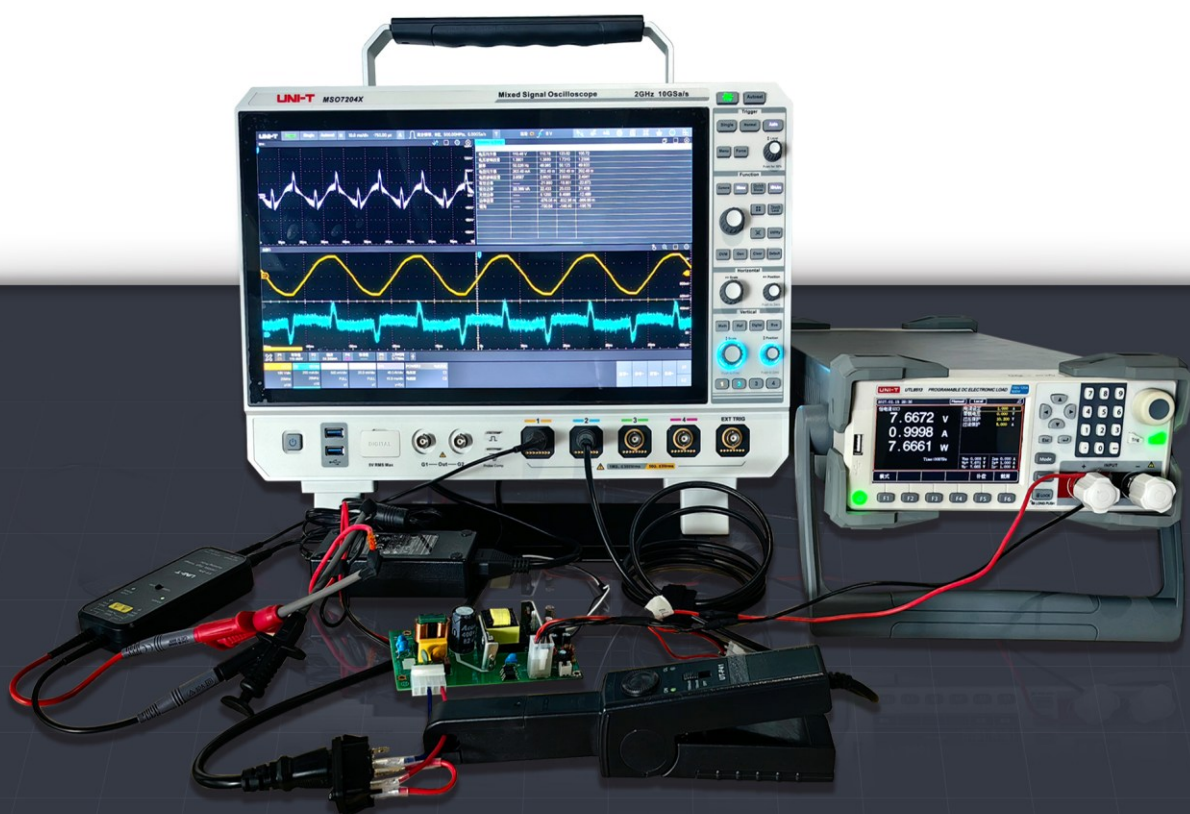


UNI-T

高级电源分析解决方案

Advanced Power Analysis Solution

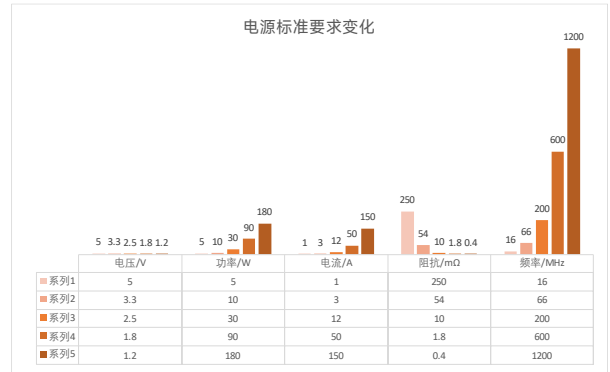


背景介绍

随着半导体工艺的提高，大规模数字电路广泛应用，高速数字电路的集成度越来越高，在单芯片内集成了千万个数字门电路。大规模的门电路在开关切换时，会产生开关噪声、串扰和供电电源变化等问题。

特别是现在随着芯片制艺的发展，国内已出现 5nm 制程的芯片，国际上更是高达 2nm 甚至更低。如此高集成度的芯片要求供电电压越来越低，反之电流将越来越大，留给电源工程师的噪声裕量越来越少，甚至随着高速信号的发展，电源质量也成为影响信号质量的一个重要部分，所以在电源系统中对于电源完整性的测试显得尤为重要

