

# 智能隔离驱动芯片NSI6611的 半桥应用和双脉冲测试指南

AN-15-0009

作者：Lei Han



## 摘要

随着社会的发展和环境问题的日益突出，电动汽车逐步替代燃油车成为新的交通工具。作为“三电”之一的电机控制器直接影响着电动汽车的安全性，舒适性和节能性，而高压隔离驱动芯片对于电机控制器的稳定性和可靠性起着至关重要的作用。因此，纳芯微推出了可用于电动汽车电机控制器的高压隔离驱动芯片NSI6611，芯片内部集成主动米勒钳位，退饱和检测，欠压保护以及软关断功能。可以帮助客户更容易的设计出高性能高可靠性的电机控制器。

本文分为两个部分，第一部分介绍NSI6611的半桥驱动板，第二部分介绍基于NSI6611的半桥驱动板的双脉冲测试指南。

## 目录

1. 基于NSI6611的半桥驱动板	2
1.1.NSI6611的介绍	2
1.2.半桥板驱动应用板介绍	2
1.3.半桥驱动板系统框图	2
1.4.实物图和控制信号定义	3
1.5.NSI6611 驱动部分电路设计	4
1.6.关键元件BOM	4
1.7.上位机GUI使用	5
2. 应用半桥驱动板的双脉冲测试指南	6
2.1.实验介绍	6
2.2.实验目的	6
2.3.实验搭建和仪器	7
2.4.实验步骤	8
2.5.实验结果分析	9
3. 修订历史	10

## 1. 基于NSI6611的半桥驱动板

### 1.1. NSI6611的介绍

NSI6611是一款单通道增强型隔离栅级驱动器，可以驱动IGBT、功率MOSFET和碳化硅MOSFET。峰值电流驱动能力可以达到10A。NSI6611包括米勒钳位、DESAT、OCP、UVLO和软关闭等保护功能。欠压和短路故障可以通过独立的引脚报错。ASC功能可以完成在紧急情况下强制输出，这可以支持系统级的故障管理。这些出色的保护功能和故障管理功能可以使系统设计更加容易。

### 1.2. 半桥板驱动应用板介绍

半桥板驱动应用板是基于NSI6611设计的，此应用板可以作为NSI6611的参考设计，也可以用以完成半桥驱动的应用测试，双脉冲测试和短路测试等，可以帮助客户节省搭建硬件的时间，更容易的测试评估NSI6611的性能。目前，针对此半桥板有配套的MCU控制板和上位机GUI可以提供。

