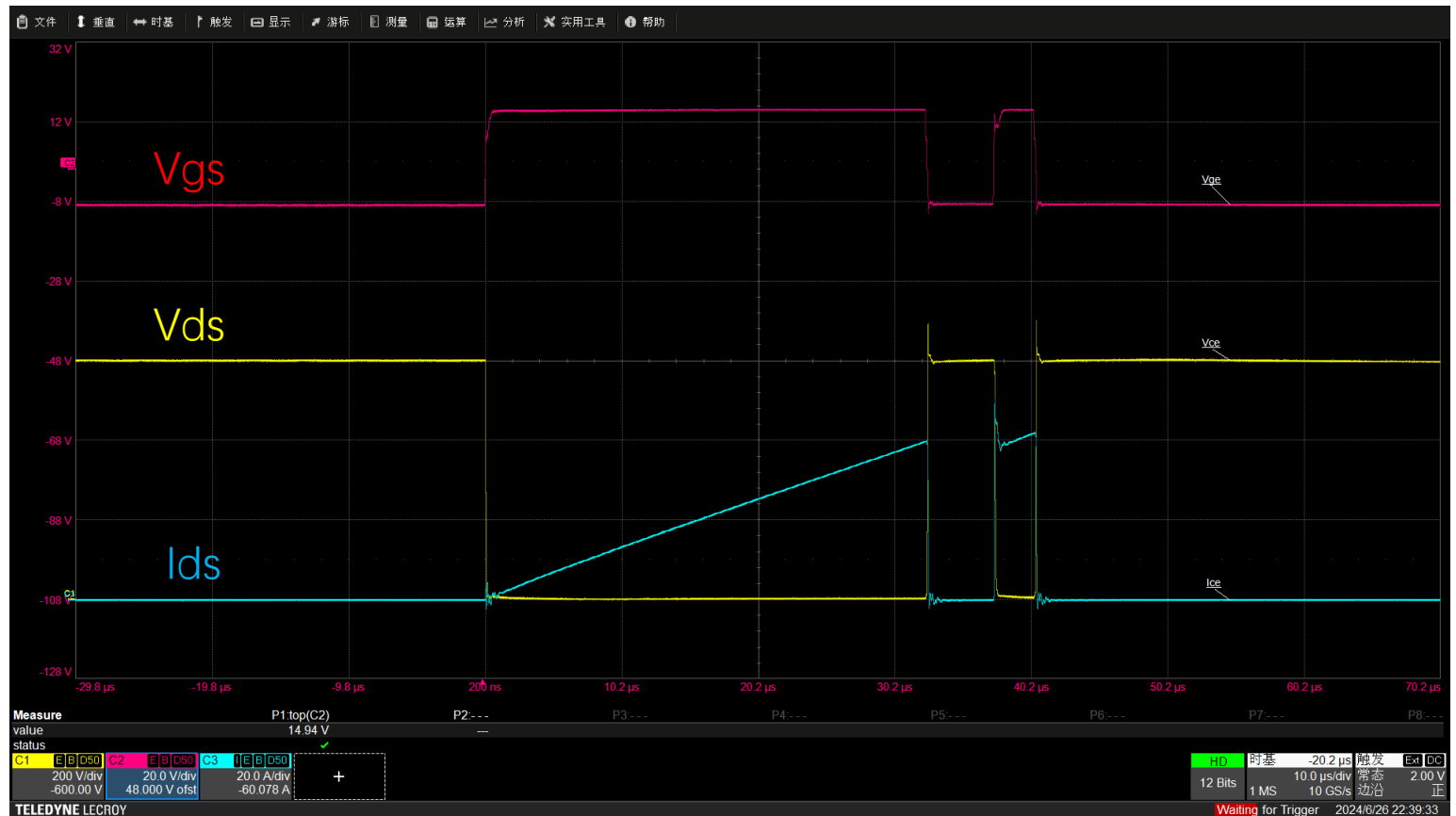
4. IGBT样本开关测试参数 (IKW40N120H3FKSA1)

右图完整地展示了IGBT待测管DUT在双脉冲测试过程中各个参数的状态：

红线：栅极电压 V_{gs} ；

黄线：源漏电压 V_{ds} ；

蓝线：源漏电流 I_{ds} 。



4.1. IGBT样本开关测试参数 (IKW40N120H3FKSA1)

器件IKW40N120H3FKSA1开关测试条件及结果如右图所示。

The screenshot displays the 'Double Pulse Test' software interface. The 'Device' section shows 'Bus Voltage' and 'Current' input fields, a 'Start Discharge' button, and a dropdown menu set to 'IGBT'. The 'Switch Test' tab is active, showing a 'Param' section with various test parameters. The 'Result' section displays a grid of measured values for various parameters, all of which are checked. A 'START' button and 'Run Time: 504.0 ms' are visible at the bottom.

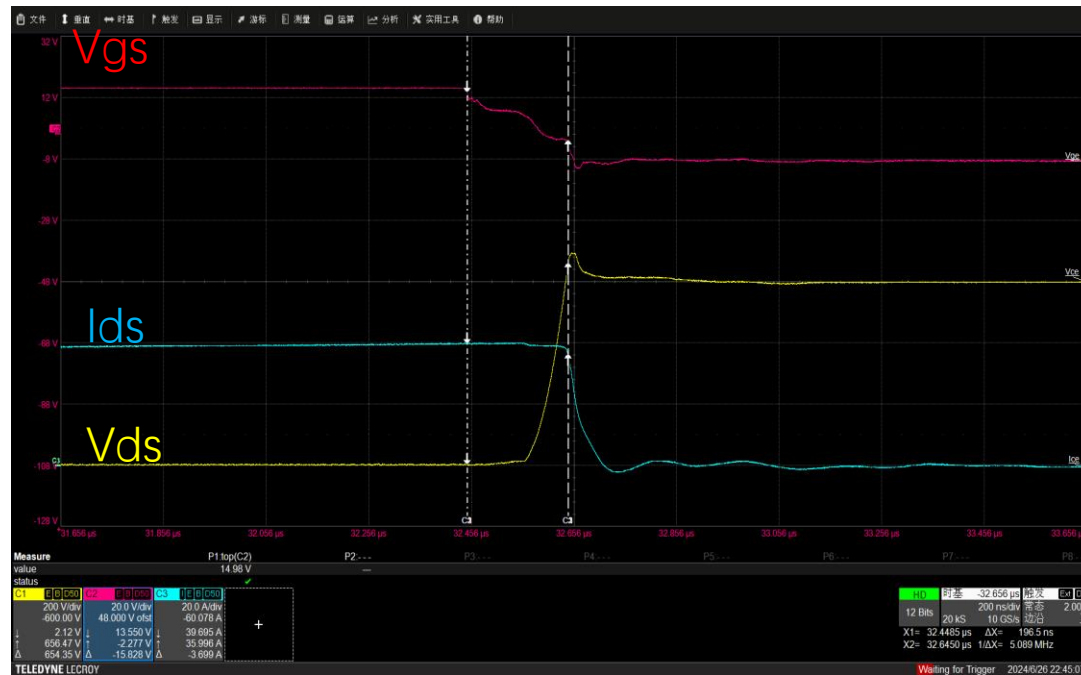
Param	Value	Param	Value	Param	Value
Gate Pulse High	15.0V	Vds / Vce OFF	600V	Vce.ds_peack	701.2V
Gate Pulse Low	-9.0V	Ids / Ice ON	40.0A	Ice.ds_peack	50.8A
1st OnTime	33.3us	Load-L	500uH		
1st Off Time	5.0us				
2nd OnTime	3.0us				
Rg_OFF	12R				
Rg_ON	12R				

