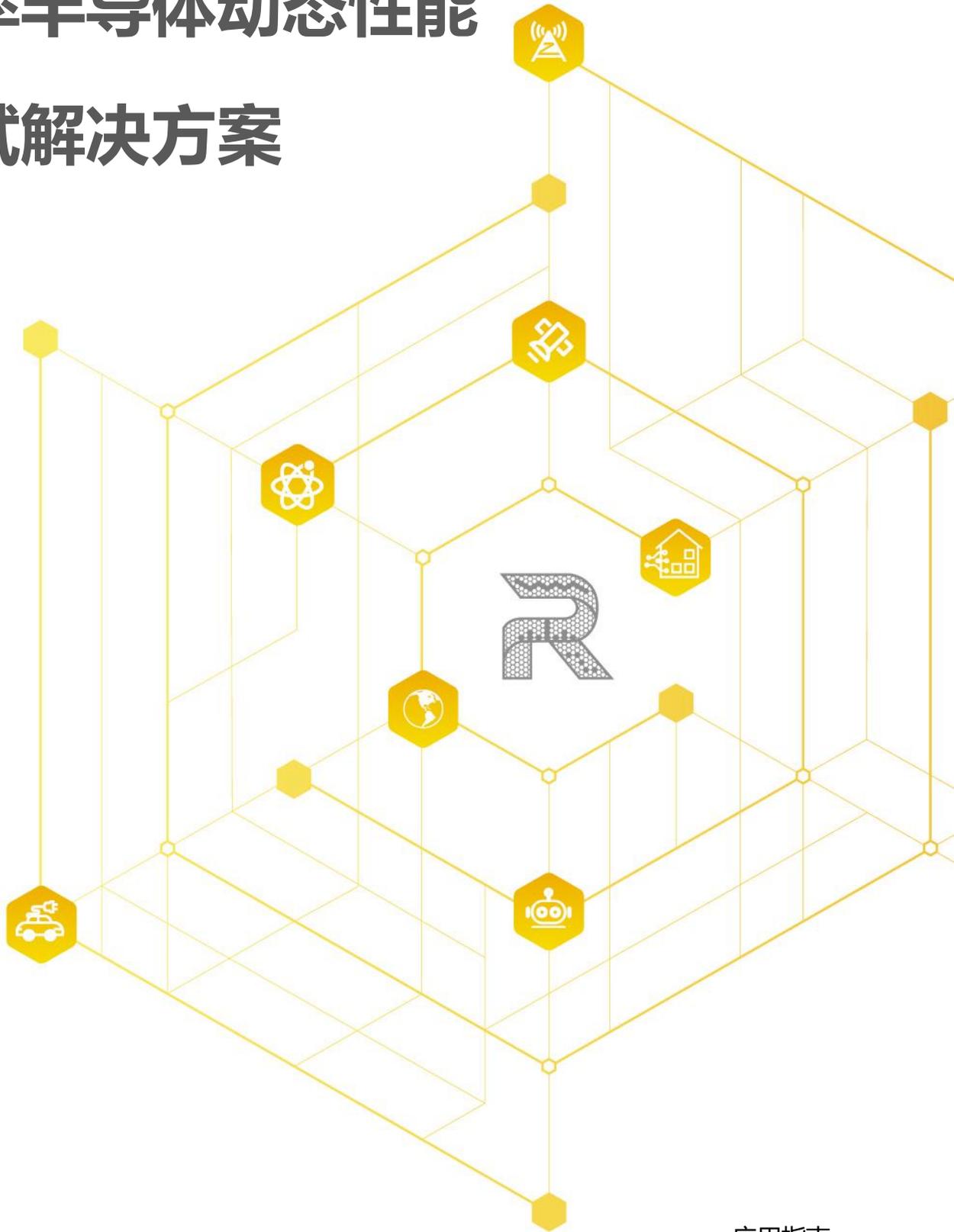




RIGOL

功率半导体动态性能 测试解决方案



应用指南

ANW01000-1220-0032

概览

功率变换器是电能利用的重要装置，在生产和生活中发挥着重要作用。功率变换器的核心是功率半导体器件，很大程度上决定了功率变换器的性能。经过近几十年的发展，功率半导体器件已经形成了覆盖几伏到几千伏、几安到几千安的庞大家族，常用的功率半导体器件类型包括MOSFET、IGBT、二极管等。

