

干货必读 | 光隔离探头为什么在双脉冲测试中不可或缺

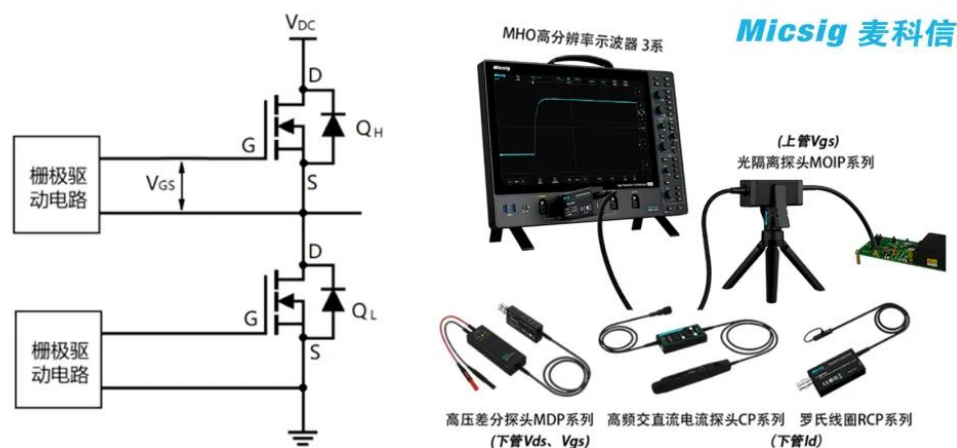
宽禁带 (WBG) 半导体材料, 如碳化硅 (SiC) 和氮化镓 (GaN) 这些材料不仅在耐高温和耐高压方面表现出色, 还具备低损耗、快速开关频率等特性。然而, 要充分发挥这些先进材料的潜力, 精确的测试和测量技术至关重要。特别是在双脉冲测试中, 光隔离探头不仅确保了测试的安全性, 还提高了测试测量的准确性和可靠性。本文将深入探讨光隔离探头在双脉冲测试中不可或缺的原因。

双脉冲测试 (DPT) 是一种用于评估电力电子器件如 IGBT (绝缘栅双极晶体管) 或 MOSFET (金属氧化物半导体场效应晶体管) 等功率器件的开关性能的实验方法。该测试通过向器件施加两个短时间的电压脉冲, 模拟器件在实际电路中的开关过程, 进而测量和分析器件的开关特性, 优化器件的驱动和应用设计, 并用于故障诊断和仿真模型的验证。

双脉冲测试中示波器与探头的选择

以 MOSFET 的半桥栅极驱动电路为例, 我们需要测试下管的 V_{ds} 、 I_d 和 V_{gs} , 同时也需要观察上管的 V_{gs} 。选用麦科信 MHO 高分辨率示波器 3 系, 500MHz 带宽, 3GSa/s 采样率, $\leq 1\%$ 的精度, 4 个通道可以同时观察上下管的开关, 正好满足 DPT 的测试需求。





如果要准确的准确地测量 I_d 波形,要保证使用的电流探头有足够的带宽。可以考虑麦科信高频交直流电流探头 CP 系列,它具有高达 100MHz 的带宽,精度在 1%之内,分辨率能够达到 1mA,提供最大 30A 的测量范围。对于更大电流的测试需求,可使用图中罗氏线圈 RCP 系列。

但发现不少用户产生疑问:“之前一直使用的麦科信 MDP 系列高压差分探头,在测试硅器件的时候表现很好,7000V 的电压都能测,带宽也不低(500MHz),现在切换到 GaN、SiC 器件了,按说可以满足这些器件的带宽指标参数了,测试下管也可以,但为什么测试上管的电压总出问题?”

CREE 		C3M0120065J		Silicon Carbide Power MOSFET C3M™ MOSFET Technology	
Symbol	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Unit
$t_{d(on)}$	Turn-On Delay Time		8		ns
t_r	Rise Time		9		
$t_{d(off)}$	Turn-Off Delay Time		18		
t_f	Fall Time		9		

6.5. Electrical Characteristics

Typical conditions: $V_{DS} = 400\text{ V}$, $V_{CC} = 15\text{ V}$, $V_{DZ} = 6.2\text{ V}$, $F_{SW} = 1\text{ MHz}$, $T_{AMB} = 25\text{ °C}$, $I_D = 4\text{ A}$, $R_{DD} = 10\text{ }\Omega$ (or specified)

SYMBOL	PARAMETER	MIN	TYP	MAX	UNITS
T_{ON}	Turn-on Propagation Delay		11		ns
T_{OFF}	Turn-off Propagation Delay		9		ns
T_R	Drain rise time		6		ns
T_F	Drain fall time		3		ns