Result	Value	Result	Value	Result	Value
<input checked="" type="checkbox"/> Tdon	19.6ns	<input checked="" type="checkbox"/> Tdoff	196.1ns	<input checked="" type="checkbox"/> Vce.ds_peack	701.2V
<input checked="" type="checkbox"/> Ton	51.5ns	<input checked="" type="checkbox"/> Toff	249.7ns	<input checked="" type="checkbox"/> Ice.ds_peack	50.8A
<input checked="" type="checkbox"/> Eon	2331.1uJ	<input checked="" type="checkbox"/> Eoff	1189.8uJ		
<input checked="" type="checkbox"/> dv/dt(on)	5.3V/ns	<input checked="" type="checkbox"/> dv/dt(off)	11.3V/ns		
<input checked="" type="checkbox"/> di/dt(on)	1.0A/ns	<input checked="" type="checkbox"/> di/dt(off)	0.6A/ns		
<input checked="" type="checkbox"/> Tr	31.9ns	<input checked="" type="checkbox"/> Tf	53.6ns		

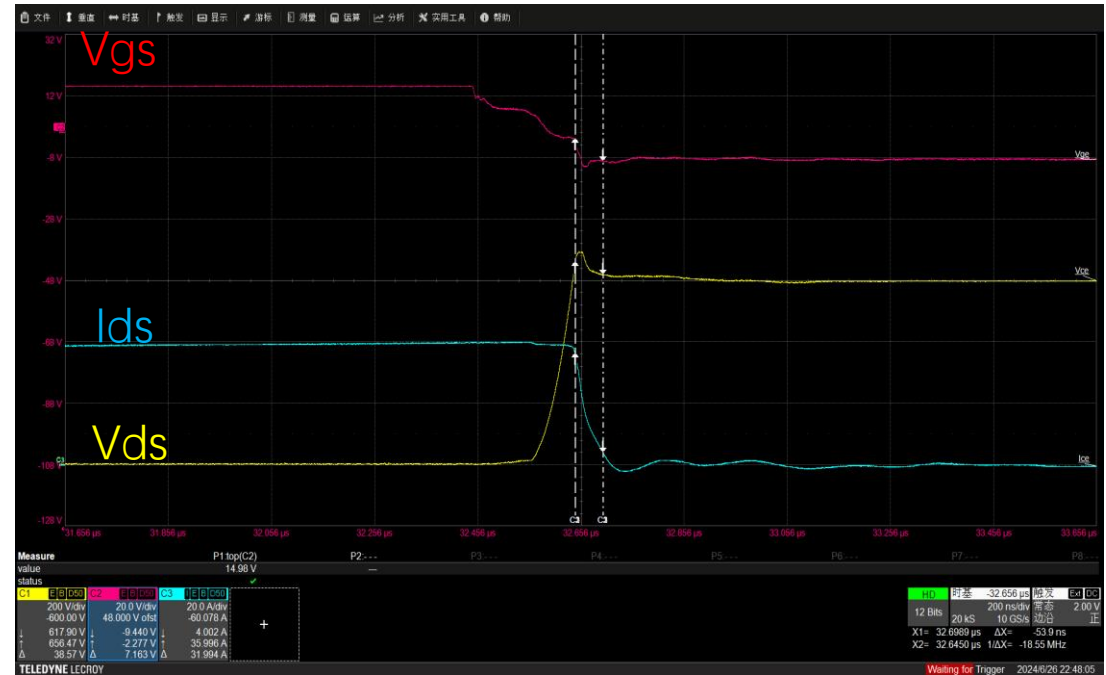
4.2. IGBT IKW40N120H3FKSA1开关参数波形细节

关断延时

下降时间