### 1.3. 半桥驱动板系统框图

图1.3为半桥驱动板的系统框图，包括两个NSI6611和两个独立的Flyback电路为NSI6611提供驱动的正负压。

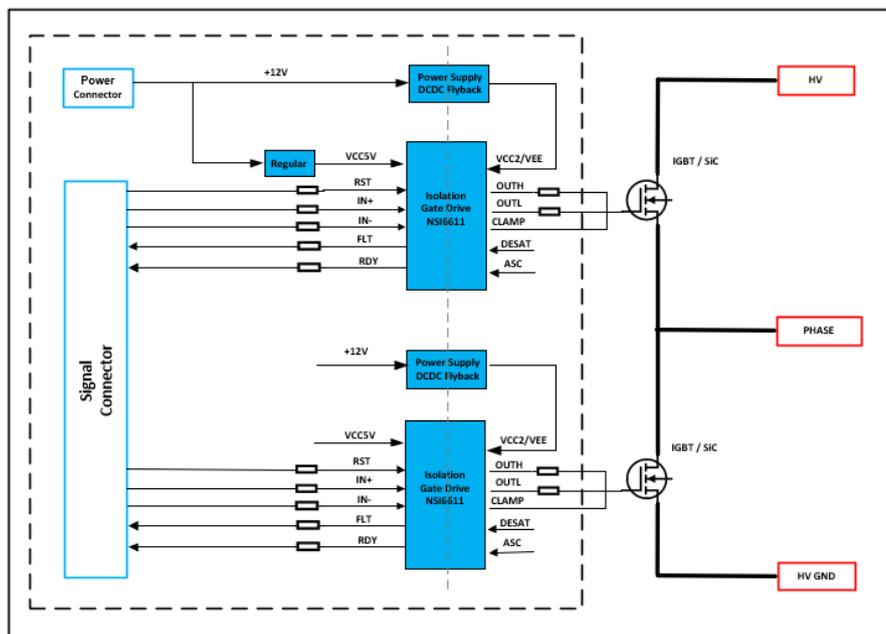


图1.3 NSI6611半桥驱动板系统框图

# 智能隔离驱动芯片NSI6611的 半桥应用和双脉冲测试指南

## 1.4. 实物图和控制信号定义

图1.4为半桥驱动板的实物图，包含了三颗纳芯微提供的芯片，分别是高压隔离驱动芯片NSI6611，电源管理芯片NSR22401，以及电源LDO芯片NSR3x

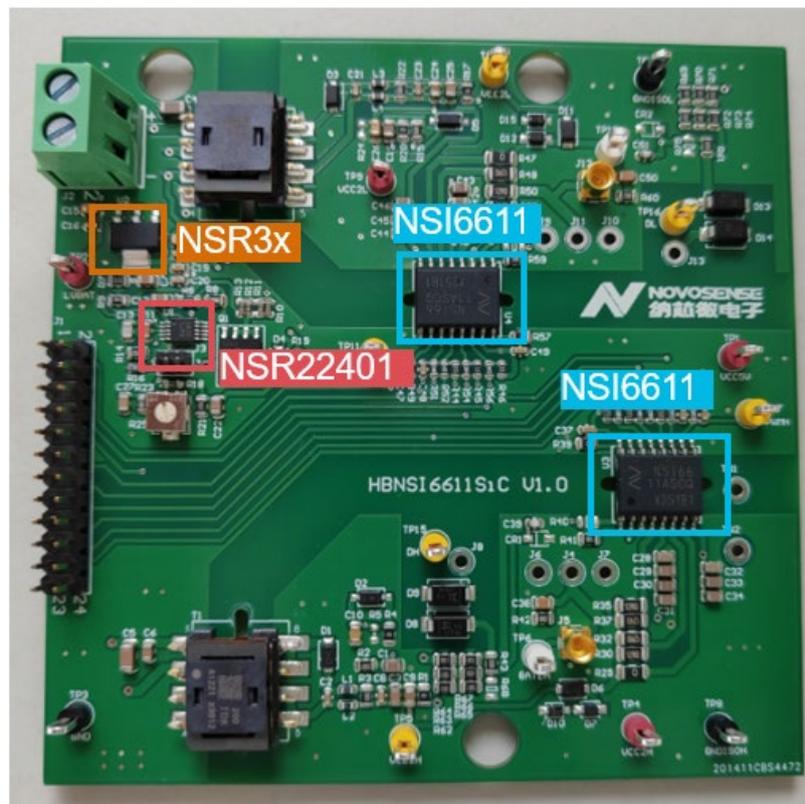


图1.4 半桥驱动板实物图

针对半桥驱动板的控制可以使用配套的MCU控制板也可以使用客户自己的控制信号，下面提供了接口信号：

- PWMH：高边NSI6611的PWM输入信号
- PWML：低边NSI6611的PWM输入信号
- RDYH：高边NSI6611的欠压指示信号
- RDYL：低边NSI6611的欠压指示信号
- FLTH：高边NSI6611的报错信号
- FLTL：低边NSI6611的报错信号
- RSTH：高边NSI6611芯片使能信号
- RSTL：高边NSI6611芯片使能信号

## 1.5.NSI6611 驱动部分电路设计

图1.5是NSI6611驱动部分电路原理图，左边是低压控制侧，在信号线上推荐串联100欧姆的电阻可以有效的减小信号的反射，Fault和Ready信号需要加5.1K的上拉电路，这两个信号内部是open drain的结构，PWM信号加1nF的电容，组成RC电路，滤除高频信号，VCC1需要加0.1uF的去偶电容。

右侧是高压驱动侧，栅极电阻采用2个1206封装的电阻进行并联的形式解决散热问题，栅极使用一个10K下拉电阻，保证在控制信号没有建立前栅极输出是低电平。栅极电容可以根据不用的应用需要调整，CLAMP引脚通过0欧姆电阻连接到GATE，用以实现主动米勒钳位功能。