碳化硅（SiC）和氮化镓（GaN）的开关动作时间

通过上图数据分析对比后我们发现，碳化硅（SiC）和氮化镓（GaN）的开关速度都达到了 ns 级别，这一特点的显著优势，就是降低了开关电源的能耗，但这也给测试带来了巨大挑战。在半桥电路中，上管 V_{gs} 电压悬浮在不断导通与关断的下管 V_{ds} ， V_{ds} 电压在几个纳秒的时间内就能完成零伏到上千伏的跳变，高压叠加高频，使得高次谐波分量显著增加。而我们的被测对象 V_{gs} 的差模电压往往只有十几伏，它会显著受到 V_{ds} 高次谐波分量部分带给它的共模干扰，我们在测量的时候需要尽量抑制这个共模干扰，这就要求测试设备在高频段依然具备很高的共模抑制能力，这个参数指标叫做共模抑制比（CMRR）。

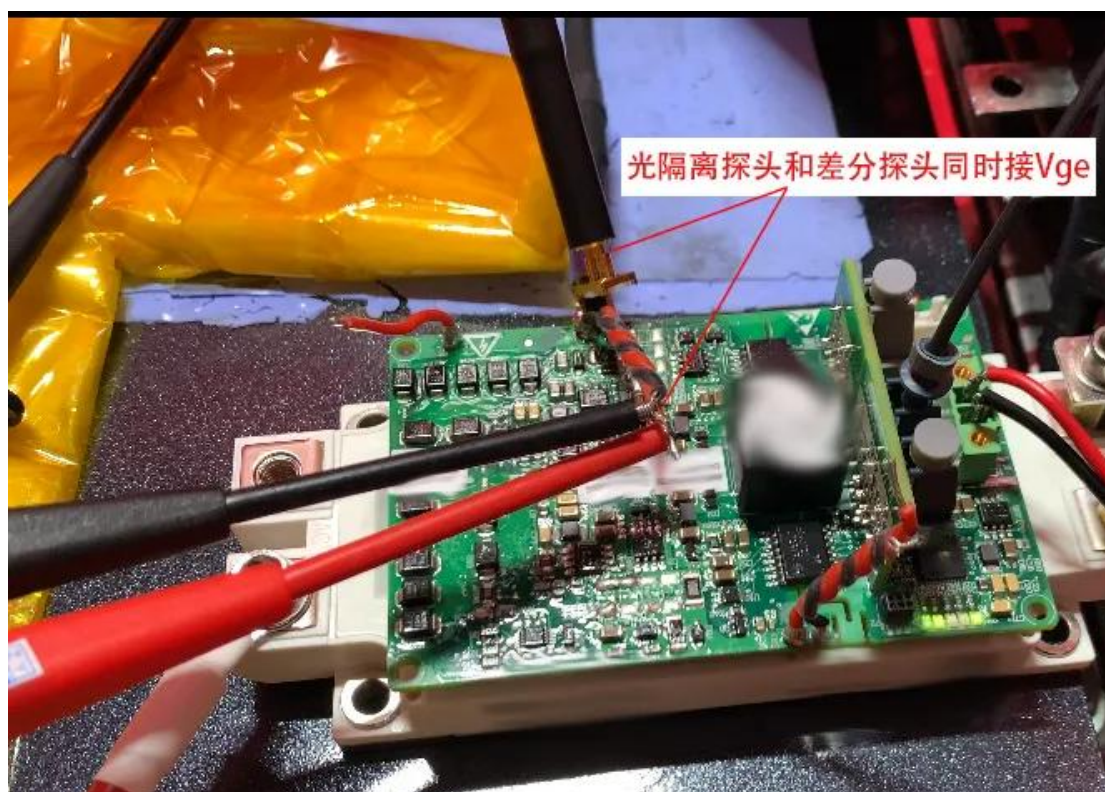
以客户提到的麦科信 MDP 系列为例，在 100KHz 时， $CMRR > -70\text{ dB}$ ；在 20MHz 时， $CMRR > -40\text{ dB}$ ；120MHz 时， $CMRR$ 为 $> -26\text{ dB}$ ，对于差分探头而言，这