待测管在第一次关断情况下的波形图，从图中我们可以得到关断延时 $T_{doff}=196.5\text{ns}$ 。

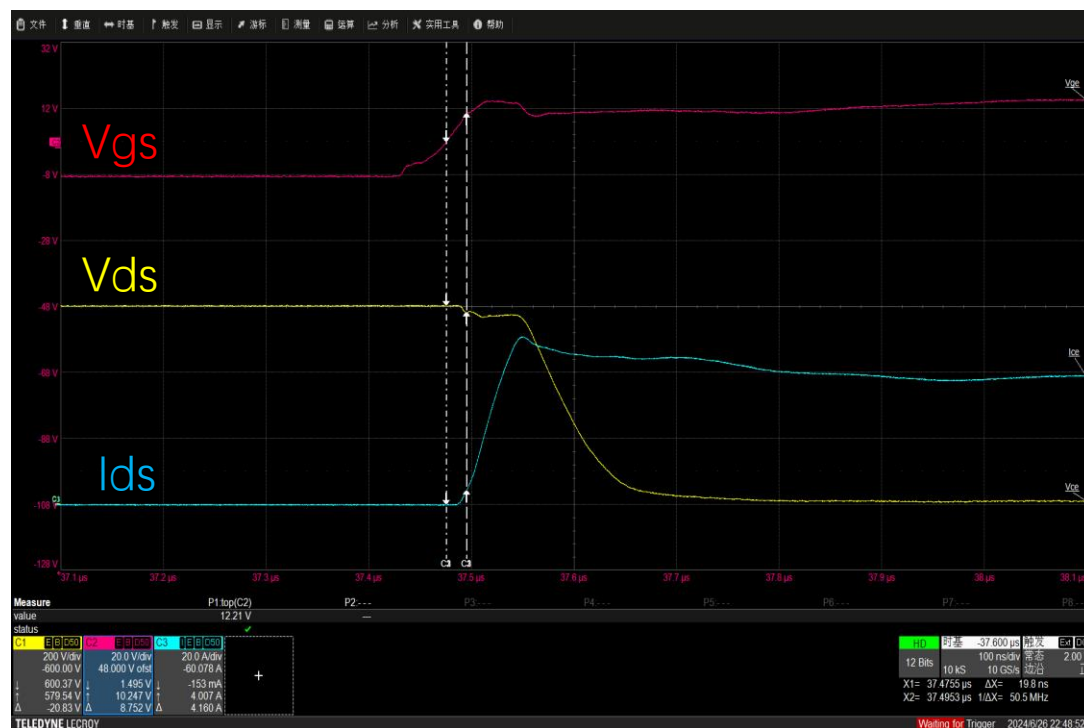


待测管在第一次关断情况下的波形图，从图中我们可以得到下降时间 $T_f=53.9\text{ns}$ 。

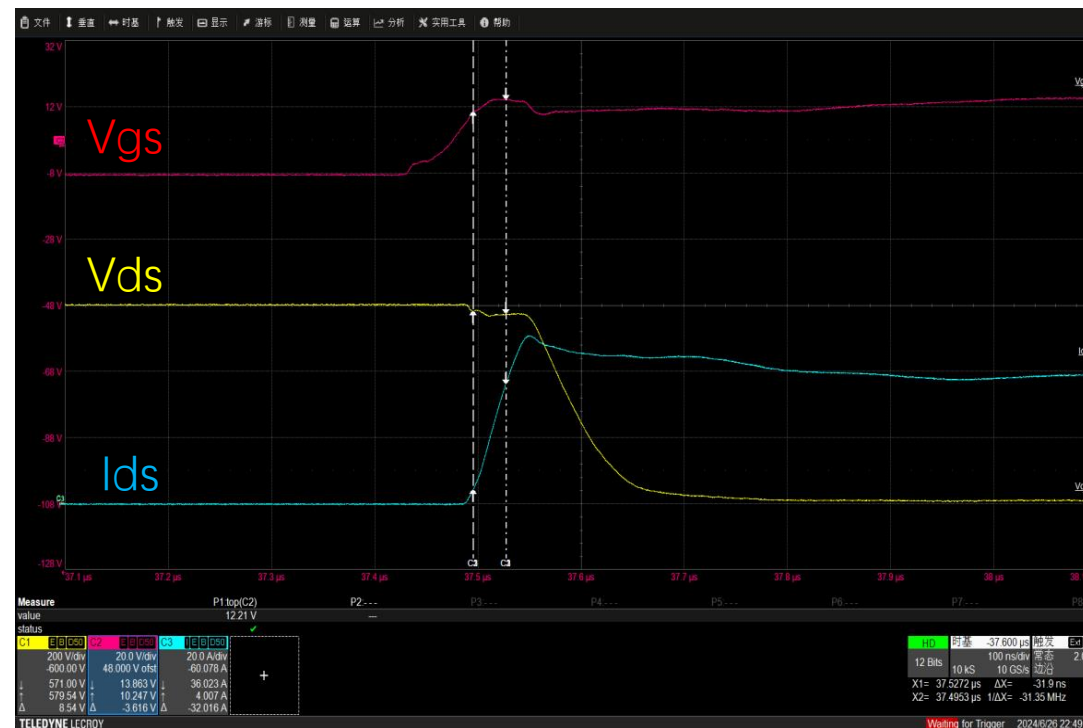
4.3. IGBT IKW40N120H3FKSA1开关参数波形细节

导通延时

上升时间

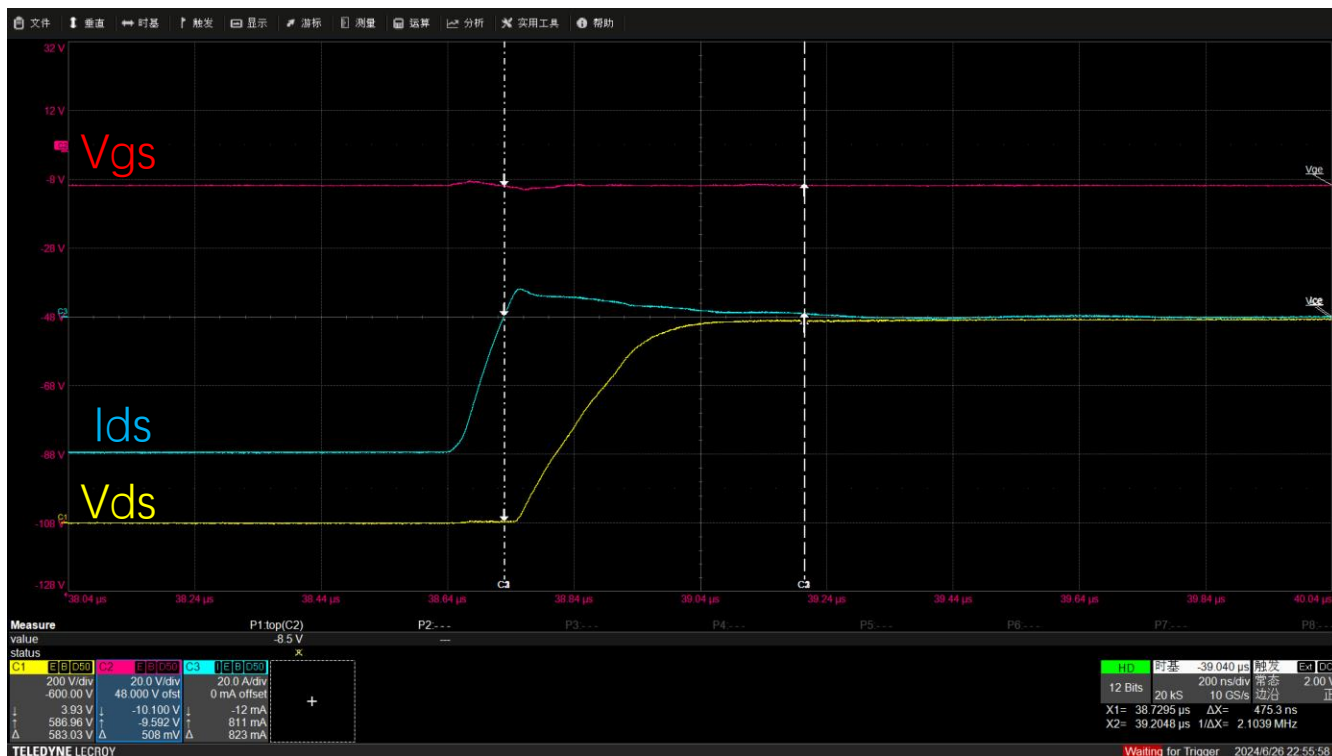


待测管在第二次开通情况下的波形图，从图中我们可以得到导通延时 $T_{don}=19.8\text{ns}$ 。



待测管在第二次开通情况下的波形图，从图中我们可以得到上升时间 $T_r=31.9\text{ns}$ 。

4.4 IGBT样本二极管反向恢复测试参数 (IKW40N120H3FKSA1)



二极管反向恢复时间
TRR=393.5ns

Double Pulse Test

File Option

Device: IGBT

Bus Voltage: Start Discharge

Current:

Switch Test | **Diode Test** | Short-Circuit Test

Param

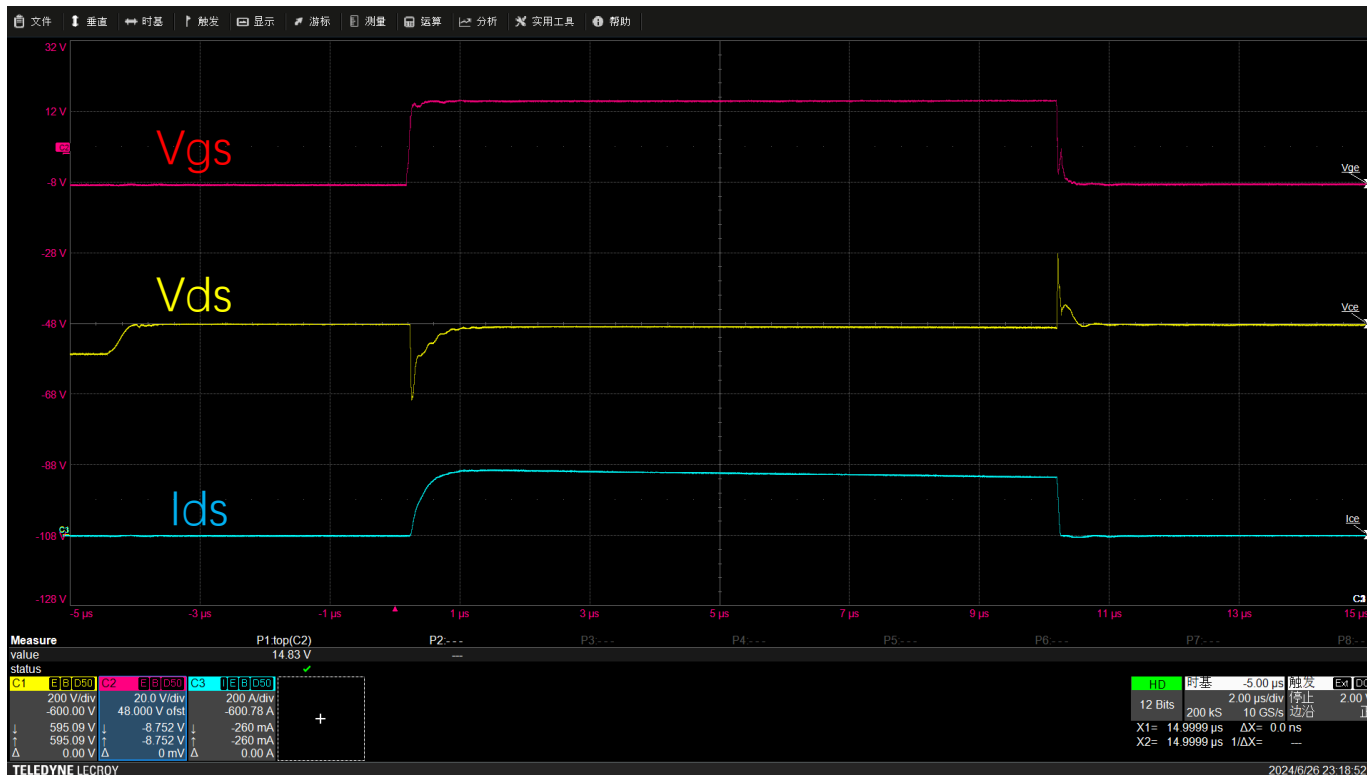
Gate Pulse High	<input type="text" value="15.0V"/>	Voff	<input type="text" value="600V"/>	
Gate Pulse Low	<input type="text" value="-9.0V"/>	Ion	<input type="text" value="40.0A"/>	
1st OnTime	<input type="text" value="33.3us"/>	0.0us	Load-L	<input type="text" value="500uH"/>
1st Off Time	<input type="text" value="5.0us"/>			
2nd OnTime	<input type="text" value="5.0us"/>			
Rg_OFF	<input type="text" value="10R"/>			
Rg_ON	<input type="text" value="30R"/>			

Result

<input type="checkbox"/> Trr_JESD24	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/> Erec_JESD24	<input type="text"/>
<input checked="" type="checkbox"/> Trr_IEC60747	<input type="text" value="393.5ns"/>	<input checked="" type="checkbox"/> Erec_IEC60747	<input type="text" value="535.8uJ"/>
<input type="checkbox"/> Qrr_JESD24	<input type="text"/>	<input checked="" type="checkbox"/> Irr	<input type="text" value="8.1A"/>
<input checked="" type="checkbox"/> Qrr_IEC60747	<input type="text" value="1600.0nC"/>	<input checked="" type="checkbox"/> di / dt	<input type="text" value="0.5A/ns"/>