大部分功率器件是基于Si半导体材料的，其特性已接近理论极限，成为功率变换器发展的瓶颈。与Si功率器件相比，SiC功率器件具有更高的开关速度、能够工作在更高的结温下、可以同时实现高电压和大电流。这些特性能够显著提升功率变换器的性能，获得更高的电能转换效率、实现更高的功率密度、降低系统成本。SiC功率器件适合应用于汽车牵引逆变器、电动汽车车载充电机、电动汽车充电桩、光伏、不间断电源系统、能源储存以及工业电源等领域。目前、国内外SiC产业链逐渐成熟，主流功率半导体器件厂商都已经推出了SiC功率器件产品，成本也不断下降，SiC功率器件的应用正处于爆发式增长中。

测试需求

功率半导体动态参数测试（以半桥电路为基础已经发展出了一套完善的开关管开关特性评估方法，双脉冲测试）是功率半导体研发与应用中的核心评估工具，不仅提供关键动态参数，还通过模拟实际工况揭示器件的潜在风险与优化方向。以SiC和GaN为代表的第三代半导体的快速发展和应用给新能源汽车行业、电源行业等带来颠覆性的变化，也给设计工程师带来了非常大的测试挑战。如何保证选用的高速功率器件能稳定可靠的运行在自己的产品中，需要了解功率器件的动态特性。

测试目的

- 1、测量关键动态参数。测量开关损耗、开关时间、反向恢复特性等动态参数，用于优化系统效率、评估器件响应速度、判断其在换流过程中的安全裕量。
- 2、验证驱动电路设计。评估栅极驱动电阻的合理性，优化驱动信号上升/下降斜率以减少开关震荡。测试驱动芯片的保护功能是否有效。
- 3、对比器件性能。在不同的电压、电流、温度条件下测试，对比不同材料（Si IGBT和SiC MOSFET）或不同厂商器件的性能差异，支持选型决策。
- 4、分析寄生参数影响。
- 5、评估极端工况下的可靠性。

测试原理

如图1所示，以SiC MOSFET为例。双脉冲测试电路由母线电容 C_{Bus} 、被测开关管 Q_L 、陪测二极管 VD_H 、驱动电路和负载电感 L 组成。测试中，向 Q_L 发送双脉冲驱动信号，就可以获得 Q_L 在指定电压和电流下的开关特性。实际功率变换器的换流模式有MOS-二极管和MOS-MOS两种形式，进行脉冲测试时需要选择与实际变换器相同的形式和器件。对于MOS-MOS形式，只需要将二极管 VD_H 换成SiC MOSFET Q_H ，并在测试中一直施加关断信号即可。在测试二极管反向恢复特性时，被测管为下管，负载电感并联在其两端，陪测管为上管，测试中进行开通关断动作，如图2所示。在整个测试中， Q_L 进行了两次开通和关断，形成了两个脉冲，测量并保留 Q_L 的 V_{GS} 、 V_{DS} 、 I_{DS} 波形，就可以对其第一次关断和第二次开通时动态特性进行分析和评估了。