电源网络要求：



电源工程师工作流程：

<p>常见的评估指标：</p> <p>最大功率和工作温度、效率和性能、温度特性和稳定性、开关速度和响应时间 耐压和抗电磁干扰能力...</p>	<p>阶段二：</p> <p>电源原型板设计和测试 电源拓扑、电源平面、电源轨、PDN、滤波电路...</p>	<p>常见测试项目：</p> <p>谐波测试、EMI 预扫、待机标准测试 老化试验</p>
<p>阶段一：</p> <p>功率器件选型 (IGBT/MOSFET/BJT) 功率 IC (AC-DC/DC-DC/DC-AC) 电源管理芯片、驱动 IC</p>	<p>常见测试项目：</p> <p>电源质量、开关损耗、谐波分析、纹波测试、安全工作区、涌入电流、启动/关闭时间、环路响应分析</p>	<p>阶段三：</p> <p>产品合格认证</p>



MSO7000X 系列混合信号示波器电源分析套件 (MSO7000X-PWR)

使用 MSO7000X 系列混合信号示波器上的电源分析功能，您可以更深入地了解电源质量和可靠性。MSO7000X 带宽高达 2 GHz，采样率高达 10GSa/s，标配 1Gpts 存储深度，深度流畅的用户交互界面搭配 15.6 英寸电容触摸屏，为您的分析工作提供了有力的硬件保障。同时，高带宽示波器、分析软件、电压探头和电流探头相结合，图形化的分析工具展示测试数据，即使你不是电源方面专家，您也能一眼看出问题所在。

MSO7000X-PWR 分析功能

■ 电源质量

针对输入级电源分析，通过测试输入端电压和电流以及功率，评估输入交流线路的质量，通过功率图和测试图表可直观查看测量情况。

■ 谐波分析

针对电源输入端电压/电流的谐波情况进行分析，对输入信号作 FFT 以获得各谐波分量。替代了频谱分析仪对谐波的测量。谐波数量最高可达 100 次谐波，可通过谐波直方图和结果表直观查看各谐波分量的功率情况。

■ 开关损耗

电源内部损耗可大致分为：开关损耗、导通损耗、附加损耗和电阻损耗。这些损耗会在有损元器件中同时出现，而功率开关损耗是开关电源内部最主要的两个损耗源之一。

开关损耗分析主要测量功率器件在开关阶段和传导阶段的功率和能量损失。可通过功率图和结果表直观查看这些损耗。

■ 纹波分析

纹波分析是电源必测项目之一，反映了直流电源电压的调节能力和滤波质量，纹波的来源主要由工频纹波（与工频频率有关的 AC 信号数量）、开关纹波（与开关频率有关的 AC 信号）以及周围信号产生的干扰或者负载突变等等，这些问题在 MSO7000X-PWR 软件中都可以完成。

■ 安全工作区

安全工作区 (SOA) 是指包含 (IGBT、MOSFET、SiC FET、GaN 高电子迁移率晶体管) 等多达上万种功率元器件在不发生自损坏或性能下降的情况下的工作电流和电压条件，特别是对电源或失效分析工程师来说，必须密切关注 SOA 模版测试结果，并确保器件不会在定义的极限线之外工作，如果超出了这些限制，可靠的设计是不可能实现的。

■ 环路分析

环路分析反映开关电源的环路稳定性，利用选配的内置函数/任意波形发生器的优势，MSO7000X-PWR 可以直接在示波器上进行环路响应分析，通过波特图和增益/相位裕量测量，开发人员可以掌握电源控制环路的稳定性，从而达到任何状态下的负反馈，这种方式也省去大金额的购买网络分析仪或环路分析仪的成本。



