

功率器件测试



ASO2407-0008CN01

SIGLENT 是深圳市鼎阳科技股份有限公司的注册商标

声明

- 公司产品受已获准及尚在审批的中华人民共和国专利的保护
- 本公司保留改变规格及价格的权利
- 本手册提供的信息取代以往出版的所有资料
- 未经本公司同意，不得以任何形式或手段复制、摘抄、翻译本手册的内容

产品认证

SIGLENT 认证本产品符合中国国家产品标准和行业产品标准，并进一步认证本产品符合其他国际标准组织成员的相关标准。

联系我们

深圳市鼎阳科技股份有限公司

地址：广东省深圳市宝安区 68 区安通达工业园一栋&四栋&五栋

服务热线：400-878-0807

E-mail: support@siglent.com

网址: <https://www.siglent.com>

1 概述

近年来，随着工业控制市场、新能源汽车市场、新能源发电领域的需求增长，功率器件的相关需求也在不断增加，对功率器件的性能要求也在逐渐提高。功率器件是半导体器件的重要分支，主要用于处理高电压和电流的电能转换和控制，能承受较大的功率。

功率器件目前主要包括以下几种：

1. 二极管：利用其单向导通性，用于电路的整流与稳压等方面。
2. 晶体管：典型的晶体管有双极性晶体管（BJT）和场效应晶体管（FET）等，广泛用于放大器、音频放大器、电源调节器等器件中，用于功率放大和开关电路。
3. 晶闸管：有普通晶闸管（SCR）、双向晶闸管（TRIAC）、可关断晶闸管（GTO）等，用于交流调压和可控整流中。
4. MOSFET：单极型器件，具有开关速度快、驱动功率低、输入阻抗高的特点，适合高频应用，常用于高频开关电源、DC-DC 转换器、电机驱动等对开关速度要求较高的场合。
5. 绝缘栅双极型晶体管（IGBT）：由 MOSFET 和双极型晶体管（BJT）组合而成的符合器件，具有 MOSFET 的高输入阻抗和 BJT 低导通压降的优点同时有着较强的耐压能力，适用于高压应用，同时在电力电子领域都得到了广泛的应用。
6. 新型碳化硅（SiC）和氮化镓（GaN）功率器件：新型宽禁带半导体材料制成的功率器件，有着高耐压、低导通电阻、高开关频率、耐高温的特点，广泛用于新能源汽车、充电桩、太阳能逆变器、工业电源等领域。其中在高压快充的趋势下电动车是新型功率器件最重要的应用场景，800V SiC 平台的应用也在带动 SiC 功率器件的发展。

2 难点与挑战

MOSFET 和 IGBT 在各个领域中得到越来越广泛的应用，如何有效地进行 MOSFET 和 IGBT 相关参数的测试是困扰许多工程师的问题。IGBT 的导通与关断设计的过程较多，对其开关特性的准确测量和分析带来了一定的难度。在测量中同样容易受到寄生参数的影响，器件封装和测试电路中存在的寄生电感、电容等参数在高频和高速开关测试中会对结果造成显著影响导致信号失真与测量误差。同时，MOSFET 和 IGBT 的开关速度快，对其进行动态特性测试时需要高精度的测试设备和快速的响应时间，选择合适的测量仪器进行测试显得格外重要。

在这些功率器件的测试里，需要多种测量仪器与设备协同工作，以更好地表征器件的参数，功率器件动态参数测试项目包括以下几个方面：

- 开关时间（ t_{on} 、 t_{off} ）：测量器件从导通到截止或从截止到导通的时间。
- 开关延迟时间（ $t_d(on)$ 、 $t_d(off)$ ）：功率器件开关过程中，从控制信号开始施加/下降到器件开始导通/关断之间的时间间隔。
- 损耗（ E_{on} 、 E_{off} ）：测量开关过程中的电压和电流以计算器件在开通和关断时的能量损耗。
- 电流上升下降时间（ t_r 、 t_f ）：待测电流从 10% 上升到 90% 额定值所用时间。
- 反向恢复时间（ t_{rr} ）：测量从正向导通到反向截止时，电流恢复到零的时间。