START

4.5 IGBT样本短路测试参数 (IKW40N120H3FKSA1)



短路电流 $I_{sc}=187.0A$

Double Pulse Test

File Option

Device: IGBT

Bus Voltage: Start Discharge

Current:

Switch Test | Diode Test | **Short-Circuit Test**

Param

Gate Pulse High	15.0V	Vds / Vce OFF	600V
Gate Pulse Low	-9.0V	Max Short Current	600.0A
1st OnTime	10.0us		
Rg_OFF	10R		
Rg_ON	10R		

Result

<input checked="" type="checkbox"/> Vmax	796.9V	<input checked="" type="checkbox"/> Isc	187.0A	<input checked="" type="checkbox"/> Tsc	10.0ns
<input checked="" type="checkbox"/> Esc	1008.1mJ				

START

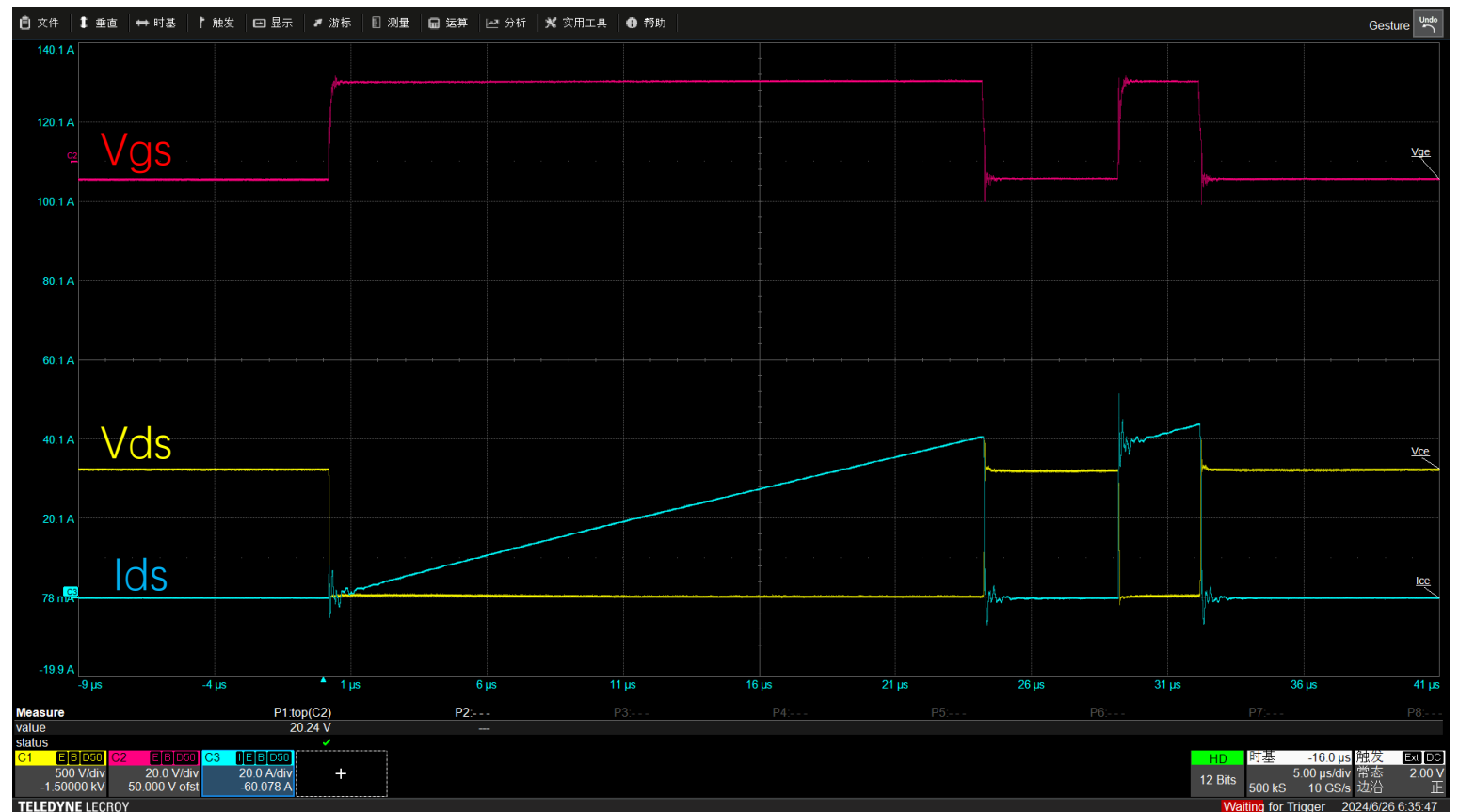
5. SiC MOSFET样本开关测试参数（CI60N120SM）

右图完整地展示了SiC MOSFET待测管DUT在双脉冲测试过程中各个参数的状态：

红线：栅极电压 V_{gs} ；

黄线：源漏电压 V_{ds} ；

蓝线：源漏电流 I_{ds} 。



5.1. SiC MOSFET样本开关测试结果 (CI60N120SM)

器件CI60N120SM开关测试条件及结果如右图所示。

The screenshot shows the 'Double Pulse Test' software interface. The 'Device' section is set to 'MOSFET'. The 'Switch Test' tab is selected, showing the following parameters:

Parameter	Value
Gate Pulse High	20.0V
Gate Pulse Low	-5.0V
1st OnTime	25.0us
1st Off Time	5.0us
2nd OnTime	3.0us
Rg_OFF	10R
Rg_ON	10R
Vds / Vce OFF	800V
Ids / Ice ON	40.0A
Load-L	500uH