电源质量分析：

通过对输入电源功率质量测试分析，有效评判出其输入的功率以及失真水平，此测试为工频频率优化设计，也是电源输入质量的第一道关卡。

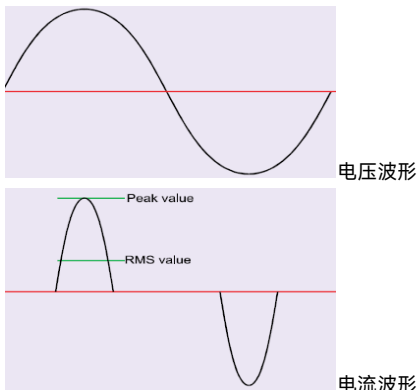
测试项目：

输入电压：电压有效值、电压波峰因素、电压频率

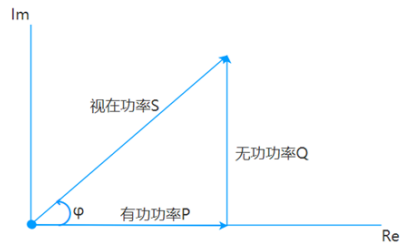
输入电流：电流有效值、电流波峰因素

输入功率：有功功率、视在功率、无功功率、功率因素以及相角等。

电压有效值\电流有效值：



波峰因素=峰峰值/有效值



有功功率：在交流电路中，电阻元件上消耗的功率。

无功功率：在交流电路中，电容或电感元件只进行能量交换，而不消耗能量，这一部分功率称作无效功率。

视在功率：在交流电路中，电压和电流的乘积。表示变压器等设备的容量。

功率因素：电路中有功功率和视在功率的比值，通常用来描述电路中的负载效应，当功率因素=1时，此时电路表现为纯负载电路，有功功率=视在功率，此时电路的效率最高。

相角：功率因素角

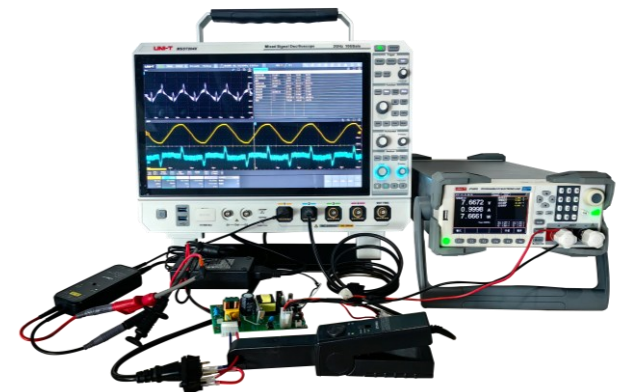
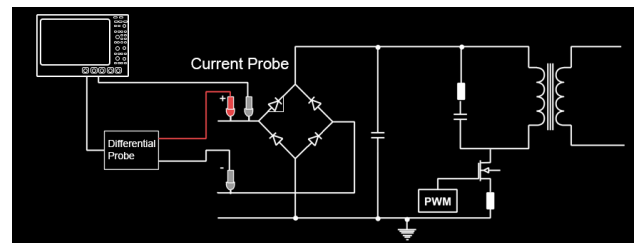
$$\cos \Phi = \frac{\text{有功功率 } P}{\text{视在功率 } S} = \frac{\text{有功功率 } P}{\sqrt{(\text{有功功率 } P)^2 + (\text{无功功率 } Q)^2}}$$

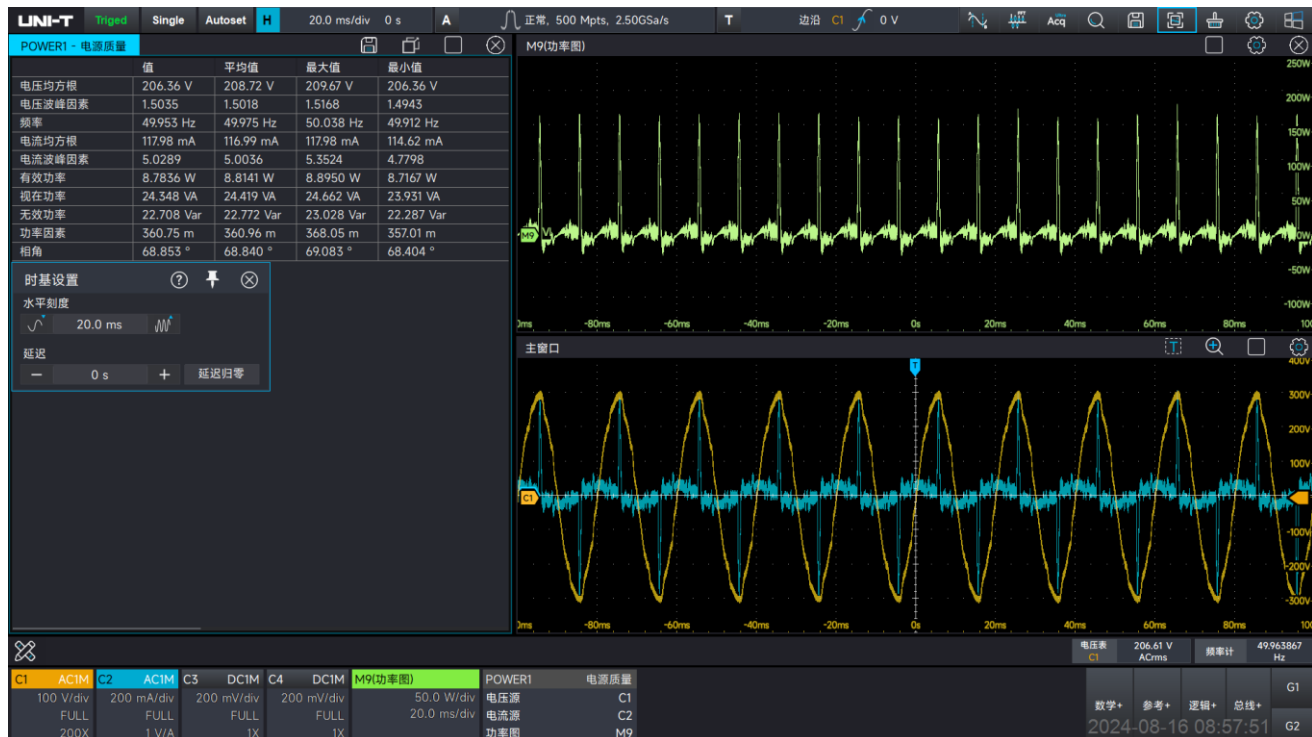
测试环境准备：

- 1.示波器：MSO7000X 系列任意一款（1GHz/2GHz）。
- 2.差分探头：推荐 UT-P3X 系列高压差分探头（输入差动电压 $\pm 800\text{Vpp} \sim 14\text{kVpp}$ ），可根据需要进行选择。
- 3.电流探头：推荐 UT-P4X 系列电流探头，最大测量电压 20A~500A，可根据需要进行选择。
- 4.电子负载：推荐 UTL8500 系列，最大带载功率可达 600W，根据需要选择。