3 解决方案

3.1 双脉冲测试

双脉冲测试是进行 MOSFET 和 IGBT 动态参数测量的常用方法，利用该测试可以更好地评估功率器件的特性，对功率器件开关损耗、电压电流尖峰值、寄生参数等特性进行评估以了解产品的长期可靠性，方便后续产品的优化。在测试中需要两个脉宽不同的电压脉冲，第一个脉冲用于建立初始状态，预热电路使电路中的其他元件达到相对稳定的工作温度，减少温度变化对测试结果的影响，同时为电路中的电感建立一定的电流，为第二个脉冲的测试创造条件。第二个脉冲用于测试功率器件的动态特性，此时利用示波器和差分探头测试器件开关时的电压和电流参数，在第一个脉冲的下降沿观测功率器件的关断过程，第二个脉冲的上升沿观测开通的过程，简化的双脉冲测试电路如图 1 所示。

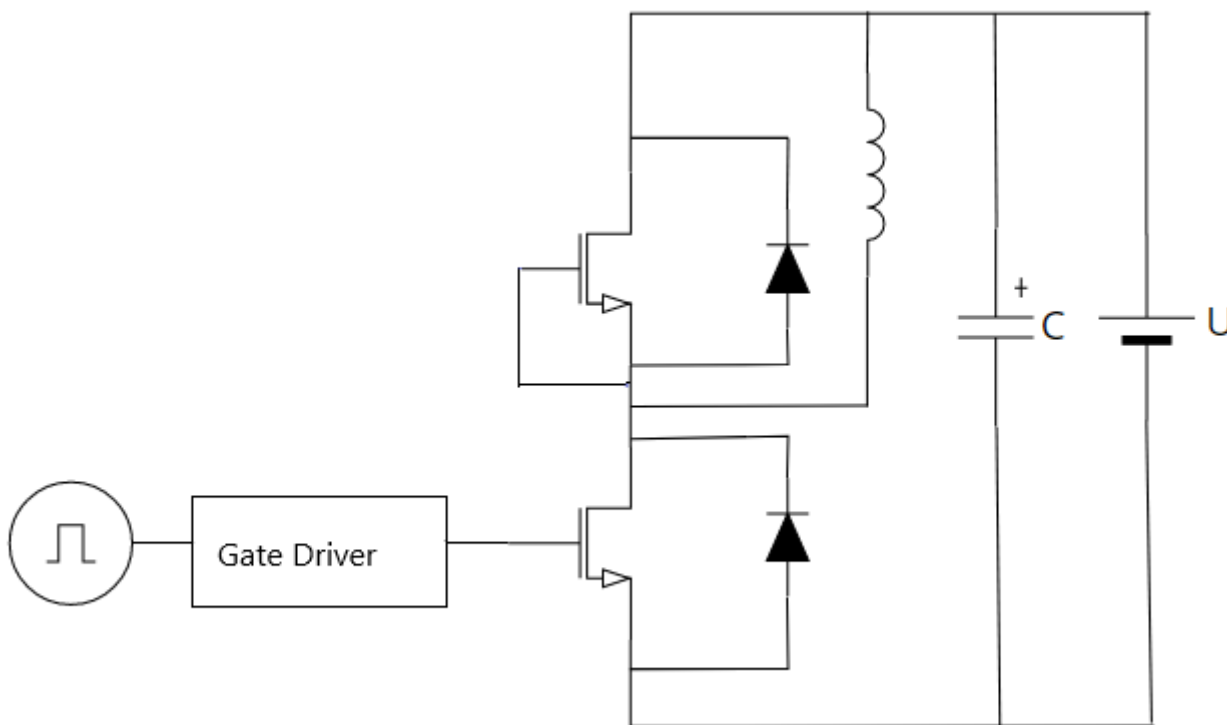


图 1 双脉冲测试电路简化示例

双脉冲测试通常以半桥形式进行测试，如要减少测试过程中可能产生的电场干扰等因素的影响，可以采用全桥结构进行测试。半桥中上管保持常闭状态且并联一个电感，在下管门极中发送双脉冲，检测下管两端的电压 V_{ds} 和集电极电流 I_c ，在双脉冲驱动的短暂开通关断过程中进行功率器件各参数的测试，双脉冲测试中的基本波形如图 2 所示。