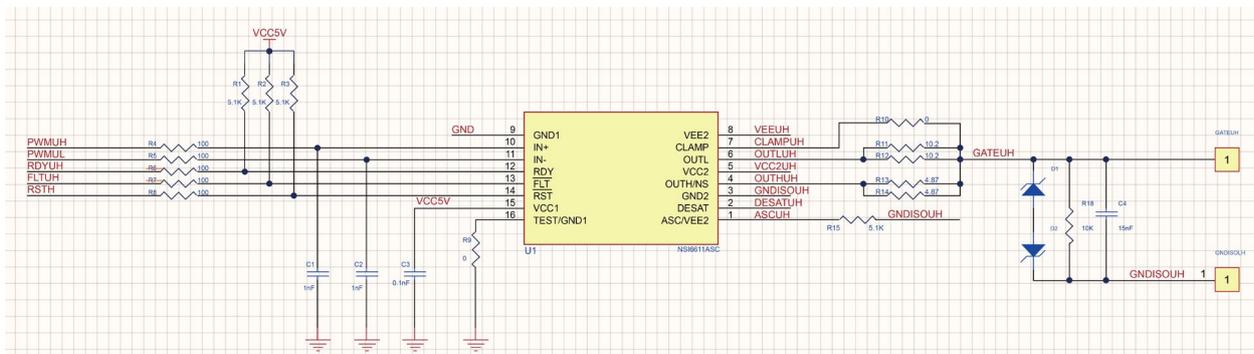


图1.5 NSI6611驱动部分电路图

## 1.6.关键元件BOM

Manufacturer	Part Number	Comment	Designator	Footprint	Number
Novosns	NSI6611ASC	HV Gate Drive	U4, U5, U6, U7, U8, U9	SOW16	6
Novosns	NSR22401	DC/DC Contol IC	U2, U3	VSSOP10	2
Novosns	NSR31	LDO	U1	SOT223	1
MURATA	GRM21BR61C106KE15L	10uF	C1, C3, C4, C9, C10, C11, C15, C23, C30, C31	0805	15
YAGEO	AC0805KRX7R9BB104	0.1uF	C2, C5, C6, C65, C78, C91, C104, C117, C130	0603	9
MURATA	GRM21BC71H475KE11L	4.7uF	C7, C16, C25, C28, C31, C40, C49, C52, C56	0805	38
YAGEO	CC0603KRX7R9BB102	1nF	C8, C13, C17, C18, C24, C26, C32, C37, C41	0603	24
YAGEO	CC0805KRX7R9BB225	2.2uF	C12, C14, C19, C27, C36, C38, C43, C51	0805	8
YAGEO	CC0603KRX7R9BB23	82nF	C20, C44	0805	2
YAGEO	AC0805KRX7R9BB105	1uF	C21, C45	0805	2
MURATA	GRM2165C1H391JA01D	390pF	C22, C46	0805	2
YAGEO	CC0805JRX7R9BB104	0.1uF	C29, C53, C55, C60, C68, C73, C81, C86, C94	0805	14
YAGEO	CC0805KRX7R9BB153	0.015uF	C66, C79, C92, C105, C118, C131	0805	6
UNI-ROYAL	0805W8F0000T5E	0	R1, R4, R8, R17, R21, R29, R31, R34, R38, R41	0805	18
UNI-ROYAL	0805W8F1213T5E	121K	R7, R37	R0805	2
UNI-ROYAL	RC0805FR-0728RL	28.0	R9, R39	R0805	2
UNI-ROYAL	0805W8F3002T5E	30K	R2, R11, R27, R32, R41, R58	0805	6
UNI-ROYAL	0805W8F3001T5E	3.0K	R3, R12, R25, R33, R42, R56	0805	6
YAGEO	RC0603FR-07100RL	100	R51, R67, R69, R70, R72, R74, R85, R87, R88	0603	31
UNI-ROYAL	0603WAF5101T5E	5.1K	R62, R63, R64, R80, R81, R82, R98, R99, R100	0603	18
UNI-ROYAL	1206W4F0000T5E	0	R65, R83, R101, R119, R137, R155	1206	6
YAGEO	AC1206FR-075R62L	5.62	R66, R68, R84, R86, R102, R104, R120, R122	1206	12
YAGEO	AC1206FR-076R65L	6.65	R71, R73, R89, R91, R107, R109, R125, R127	1206	12
UNI-ROYAL	0805W8F5101T5E	5.1K	R77, R95, R113, R131, R149, R167	0805	6
UNI-ROYAL	0805W8F1002T5E	10K	R78, R96, R114, R132, R150, R168	0805	6
UNI-ROYAL	0805W8F1000T5E	100	R79, R97, R115, R133, R151, R169	0805	6
NEXPERIA	BUK9Y19-100E,115	N-MOSFET	Q1, Q2	LFPK56	2
XKB Connectivity	X6521WW-2x20H-C30D60	Header 20X2	J1	HD20x2	1
KANGNEX	WJ128V-5.0-2P	Power Connector	J2	2Pin_Con	1