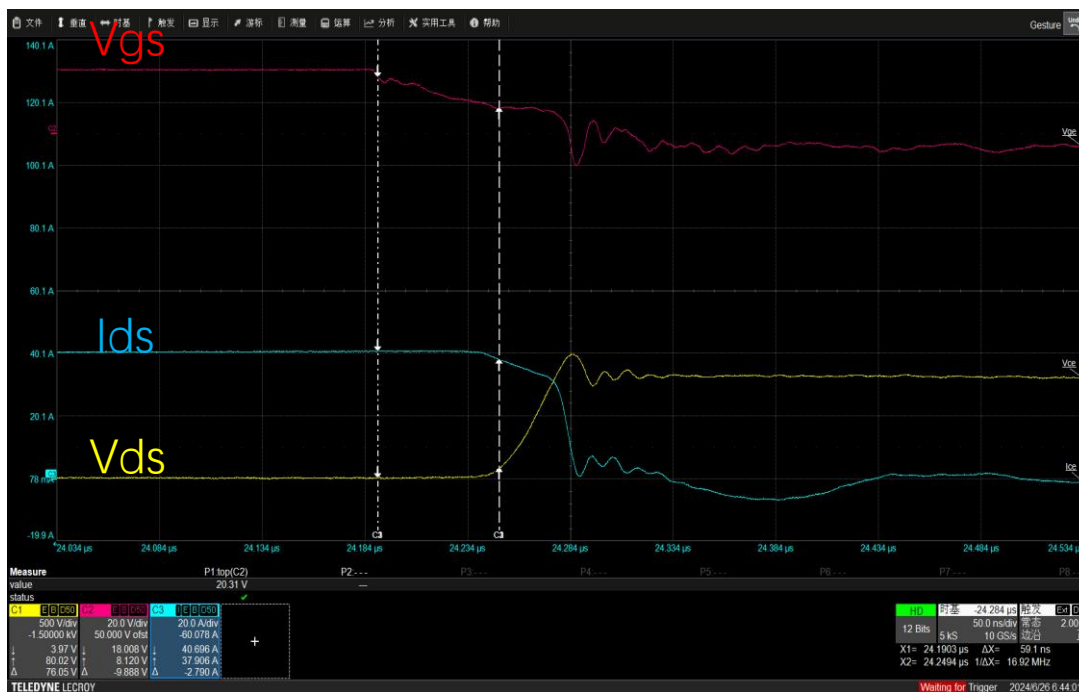
The 'Result' section displays the following test results:

Parameter	Value
Tdon	20.7ns
Ton	58.9ns
Eon	931.1uJ
dv/dt(on)	16.8V/ns
di/dt(on)	2.3A/ns
Tr	38.2ns
Tdoff	58.7ns
Toff	83.7ns
Eoff	527.4uJ
dv/dt(off)	87.5V/ns
di/dt(off)	1.1A/ns
Tf	25.0ns
Vce,ds_peck	995.4V
Ice,ds_peck	51.5A

The 'START' button is visible, and the 'Run Time' is 828.3 ms.