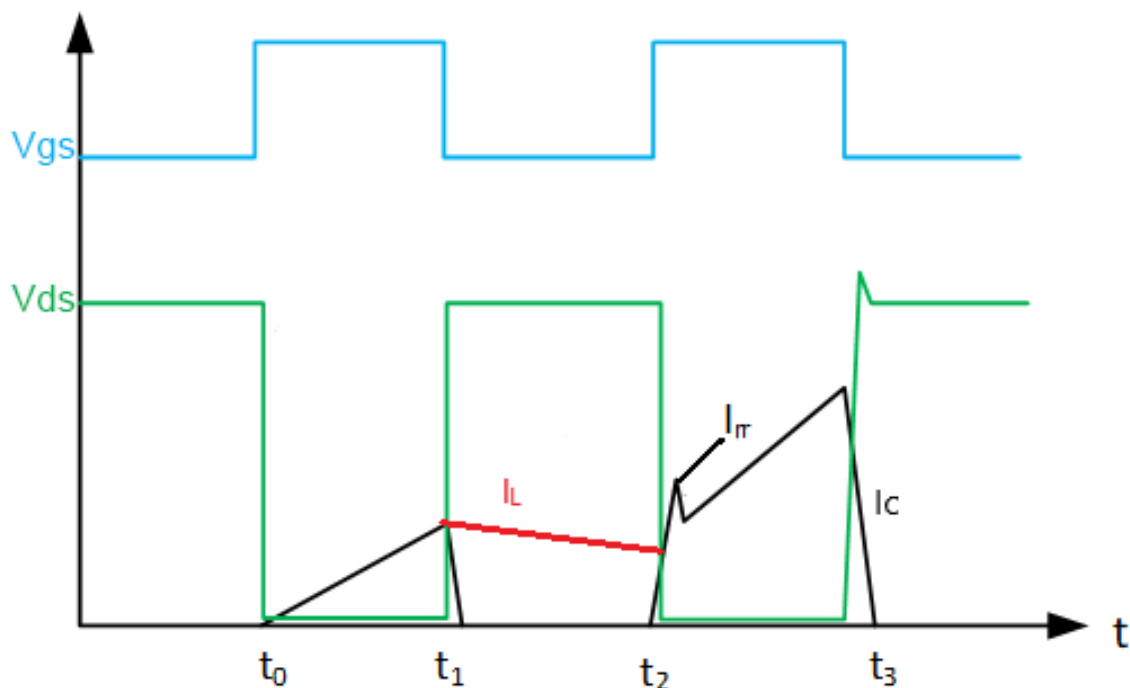


图2 双脉冲测试基本波形示例

如图的蓝色波形为门极发送的双脉冲波形，绿色波形为下管两端的电压 V_{ds} ，黑色的波形是测试到的下管集电极电流 I_c 。在 t_0 时刻门极第一个脉冲到达，此时下管的 IGBT 进入饱和导通状态，电压加在电感上，电感产生的电流线性上升，电流的数值由电压和电感共同决定，在两者都确定的情况下，第一个脉冲持续时间越长，开启时间越长，产生的电流也越大。

进入 t_1 时刻后，第一个脉冲结束，下管关断，此时电感中的电流由上管中的二极管进行续流，该电流缓慢进行衰减，此时的电流探头若放置在下管发射极处，将不会观测到二极管续流时的电感电流。

在 t_2 时刻，第二个脉冲到达，下管再次被导通，续流二极管进入反向恢复，反向恢复电流同样流过下管 IGBT 中，在下管集电极处的电流探头能够捕捉到这一瞬的电流尖峰。

在 t_3 时刻，第二个脉冲结束，下管关断，此时电流较大且由于杂散电感的存在，电压出现尖峰。

根据以上步骤即是双脉冲测试中完整的测试过程，其中可以测得 IGBT 的反向恢复时间、上升时间、下降时间等参数，部分可测得参数图 3 所示，其中的开关损耗参数借助示波器的函数运算功能可以计算得到，对电压和电流信号的乘积进行规定时间内的积分可得到损耗值。

Switching Characteristic, Inductive Load

Parameter	Symbol	Conditions	Value			Unit
			min.	typ.	max.	
IGBT Characteristic, at $T_{vj} = 25^{\circ}\text{C}$						
Turn-on delay time	$t_{d(on)}$	$T_{vj} = 25^{\circ}\text{C},$ $V_{CC} = 600\text{V}, I_C = 25.0\text{A},$ $V_{GE} = 0.0/15.0\text{V},$ $R_{G(on)} = 23.0\Omega, R_{G(off)} = 23.0\Omega,$ $L_{\sigma} = 80\text{nH}, C_{\sigma} = 67\text{pF}$ L_{σ}, C_{σ} from Fig. E Energy losses include "tail" and diode reverse recovery.	-	27	-	ns
Rise time	t_r		-	41	-	ns
Turn-off delay time	$t_{d(off)}$		-	277	-	ns
Fall time	t_f		-	17	-	ns
Turn-on energy	E_{on}		-	1.80	-	mJ
Turn-off energy	E_{off}		-	0.85	-	mJ
Total switching energy	E_{ts}		-	2.65	-	mJ