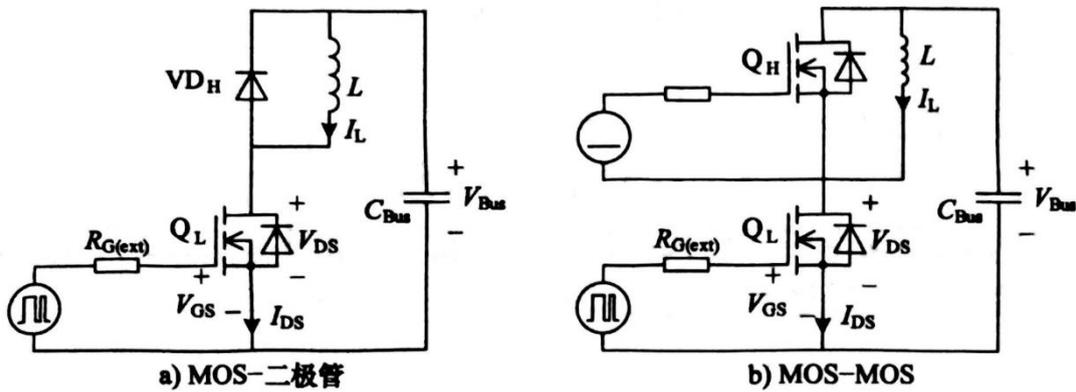


图1 双脉冲测试电路

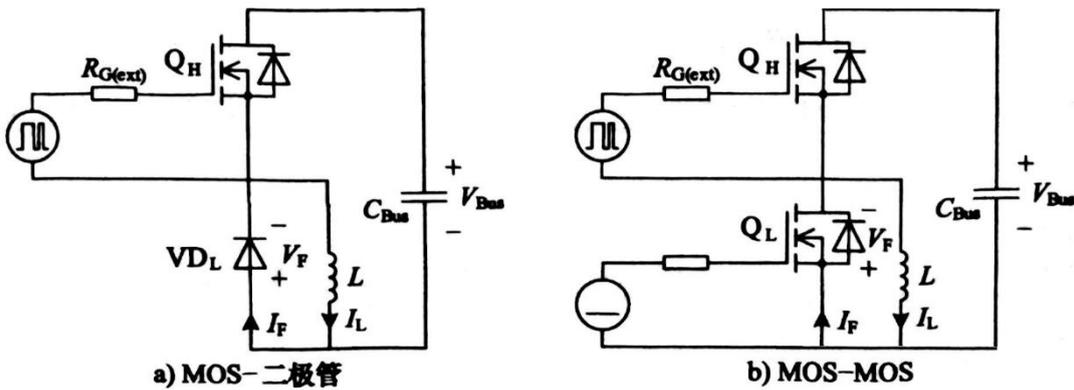


图2 二极管反向恢复测试电路

典型应用场景

- 1、电动汽车驱动系统：验证逆变器中IGBT/SiC模块的开关损耗和热稳定性。
- 2、可再生能源：测试光伏逆变器和储能变流器（PCS）的功率器件在高频开关下的可靠性。
- 3、工业变频器：评估电机驱动电路中器件的动态响应和电压应力。
- 4、开关电源：优化高频DC-DC变换器的效率与EMI特性。

测试平台搭建

RIGOL功率半导体动态参数测试方案，支持单脉冲、双脉冲及多脉冲测试，集成了示波器、信号发生器、低压直流电源、高压直流电源、电压电流探头和软件。测试项目包括关断参数、开通参数和反向恢复参数。具体有关断延迟 $t_d(\text{off})$ 、下降时间 t_f 、关断时间 t_{off} 、关断能量损耗 E_{off} 、开通延迟 $t_d(\text{on})$ 、上升时间 t_r 、开通时间 t_{on} 、开通能量损耗 E_{on} 、反向恢复时间 t_{rr} 、反向恢复电流 I_{rr} 、反向恢复电荷 Q_{rr} 、反向恢复能量 E_{rr} 、电压变化率 dv/dt 和电流变化率 di/dt 等。