## 1.7. 上位机GUI使用

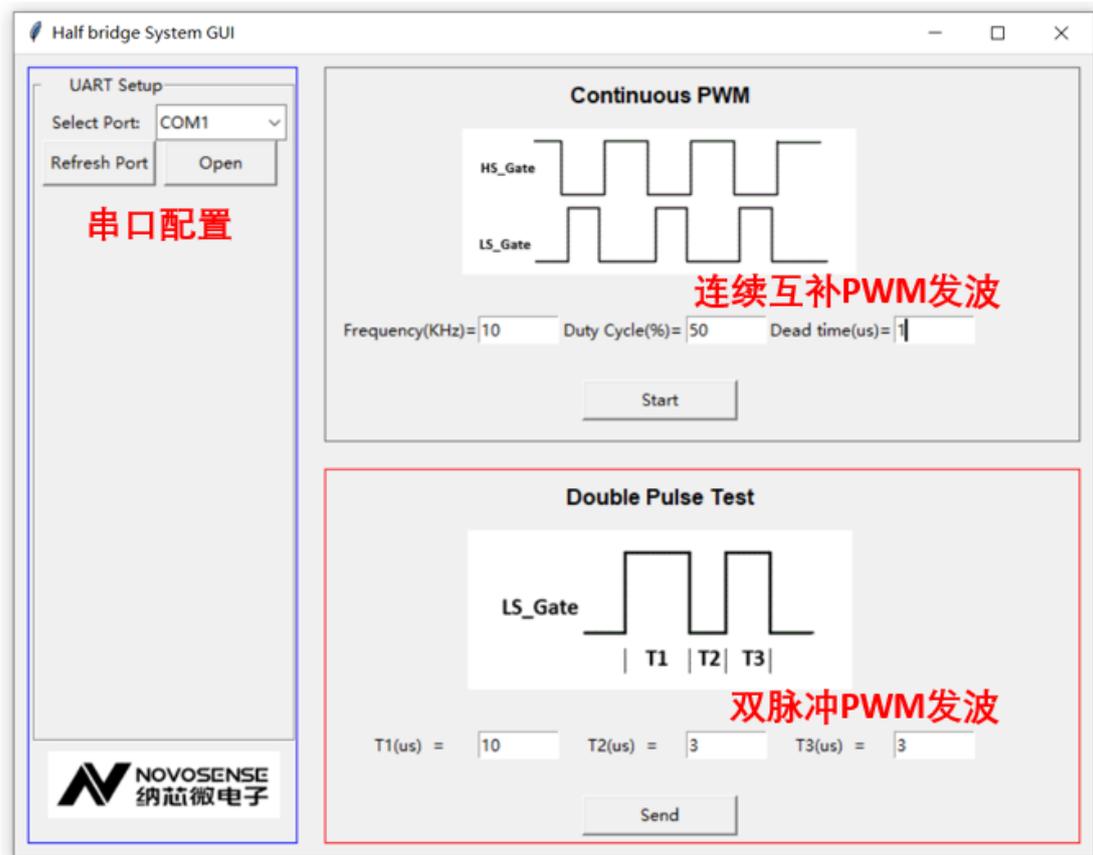


图1.6 半桥驱动板上位机GUI

“串口配置”区：在MCU控制板上设计了一个USB转UART的芯片，所以在连接USB后，电脑的设备管理器会映射出COM口，“连续互补PWM发波区”分别可以配置PWM的频率，占空比，以及死区时间，“双脉冲PWM发波”区可以配置双脉冲的三个时间，单位为us，精度到0.1us。

使用步骤：

- 1, 连接Mini USB接口到PC，在PC的设备管理器中查看串口号
- 2, 在“串口配置”部分选择串口号，点击“Open”打开串口
- 3, 使用连续PWM发波，输入参数，点击Start
- 4, 测试两个NSI6611的输出GATEH和GATEL信号是否正确
- 5, 使用双脉冲PWM发波，输入参数，点击Send
- 6, 测试当NSI6611输出信号正常时，才能接通高压供电