图3 双脉冲测试中部分可测参数

这个特殊的脉冲序列可以在数学工具软件中编辑生成，并调整其中脉冲的参数，最后将文件导入任意波形发生器中进行输出。该方法较为繁琐切不便于参数调整，鼎阳科技函数任意波形发生器内置了双脉冲功能，在信号源界面直观地显示输出双脉冲波形的特性，并且能够更加简便进行脉冲宽度等参数的设置，界面操作简便，引导清晰。节约工程师们的时间，让工程师能够更专注于功率器件测试和问题的调试和解决上，相关的多脉冲设置界面如图4所示。

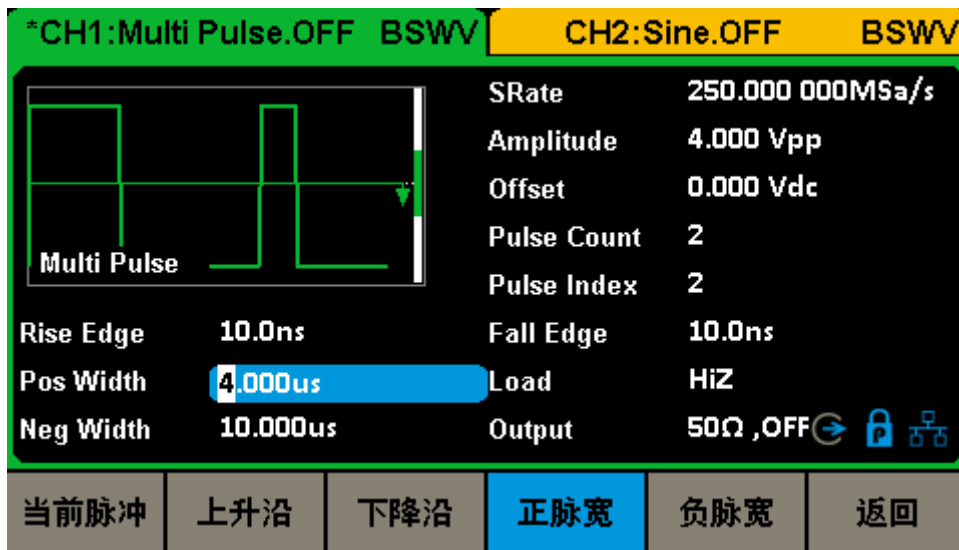


图4 信号源的多脉冲输出设置界面

在多脉冲界面中可以选择脉冲的数量和幅度，并且可以针对每个脉冲设置相关的上升下降沿时间和正负脉宽的宽度，界面简洁，操作逻辑清晰。

在示波器上鼎阳科技同样提供用于双脉冲测试的测试软件，通过双脉冲功能可以减少手动测试的操作，有效缩短测试时间。



图 5 双脉冲测试示例

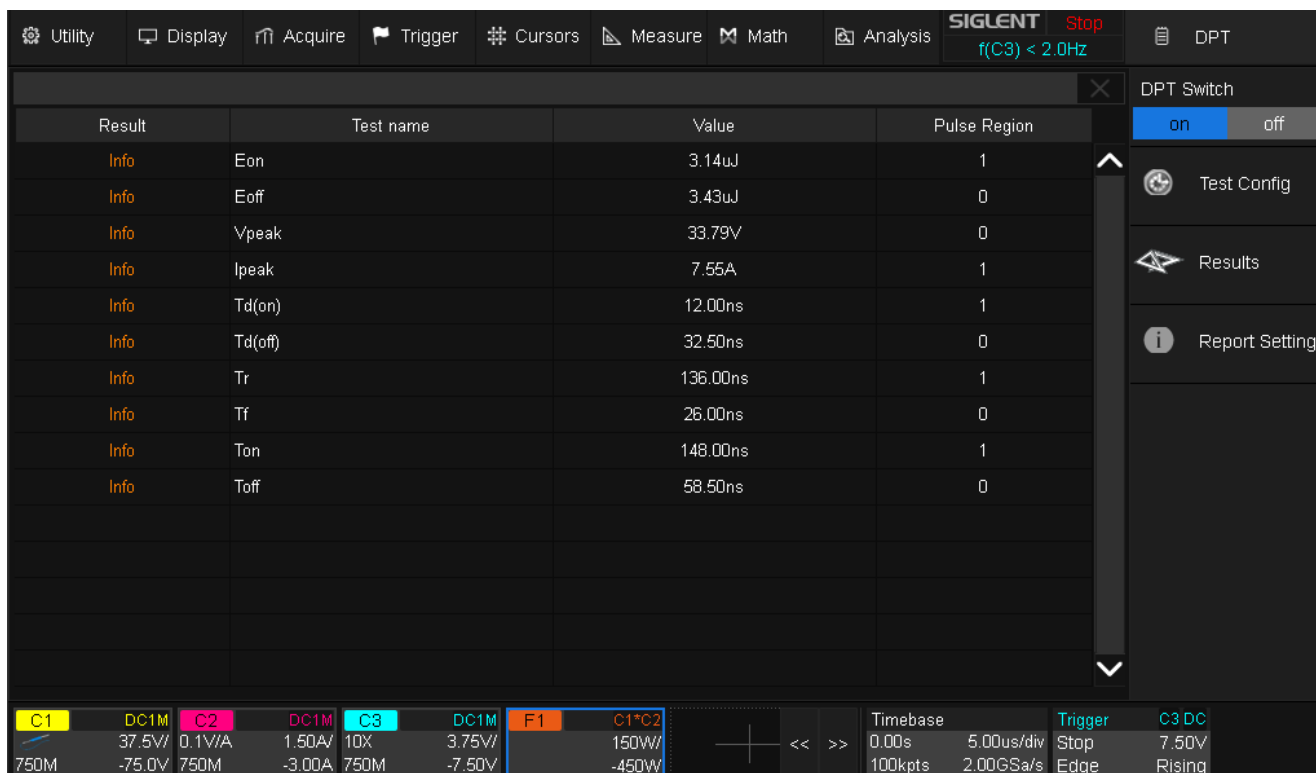


图 6 测试结果展示界面

4 总结

鼎阳科技提供用于功率器件测试的相关方案，其中双脉冲测试是测量功率器件的动态参数的主要方法，能够准确表征器件的相关特性。构建用于测试的双脉冲以及针对相关参数进行测试一直都是困扰许多工程师的难点。鼎阳科技任意波形发生器提供了在波形界面直接选择的多脉冲构建方法，为用户提供快速便捷的脉冲信号编辑。同时在示波器中提供双脉冲测试应用，能够对双脉冲测试中的参数进行便捷测试，减少测试时间并提供直观的测试结果报告。