测试环境搭建：

将差分探头和电流探头按电源质量分析信号连接示意图连接到输入电源的正极和负极，使用前需要对电流探头进行调零和消磁，以确保测试结果的可靠性。





通过 MSO7000X-PWR 软件分析出输入电源的各项指标

谐波分析

正弦电压加压于非线性负载(UPS、开关电源、整流器、变频器、逆变器),当电流流经负载时,与所加的电压不呈线性关系,基波电流发生畸变就形成非正弦电流,电路中产生谐波。

谐波的危害:

- 1, 降低电能的生产、传输和利用效率,使电气设备过热、产生振动和噪声、绝缘老化、寿命缩短、故障或烧毁等。
- 2, 引起电力系统局部并联谐振和串联谐振,烧毁设备。
- 3, 引起继电保护和自动装置误操作,电能计量混乱。
- 4, 对通信和电子设备产生干扰。

谐波分析主要是测量电源输入端电流/电压的谐波情况,通过傅里叶变换将离散信号进行傅里叶级数展开,得到离散的频谱,再从离散的频谱中挑选各次谐波对应的谱线计算谐波参数。

谐波测试的意义:

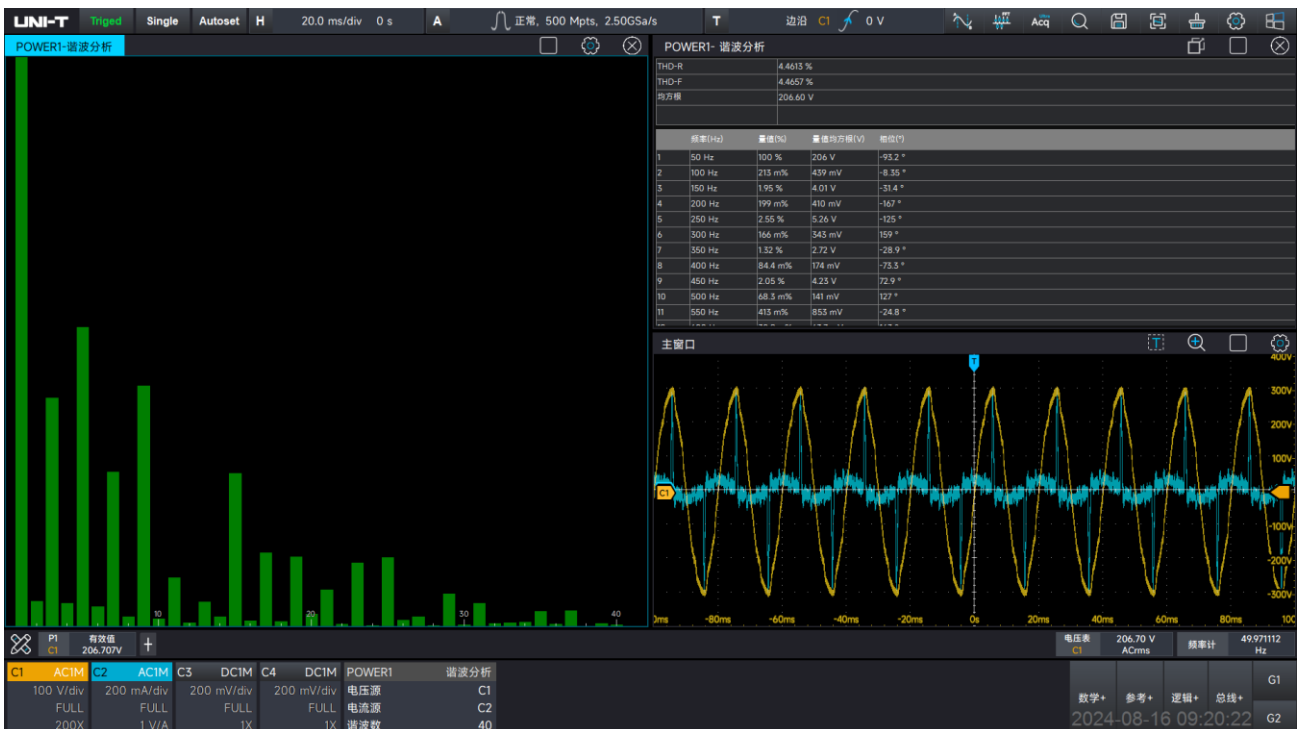
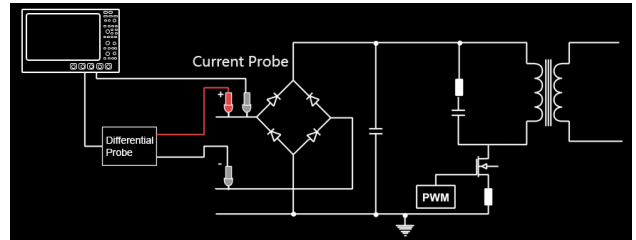
抑制传导干扰,确保输入端正弦电压及其各级谐波功率值不会对电源板造成干扰,引起电源供电质量异常,其各项谐波参数需满足不同的谐波标准。