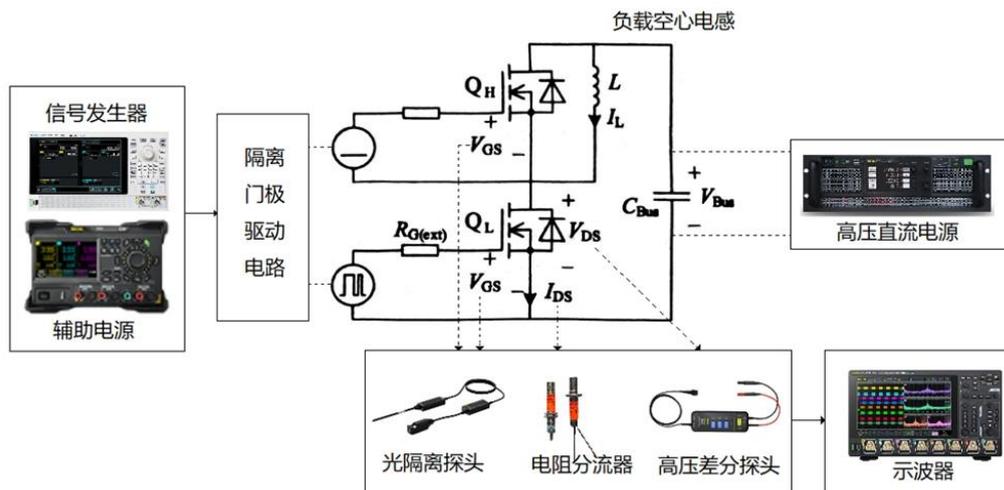


图3 双脉冲测试平台结构

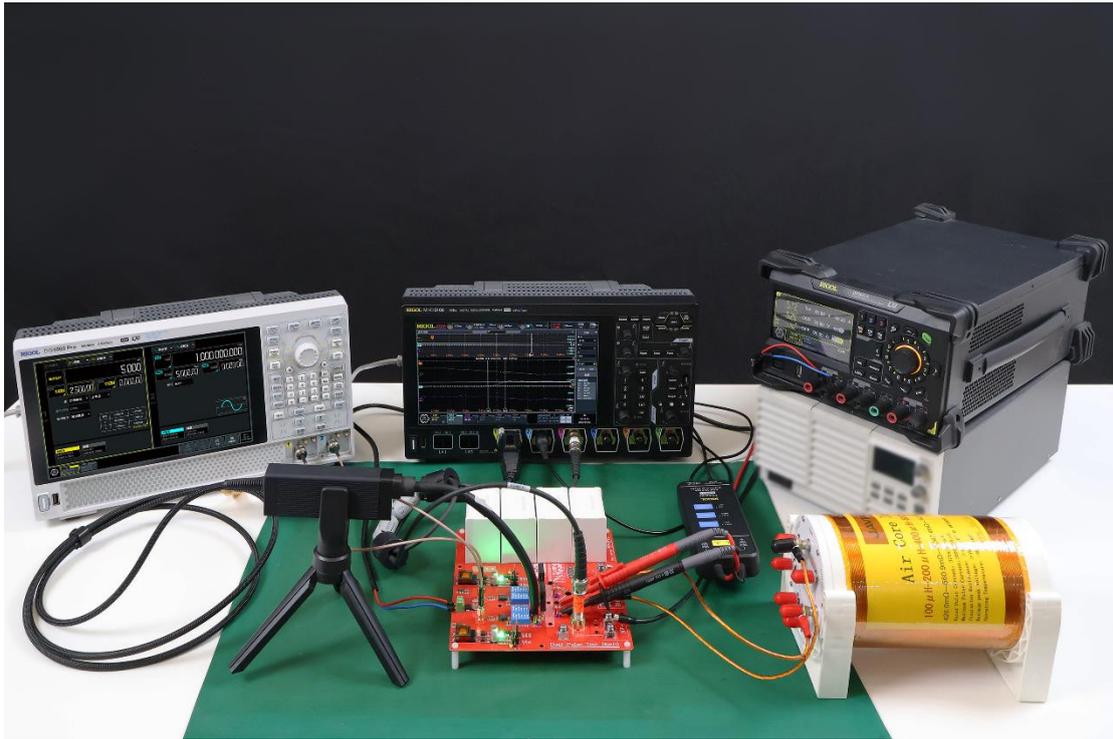


图4 双脉冲测试桌面系统



图5 下降时间测试T_{off}

图6 关断损耗E_{off}

- 1、DG5000 Pro产生双脉冲驱动信号；
- 2、光隔离探头准确测试开关管栅极电压V_{gs}和陪测管栅极串扰信号，也可用于测量栅极电荷；
- 3、MHO5106示波器捕获电压电流波形并计算。

方案特点

- 1、可靠、可重复地测试IGBT及MOSFET（包括第三代半导体器件SiC、GaN）功率半导体动态特性；
- 2、测量的特性参数包括开启、关断、开关切换、反向恢复、栅极驱动、开关损耗等参数；
- 3、支持客户自定义夹具；
- 4、使用普源示波器和探头，可准确补偿探头时间延迟，专用的开关损耗算法，提供可靠的测试结果；
- 5、独特的光隔离探头，最高1GHz带宽高达180dB共模抑制比，准确测试驱动信号的真实情况。

方案配置

设备	性能指标	应用优势
DHO/MHO5000	6/8通道 1GHz带宽 4GSa/s采样率 500Mpts存储深度	同步捕获开关管Vgs、Vds、Id， 陪测管栅极串扰、Vds、Id等多路信号，支持长时间波形记录与高精度触发
PIA1000光隔离探头	最高1GHz带宽 共模抑制比最高可达180dB 多个可选差模电压范围，最高可达±2500V	消除地环路干扰，精准测量浮地小信号（如上管Vgs，上管串扰，以及栅极电压信号）
DG5000 Pro	支持单通道任意脉宽的多脉冲输出，以及双通道带有死区时间控制的多脉冲输出	独特的UI设计，方便快捷的生成任意脉宽的多脉冲信号

全面助力智慧世界和科技创新



- 📶 蜂窝-5G/WIFI
- 📍 UWB/RFID/ ZIGBEE
- 🔗 数字总线/以太网
- 📡 光通信

- 🧠 数字/模拟/射频芯片
- 📁 存储器及MCU芯片
- 🔌 第三代半导体
- ☀️ 太阳能光伏电池

- 🚗 新能源汽车
- ☀️ 光伏/逆变器
- 🔌 电源测试
- 🚗 汽车电子

为行业客户提供测试测量产品和解决方案

RIGOL开放实验室

地 址：北京、苏州、深圳、西安
开放时间：工作日 9:00 am~6:00 pm
预约方式：实验室工程师小源 18061921901
实验室微信号 18061921901
RIGOL客服热线：400-620-0002
官网预约网址：
<https://www.rigol.com/quote/Lab-appoint.html>

RIGOL®是普源精电科技股份有限公司的英文名称和商标。
本文档中的产品信息可不经通知而变更，有关RIGOL最新的产品、应用、服务等方面的信息，请访问RIGOL官方网站：

www.rigol.com



RIGOL开放实验室微信号



RIGOL实验室视频号



RIGOL官方微信



RIGOL官网