关于鼎阳


鼎阳科技 (SIGLENT) 是通用电子测试测量仪器领域的行业领军企业，A股上市公司。

2002年，鼎阳科技创始人开始专注于示波器研发，2005年成功研制出鼎阳第一款数字示波器。历经多年发展，鼎阳产品已扩展到数字示波器、手持示波表、函数/任意波形发生器、频谱分析仪、矢量网络分析仪、射频/微波信号源、台式万用表、直流电源、电子负载等基础测试测量仪器产品，是全球极少数能够同时研发、生产、销售数字示波器、信号发生器、频谱分析仪和矢量网络分析仪四大通用电子测试测量仪器主力产品的厂家之一，国家重点“小巨人”企业。同时也是国内主要竞争对手中极少数同时拥有这四大主力产品并且四大主力产品全线进入高端领域的厂家。公司总部位于深圳，在美国克利夫兰、德国奥格斯堡、日本东京成立了子公司，在成都成立了分公司，产品远销全球80多个国家和地区，SIGLENT已经成为全球知名的测试测量仪器品牌。

联系我们

深圳市鼎阳科技股份有限公司
全国免费服务热线：400-878-0807
网址：www.siglent.com

声明

 SIGLENT 鼎阳 是深圳市鼎阳科技股份有限公司的注册商标，事先未经过允许，不得以任何形式或通过任何方式复制本手册中的任何内容。
本资料中的信息代替原先的此前所有版本。技术数据如有变更，恕不另行通告。

技术许可

对于本文档中描述的硬件和软件，仅在得到许可的情况下才会提供，并且只能根据许可进行使用或复制。