测试环境准备:

1. 示波器主机: MSO7000X 系列任意一款。
2. 电压探头: 推荐 UT-P3X 系列高压差分探头(输入差动电压 $\pm 800\text{Vpp} \sim 14\text{kVpp}$),可根据需要进行选择。
3. 电流探头: 推荐 UT-P4X 系列电流探头,最大测量电压 20A-500A,可根据需要进行选择。
4. MSO7000X-PWR 电源分析选件。

测试环境搭建:

将差分探头和电流探头按信号连接示意图连接到输入电源的正极和负极,使用前需要对电流探头进行调零和消磁,以确保测试结果的可靠性。



开关损耗

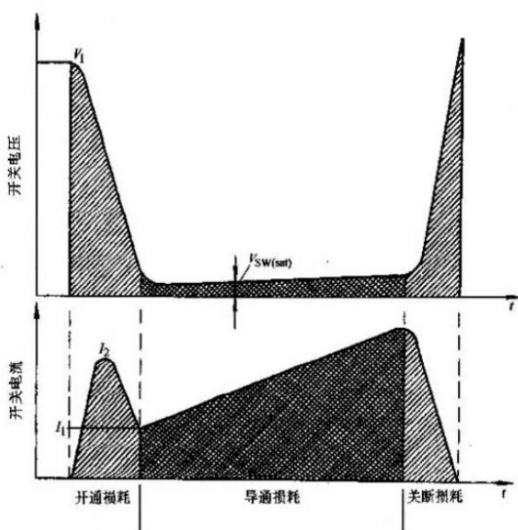
能量转换系统必定存在损耗，虽然实际应用中无法获得 100% 转换效率，但是一个高质量的电源效率可以达到非常高的水平，效率接近 95%。

SMPS 的损耗大部分来自开关器件（MOSFET 和二极管），有少部分来自电感和电容，具有较高电阻的器件也会使损耗增大，因此选择 IC 时，需要明确了解其内部元件以获得高效指标，如开关器件的损耗（关闭状态-导通状态的导通过程损耗，导通状态下的导通损耗，导通状态-关闭状态的关闭过程损耗，关闭状态下的损耗几乎为 0 可忽略）。

开关器件在一个工作周期中存在成千上万个开关周期，且每个开关周期都在 ms 级，普通示波器很难分析其多个周期的损耗情况，MSO7000X 标配 1Gpts 存储深度，可以在 ms 级时基档位分析多个周期波形，与 MSO7000X-PWR 电源分析软件共同完成多周期的开关损耗测量。

测试项目：开通功率损耗、导通功率损耗、关断功率损耗、非导通功率损耗、功率损耗总计、开通能量损耗、导通能量损耗、关断能量损耗、非导通能量损耗、能量损耗总计、开关周期数等。

损耗由开关两端电压和电流波形乘积得到，这些波形都近似线性，



电源开关转换期间的开关损耗就更复杂，既有本身的因素，也有相关元器件的影响。与损耗有关的波形只能通过电压探头接在漏源极(集射极)端的示波器观察得到，交流电流探头

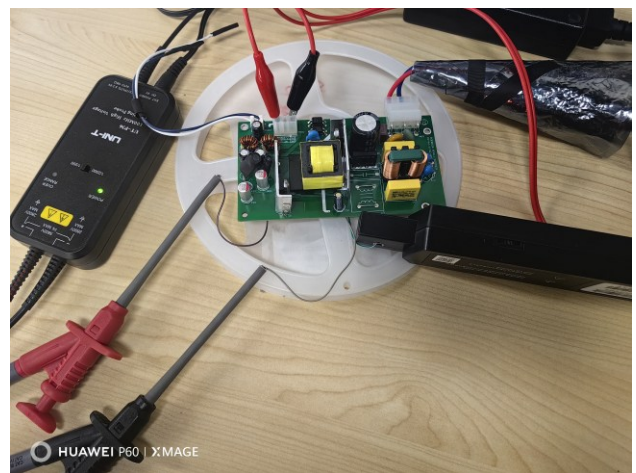
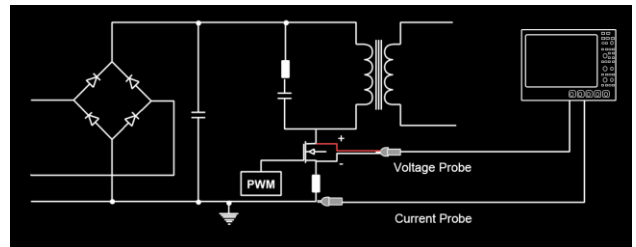
可测量漏极或集电极电流。测量每一开关瞬间的损耗时，必须使用带屏蔽的短引线探头，因为任何有长度的非屏蔽的导线都可能引入其他电源发出的噪声，从而不能准确显示真实的波形。一旦得到了好的波形，就可用简单的三角形和矩形分段求和的方法，算出这两条曲线所包围的面积。