个 CMRR 在同行里已经非常优秀，但满足我们测量上管 V_{gs} 的要求还是远远不够，我们需要一个测试设备在高频段依然具有很高的 CMRR。

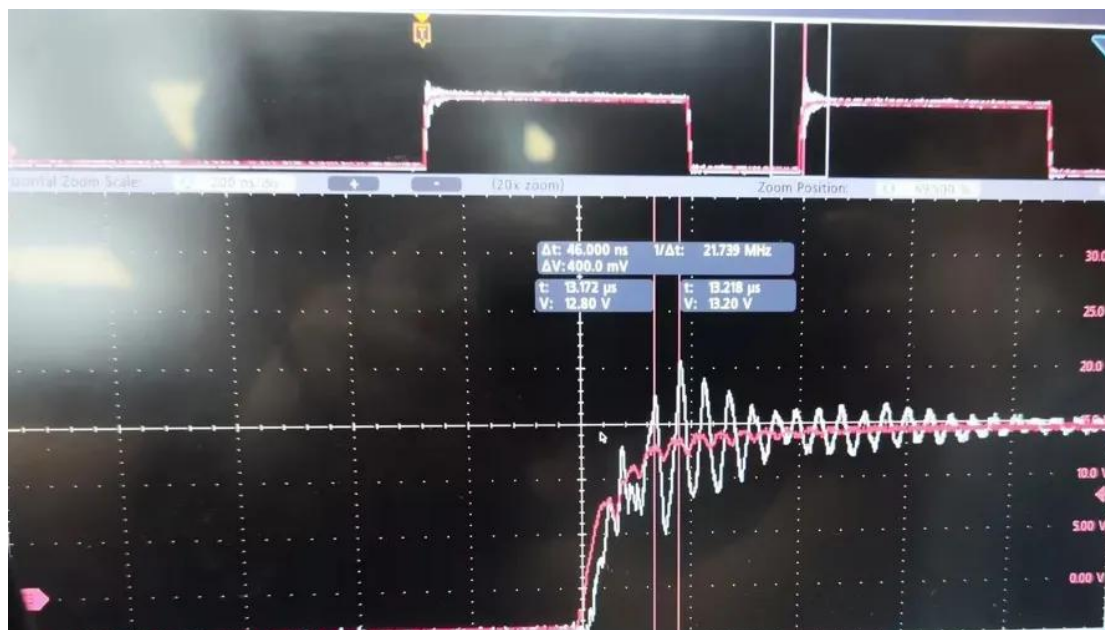
高压差分探头和光隔离探头实测对比

关于 CMRR 对测试的影响，我们做个对比，看看高压差分探头在测试时产生的问题，以及具有高 CMRR 的探头测试对比情况：



碳化硅 IGBT 双脉冲测试，光隔离探头和差分探头同时连接上桥臂 V_{ge} 接线图

测试方式：被测器件 SiC 开关，具有上、下管， V_{ce} 电压 500V 左右，同时使用高压差分探头和光隔离探头（使用麦科信光隔离探头 MOIP 系列）同时连接上管 V_{ge} 信号，进行双脉冲测试。



碳化硅 IGBT 双脉冲测试，光隔离探头（红色波形）和差分探头（白色波形）同时测量上桥臂 V_{ge} 波形图

上图为测试结果图，图中白色信号是高压差分探头测试结果，可以看到在 V_{ge} 上升时刻，上下震荡剧烈，几乎分辨不出本来的波形；我们曾使用高压差分探头测试过一个 V_{ce} 电压达到 800V 时的上管 V_{ge} 信号，震荡已经超过了 SiC 的关断电压，会严重影响工程师的判断。

而图中红色的波形是采用光隔离探头测试的，信号的干扰就小多了。如果采用光隔离探头单独测试的话，几乎没有干扰，这上面看到的干扰是高压差分探头对光隔离探头造成的影响。事实上，光隔离探头其底噪相对于高压差分探头更低，精度更高，能够测到的共模电压也更大。这是怎么做到的呢？

光隔离探头的优势



麦科信采用独家 SigOFIT™技术，测试之前选择适合被测信号大小的衰减器，使得能够满量程测试从±0.01V 至±6250V 的差模信号，在适应大范围测试的同时提高测试精度（达到 1%），降低底噪，将信噪比提高。

型号	MOIP100P	MOIP200P	MOIP350P	MOIP500P	MOIP800P	MOIP1000P
带宽	100MHz	200MHz	350MHz	500MHz	800MHz	1GHz
上升时间	≤3.5ns	≤1.75ns	≤1ns	≤700ps	≤438ps	≤350ps
共模抑制比	DC: 180dB 100MHz: 128dB	DC: 180dB 200MHz: 122dB	DC: 180dB 350MHz: 118dB	DC: 180dB 500MHz: 114dB	DC: 180dB 800MHz: 110dB	DC: 180dB 1GHz: 108dB
差模电压	±6250V			±5000V		
底噪	<0.45mVrms			<0.45mVrms		
直流增益精度	1%					
共模电压	85kVpk					
接口	通用BNC					

麦科信光隔离探头 MOIP 系列参数表

麦科信 MOIP 系列光隔离探头，最高可达 1GHz 的带宽，其最小底噪可以达到 0.45mVrms 以内。在 1GHz 频段，CMRR 依然高达 100dB 以上。因此，使用光隔离探头测量上管 Vgs 就无需再考虑共模干扰的影响，完美解决了高压差分探头 CMRR 不足的问题。



麦科信光隔离探头 MOIP 系列



微信公众号



麦科信官网

此外，差分探头由于引线长（一般在 20cm 左右），这两根输入线可以看作是一个天线，会接收外界的磁场干扰，由于氮化镓的开关速度极快，其产生的磁场穿过高压差分探头输入端时就会导致震荡，有时候这个震荡超过了一定极限，就会引起氮化镓器件瞬间烧毁炸管。而光隔离探头采用 MCX 或 MMCX 连接，引线极短，几乎没有天线效应，寄生电容在几 pF 以内，断绝了测试导致的寄生产生的安全隐患。

总结

综上所述，光隔离探头在各方面性能上其实已经全面超越了差分探头，而对于有需求进行双脉冲实验的用户，麦科信光隔离探头更是不二之选。