## 2.应用半桥驱动板的双脉冲测试指南

### 2.1.实验介绍

双脉冲测试（Double Pulse Test）是一种用于评估功率半导体器件（如IGBT、SiC等）开关特性和性能的测试方法。这种测试方法常用于电力电子设备、逆变器、新能源电动机控制器等领域的研发和测试。

在双脉冲测试中，通过给定两个脉冲信号，通常一个是建立电流的脉冲，一个是测量脉冲，双脉冲测试常用来评估功率半导体器件的开关速度、开关损耗、电压和电流波形等参数。通过分析双脉冲测试结果，可以评估功率器件的响应速度、能耗和电压/电流特性，从而优化电路设计和性能。

此外，双脉冲测试也可以对驱动芯片进行评估，如驱动电流能力，驱动信号的Slew Rate，从而优化驱动部分电路设计。

### 2.2.实验目的

- 1.获取IGBT /SiC开通、关断过程的主要参数，以评估Rgon和Rgoff的数值是否合适。
- 2.评估门极驱动芯片的开通和关断时间以及开通和关断Slew Rate。
- 3.观察开通和关断过程VGE和VCE是否有不合适的震荡。
- 4.评估二极管的反向恢复电流和时间是否合适。
- 5.IGBT/SiC 大电流关断时电压尖峰是否合适。
- 6.评估有源钳位功能或者退饱和等保护功能是否有效。
- 7.测量DC-Link电容和主回路的杂散电感。
- 8.优化驱动电路的设计

### 2.3. 实验搭建和仪器

如图2.3，高压电源最高输出电压800V，可以为高压侧供电，支持IGBT/ SiC的测试，低压电源最高输出电压32V，可以为MCU控制板和半桥驱动板低压侧供电。由于双脉冲测试需要瞬间提供很大的电流，一般的电源是达不到要求的，所以需要用到DC-Link电容，这种电容具有很小ESR，瞬间可以提供大电流，高压电源的作用实际上是给DC-Link电容充电，DC-Link电容的选取TDK的B25655P8307，最高DC耐压达到855V，容值达到300uF。负载电感的电感量为20uH。目前，半桥驱动板开发支持英飞凌的FS820R08A6P2B IGBT模块和ST的ADP360120W3碳化硅模块。