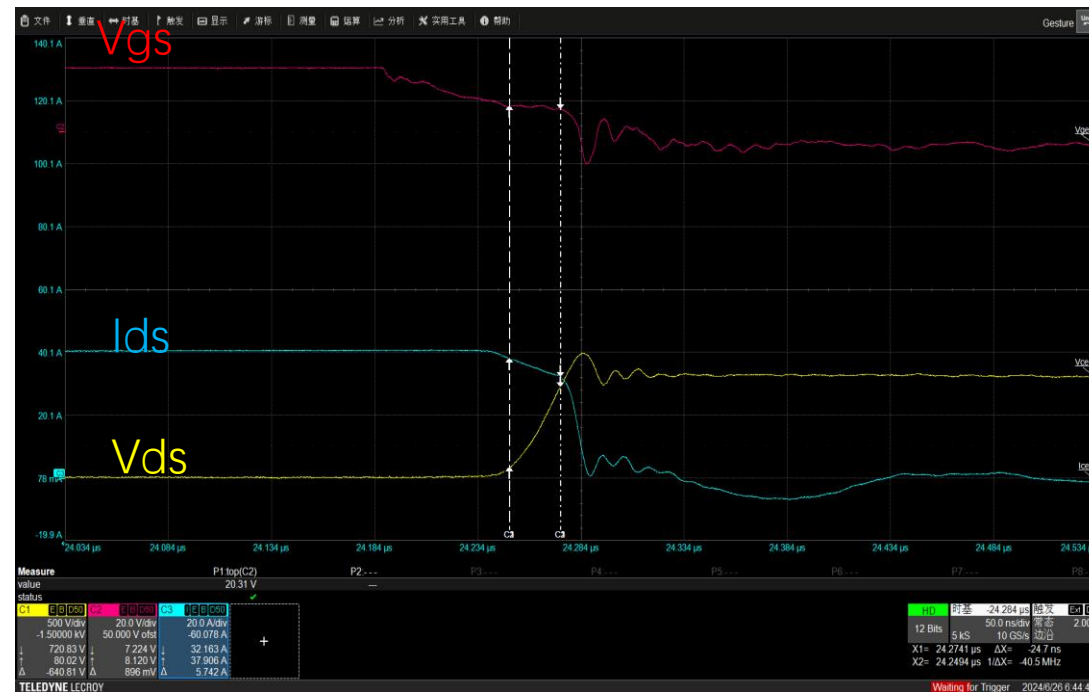
5.2. SiC CI60N120SM开关参数波形细节

关断延时



待测管在第一次关断情况下的波形图，从图中我们可以得到关断延时 $T_{doff}=59.1\text{ns}$ 。

下降时间

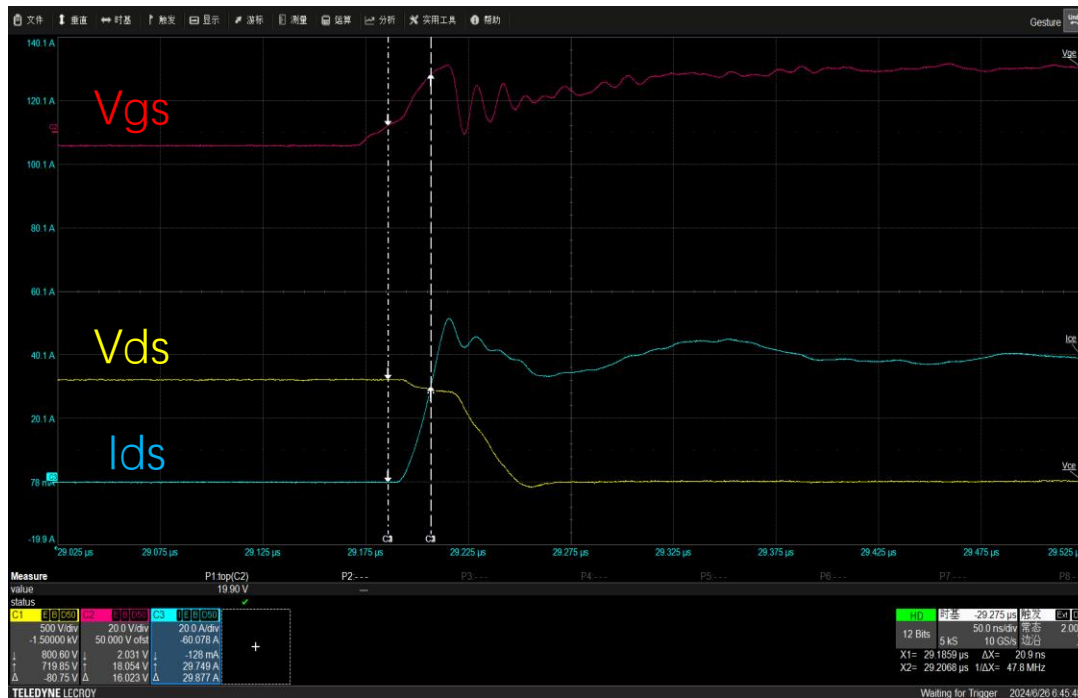


待测管在第一次关断情况下的波形图，从图中我们可以得到下降时间 $T_f=24.7\text{ns}$ 。

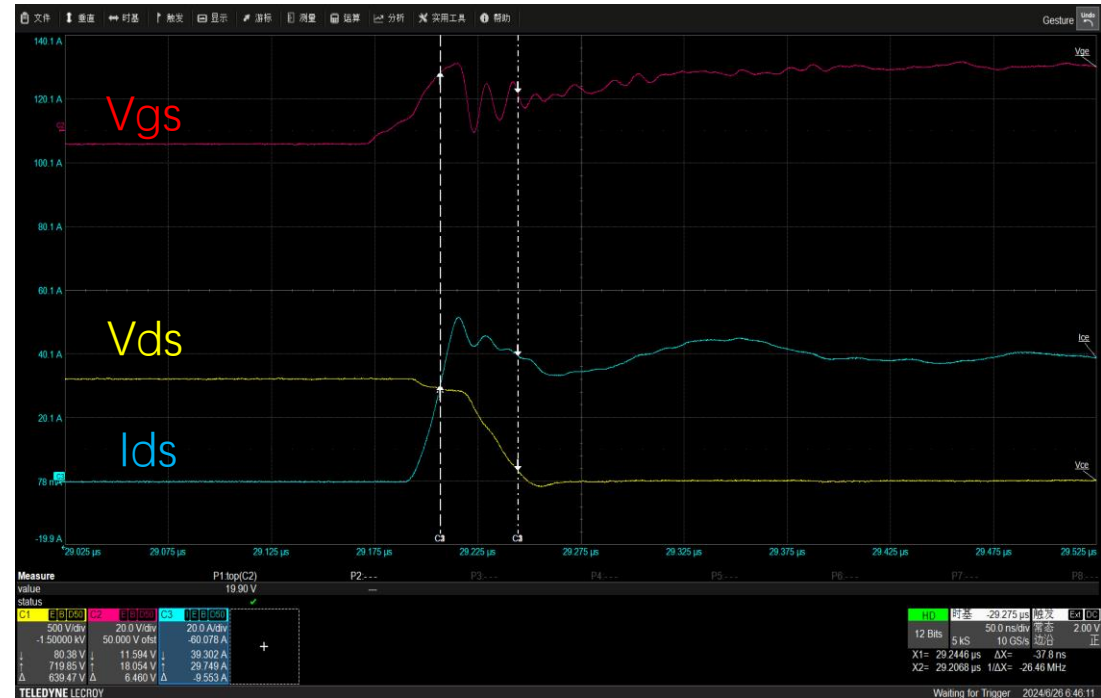
5.3. SiC CI60N120SM开关参数波形细节

导通延时

上升时间

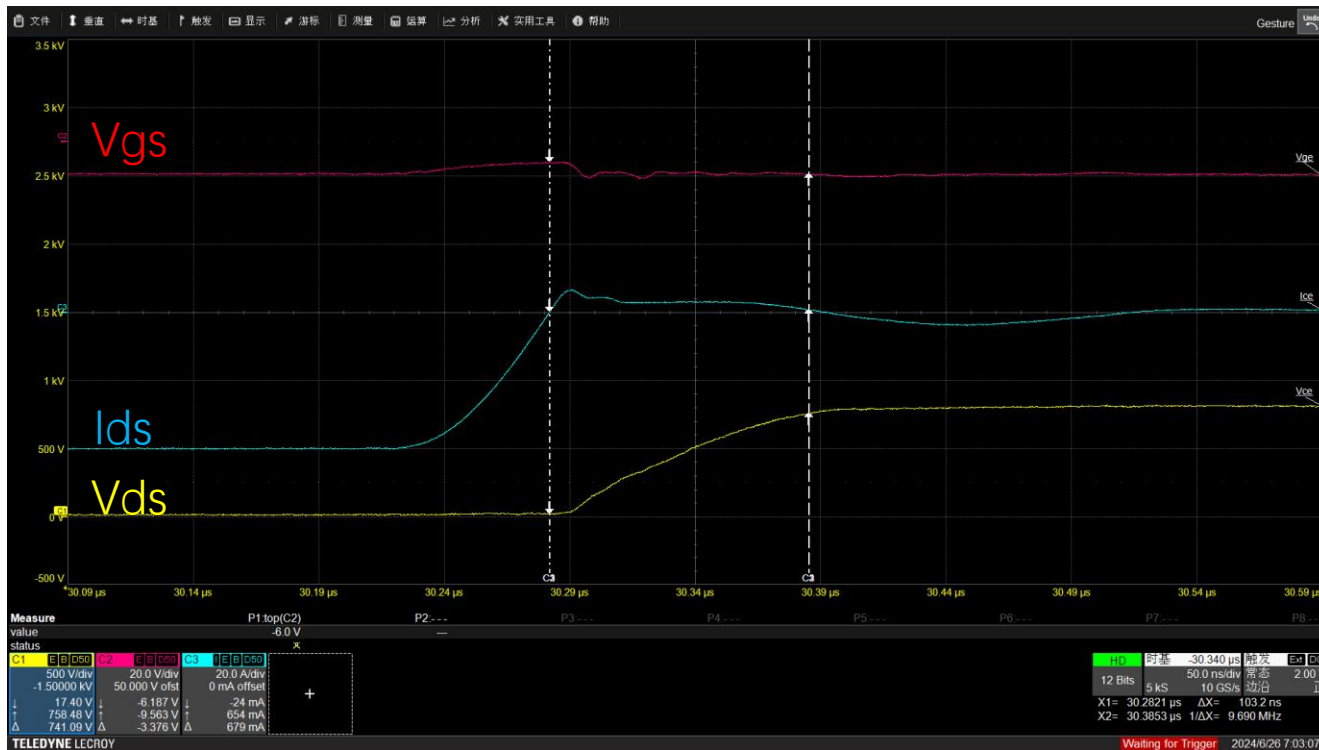


待测管在第二次开通情况下导通延时的波形图，从图中我们可以得到导通延时 $T_{don}=20.9\text{ns}$ 。



待测管在第二次开通情况下上升时间的波形图，从图中我们可以得到上升时间 $T_r=37.8\text{ns}$ 。

5.4 SiC MOSFET样本二极管反向恢复测试参数 (CI60N120SM)



二极管反向恢复时间
TRR=122.8ns

Double Pulse Test

File Option

Device

Bus Voltage Start Discharge

Current MOSFET

Switch Test | Diode Test | Short-Circuit Test

Param

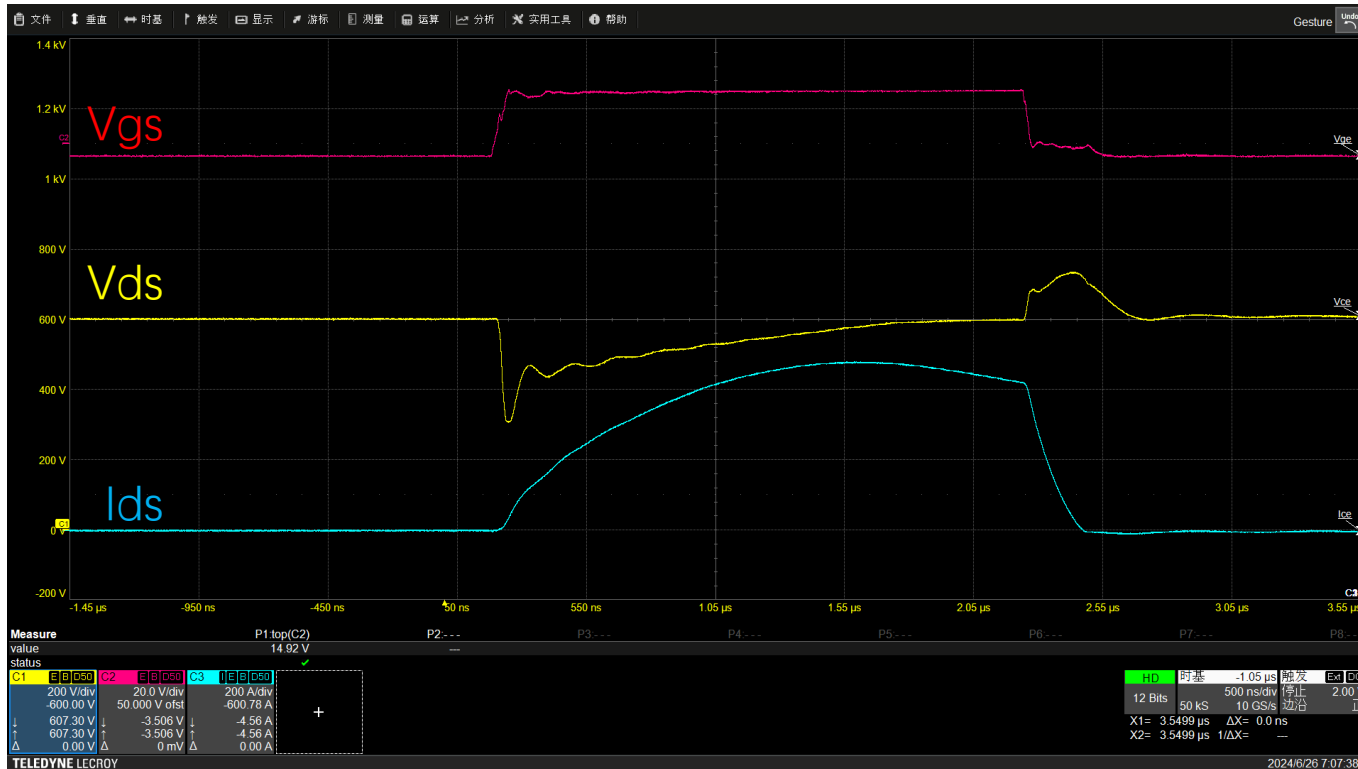
Gate Pulse High	20.0V	Voff	800V	
Gate Pulse Low	-5.0V	Ion	40.0A	
1st OnTime	25.0us	0.0us	Load-L	500uH
1st Off Time	5.0us			