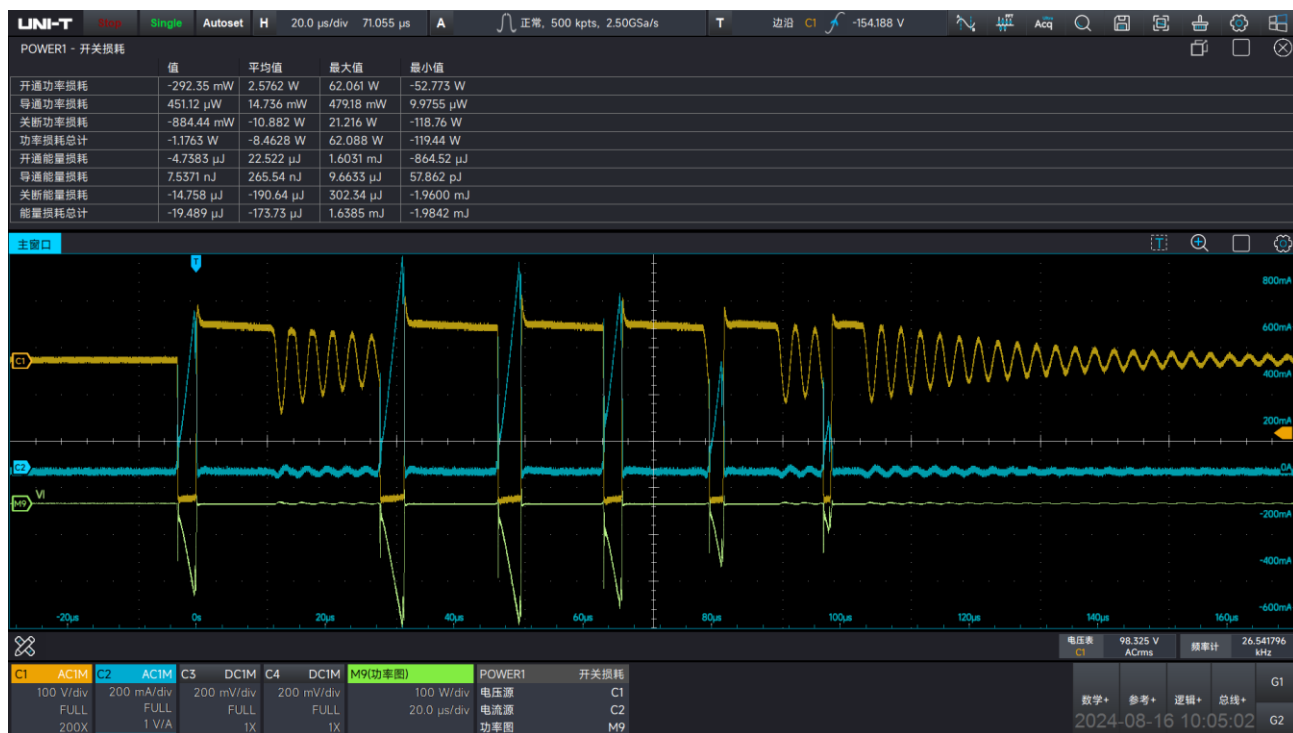
测试环境准备：

1. 示波器主机：MSO7000X 系列任意一款。
2. 电压探头：推荐 UT-P3X 系列高压差分探头（输入差动电压±800Vpp~14kVpp），可根据需要进行选择。
3. 电流探头：推荐 UT-P4X 系列电流探头，最大测量电压 20A~500A，可根据需要进行选择。
4. MSO7000X-PWR 电源分析套件。

测试环境搭建：

将差分探头和电流探头按信号连接示意图连接到输入电源的正极和负极，使用前需要对电流探头进行调零和消磁，以确保测试结果的可靠性，较小的时滞将引起较大的开关损耗测量误差。通过时滞校准以纠正示波器或探头时滞。时滞校准最初应执行一次，并在硬件设置的任何部分发生变化（如更换探头，更换示波器通道等）或温度环境变化时重新运行。