对于电感值的选取可以通过公式计算，如果系统电压是400V，测量的最大电流需要达到400A，假设开通时间是20us，

那么根据公式  $V = L \cdot di/dt$ ，计算得到  $L = 20\mu\text{H}$ 。

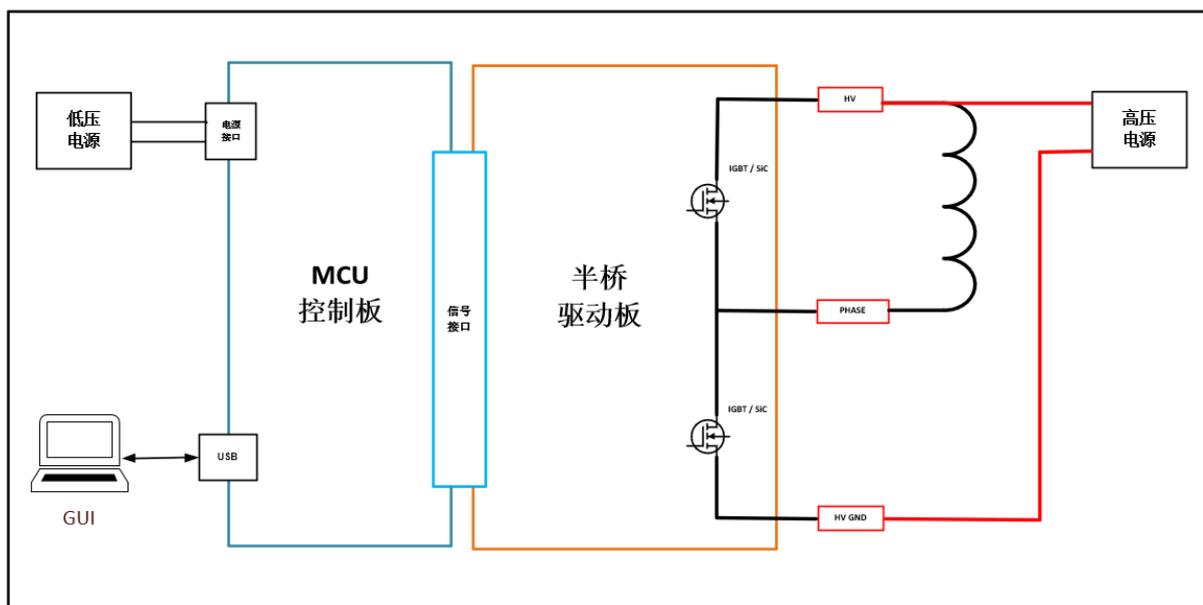


图2.3 双脉冲测试功能框图

由于高低压的地是隔离的，高边和底边的地也是隔离的，所以在高压侧需要选用高压隔离探头进行信号测试，选用泰克的THP0200测试带宽可以达到200MHz。为避免测量噪声，对一些质量要求高的信号可以采用光隔离探头TVIP05。电流探头为罗氏线圈结构，这种结构有响应速度快、测量精度高的优点，可以采用PEM的CWT Mini 6B，最大测量电流达到1.2KA。如图2.3所示为双脉冲测试的仪器列表。

仪器	厂家	型号
高压电源	KEIThLeY	2260B
低压电源	UNI-T	UTP1306S
示波器	Tektronix	MSO58B
高压隔离探头	Tektronix	THP0200
光隔离探头	泰克	TIVP05
电流探头	PEM	CWT Mini 6B

图2.3 实验仪器列表

## 2.4. 实验步骤

首先，连接好半桥驱动板和控制板，低压上电观察电流是否正常，然后通过USB端口连接到PC，并打开上位机GUI，连接示波器探头到驱动板，通过上位机GUI配置双脉冲 T1, T2, T3时间，通过示波器观察Gate波形与配置相符，然后再打开高压电源，进行双脉冲测试。

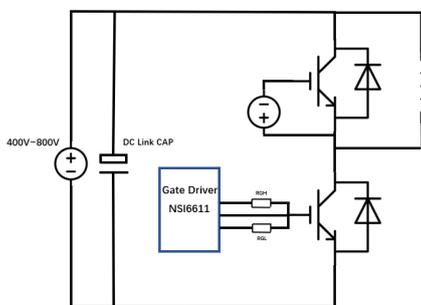


图2.4.1 双脉冲测试框图

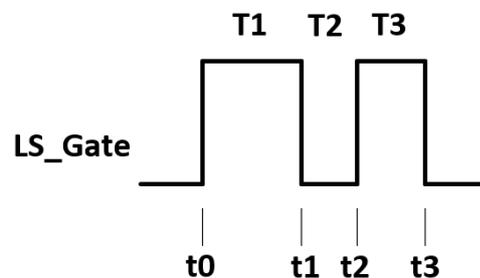


图2.4.2 双脉冲测试PWM时间

如图2.4.2所示，在 $t_0$ 时刻，第一个脉冲开始，IGBT导通，此时高压电压全部加在电感L上，T1持续的时间要足够长，需要通过公式计算，使得电感的电流达到我们需要测试的电流， $t_1$ 时刻，第一个脉冲结束，IGBT关断， $I_c$ 电流迅速下降到0，电感的电流不为0， $t_2$ 时刻，第二个脉冲上升沿开始，IGBT再次导通，续流二极管进入反向恢复，流过 $I_c$ 探头的电流为二极管和电感的电流之和， $t_2$ 时刻我们需要重点关注IGBT开通过程，GATE是否有过冲产生，是否震荡，并需要通过GATE波形计算出门级开通损耗和门级电压的上升 Slew Rate，针对功率模块，我们可以关注续流二极管反向恢复电流和时间，以及通过计算可以得到主回路杂散电感， $t_3$ 时刻，第二个脉冲下降沿，IGBT再次关断，此时电流较大，因为母线杂散电感 $L_s$ 的存在，会产生一定的 $V_{ce}$ 电压尖峰，需要将 $V_{ce}$ 尖峰控制在合理范围， $t_3$ 时刻，通过GATE波形计算出门级关断损耗和门级电压的下降 Slew Rate。