2nd OnTime	5.0us			
Rg_OFF	10R			
Rg_ON	37R			

Result

<input checked="" type="checkbox"/> Trr_JESD24	122.8ns	<input checked="" type="checkbox"/> Erec_JESD24	104.2uJ
<input type="checkbox"/> Trr_IEC60747		<input type="checkbox"/> Erec_IEC60747	
<input checked="" type="checkbox"/> Qrr_JESD24	300.0nC	<input checked="" type="checkbox"/> Irr	6.4A
<input type="checkbox"/> Qrr_IEC60747		<input checked="" type="checkbox"/> di/dt	1.0A/ns

START

5.5 SiC MOSFET样本短路测试参数 (CI60N120SM)



短路电流Isc=479.2A

Double Pulse Test

File Option

Device: MOSFET

Bus Voltage: [600V] Start Discharge

Current: [600.0A]

Switch Test | Diode Test | **Short-Circuit Test**

Param

Gate Pulse High: 20.0V Vds / Vce OFF: 600V

Gate Pulse Low: -5.0V Max Short Current: 600.0A

1st OnTime: 2.1 μs

Rg_OFF: 10R

Rg_ON: 10R

Result

Vmax: 733.9V Isc: 479.2A Tsc: 2.0 ns

Esc: 422.3mJ

START