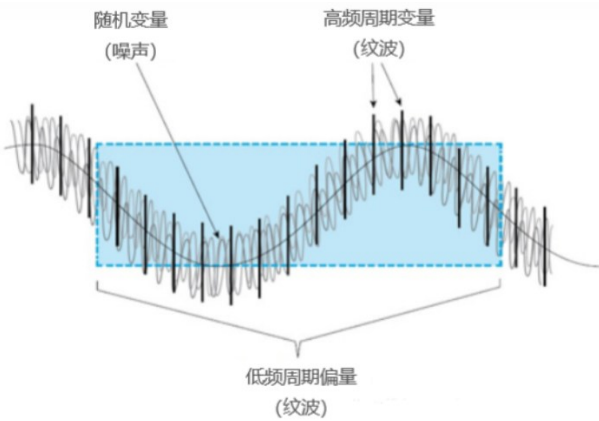
通过 MSO7000X-PWR 软件分析出开关周期内的损耗值

纹波分析

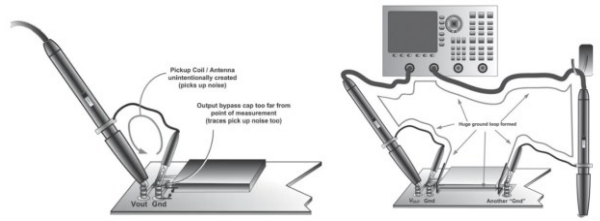
电源纹波指标是开关电源模块或 DC/DC 的一项重要参数。开关电源的输出并不是真正恒定的，输出存在周期性的扰动，这些扰动看上去就像水纹一样，称作纹波，纹波可以是电压纹波也可以是电流纹波。

低频纹波：来自 AC 输入的周期，电源对输入的抑制比不是完美的，当输入变化，输出也会变化。

高频纹波：来自开关切换的周期，开关电源不是线性连续输出能量，而是将能量组成一个个包来传输，因此会存在与开关周期对应的纹波。



错误探头测量法：



有较长的接地环路

多余的探头引入噪声



测量姿势：探头倾斜碰到电感

正确探头测量方法：

探头应垂直点测，尽量不碰到辐射源，移除多余探头，使用接地弹簧或纹波帽。



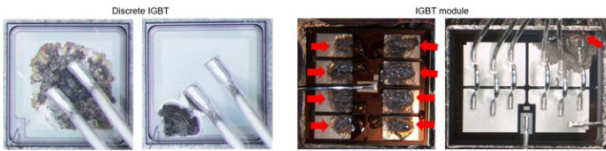
	无源探头	有源差分	同轴线
测试示意图			
示波器设置	示波器设置 1MΩ 端接匹配 20MHz 带宽限制 AC 耦合 探头衰减倍率：1：1	将待测电源通过差分方式接入，示波器设置 50Ω 端接	示波器设置 50 欧姆端接，与同轴线阻抗匹配
优势	成本低廉，同一个测试样板可以快速测试不同点的纹波	示波器的地和待测件的地隔离，可以解决电源地引入的干扰	同轴电缆测试结果较为精准，受人为因素影响较小



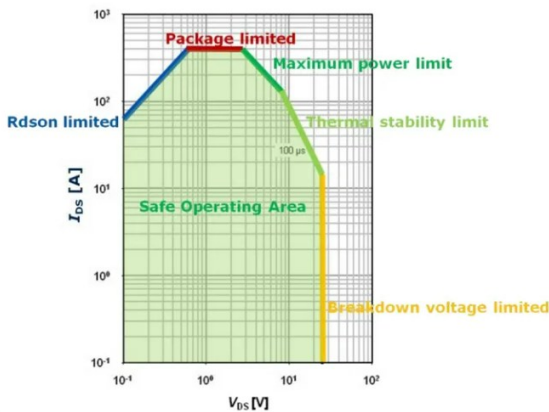
安全工作区

失效器件送到原厂做 FA 分析，看到的字眼通常包含 over voltage, over current, short circuit, EOS 等，但其失效的深层原因和整机的应用环境和系统设计是密切相关的。整机内部包含的元器件少则几十，多则上万甚至更多，元器件的失效无法避免，能做的就是根据整机性能要求充分评估，测试元器件的关键参数，出现失效后，复盘设计，复现失效，找到根因，避免掉坑。

安全工作区 (SOA) 是为了评估开关器件、确保压力不会超出最大指标的一项图形技术，顾名思义就是说只有使用的条件 (电压、电流、负载变化、结温等) 不超过 SOA 压力模板的边界，开关器件仍能够按照设计要求，稳定运行，否则就是如下图所示，出现烧毁器件的情况。



MOS 管安全工作区



SOA 对于确定 MOSFET 能否处理你所需要的功率大小来说非常重要，尤其是工作在饱和区的 MOS 管。简而言之，要想确保 MOS 管安全工作，就一定要处于 SOA 区域内 (上图绿色部分)。

Rd_{son} 限制 (蓝): 受器件的导通电阻限制 (通常是最大允许结温下的最大导通电阻)。具有恒定斜率是因为直线上的每个点都表示相同的阻值。

电流限制 (红): 表示电流极限，一般取决于封装的限制。

最大功率限制 (深绿): 具有恒定的负斜率 (斜率为-1)，直线上每个点表示相同的恒定功率。

热不稳定限制 (浅绿): 超出这一限制，MOS 管可能会热失控而损毁。

击穿电压限制 (黄): 一般是 $V_{BR(DSS)}$, 超过这条限制线，MOS 管就有被击穿失效的可能。

MSO7000X-PWR 软件提供了 SOA 压力模板测试，以测试包括 IGBT, MSOFET, 以及新型宽禁带半导体制程的功率芯片，可以通过设置 SOA 模板，保存及导入这些模板来进行压力测试。确保您设计之前准确了解这些器件的性能，设计完美的产品。