## 2.5. 实验结果分析

双脉冲测试需要观察的信号有：PWM输入信号，Gate信号，VCE信号以及流过下管的电流 $I_c$ ，如图2.5所示。

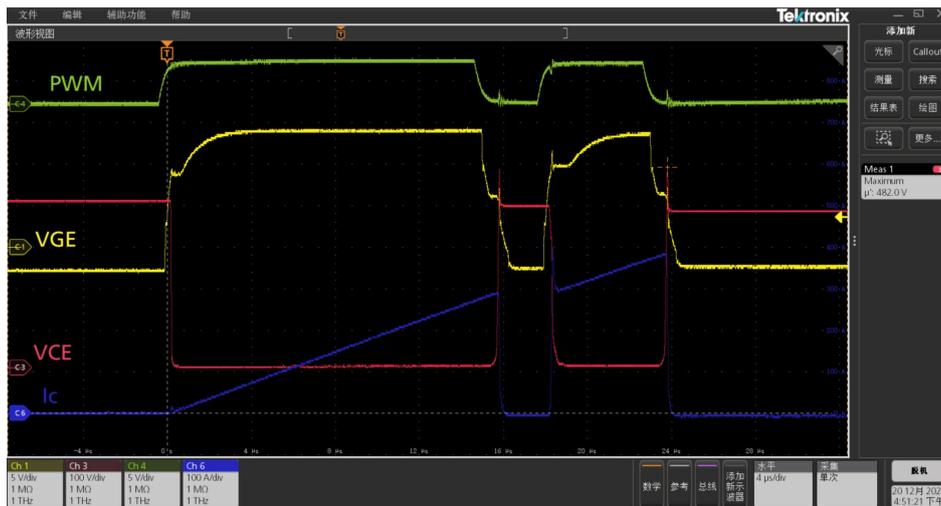


图2.5双脉冲测试波形图

可以使用示波器自带的计算软件或者手动测量图2.5中的  $T_d(\text{on})$ ,  $T_d(\text{off})$ ,  $T_r$ ,  $T_f$ ,  $E_{\text{on}}$ ,  $E_{\text{off}}$  等参数。

- 开通延时时间  $T_d(\text{on})$ ：是指从VGS上升10%的时间开始到VDS下降到90%的时间
- 关断延时时间  $T_d(\text{off})$ ：是指从VGS下降90%的时间开始到VDS上升到10%的时间
- 上升时间 ( $T_r$ )：是指从VDS的90%到10%的时间
- 下降时间 ( $T_f$ )：是指从VDS的10%到90%的时间
- 开通时间 ( $T_{\text{on}}$ )：是指开通延时时间  $T_d(\text{on})$  和上升时间 ( $T_r$ ) 之和
- 关断时间 ( $T_{\text{off}}$ )：是指关断延时时间  $T_d(\text{off})$  和下降时间 ( $T_f$ ) 之和
- 开通损耗 ( $E_{\text{on}}$ )：是指在开通过程中，VDS和 $I_d$ 的积分值
- 关断损耗 ( $E_{\text{off}}$ )：是指在关断过程中，VDS和 $I_d$ 的积分值

一般在双脉冲测试中都需要不断调整门级电阻已达到最小的过冲震荡，对于第二个脉冲关断时的VCE过冲可以通过增大门极电阻，如果增大门级电阻增大关断时间，依然达不到系统要求，还可以调整DC-Link、安装铜排等优化结构的方式来减小系统对的杂散电感。

### 3.修订历史

版本	描述	作者	日期
1.0	创建应用笔记	Lei Han	2023/12/21

销售联系方式: [sales@novosns.com](mailto:sales@novosns.com); 获取更多信息: [www.novosns.com](http://www.novosns.com)

### 重要声明

本文件中提供的信息不作为任何明示或暗示的担保或授权,包括但不限于对信息准确性、完整性,产品适销性、某特定用途方面的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的陈述或保证。

客户应对其使用纳芯微的产品和应用自行负责,并确保应用的安全性。客户认可并同意:尽管任何应用的相关信息或支持仍可能由纳芯微提供,但将在产品及其产品应用中遵守纳芯微产品相关的所有法律、法规和相关要求。

本文件中提供的资源仅供经过技术培训的开发人员使用。纳芯微保留对所提供的产品和服务进行更正、修改、增强、改进或其他更改的权利。纳芯微仅授权客户将此资源用于开发所设计的整合了纳芯微产品的相关应用,不视为纳芯微以明示或暗示的方式授予任何知识产权许可。严禁为任何其他用途使用此资源,或对此资源进行未经授权的复制或展示。如因使用此资源而产生任何索赔、损害、成本、损失和债务等,纳芯微对此不承担任何责任。

有关应用、产品、技术的进一步信息,请与纳芯微电子联系([www.novosns.com](http://www.novosns.com))。

苏州纳芯微电子股份有限公司版权所有