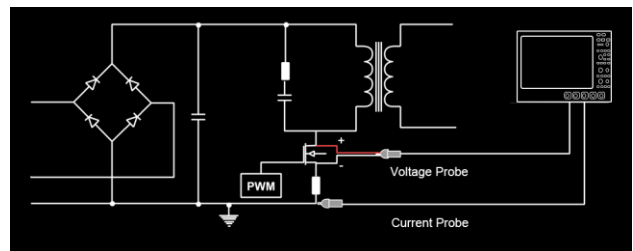


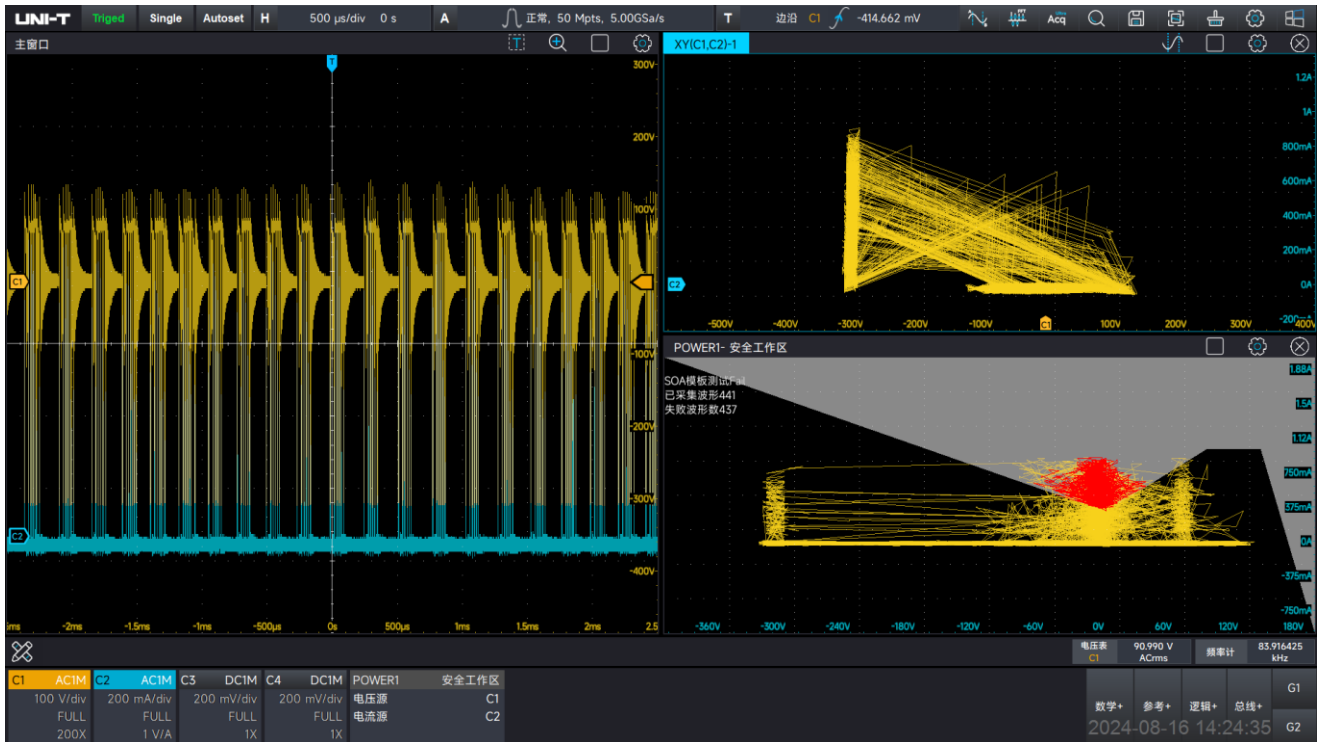
测试环境准备:

1. 示波器主机: MSO7000X 系列任意一款。
2. 电压探头: 推荐 UT-P3X 系列高压差分探头 (输入差动电压 $\pm 800V_{pp} \sim 14kV_{pp}$), 可根据需要进行选择。
3. 电流探头: 推荐 UT-P4X 系列电流探头, 最大测量电压 20A~500A, 可根据需要进行选择。
4. MSO7000X-PWR 电源分析选件。

测试环境搭建:

将差分探头和电流探头按信号连接示意图连接到输入电源的正极和负极, 使用前需要对电流探头进行调零和消磁, 以确保测试结果的可靠性。





通过 MSO7000X-PWR 进行 SOA 压力模板测试，自动采集波形数据，并判断 Pass/Fail

环路分析

环路分析用于检验控制系统的环路稳定性，在开关电源，运放反馈网络中，环路测试能准确的测试出电源的稳定性和响应速度，给工程师设计稳定的控制电路提供参考。

通过给开关电源注入一个频率不断变化的干扰信号，根据其输出情况来判断电路系统对各个干扰信号各个频率点的动态调制能力。利用波特图和增益/相位裕量测量，设计人员可以确定电源控制环路的稳定性。

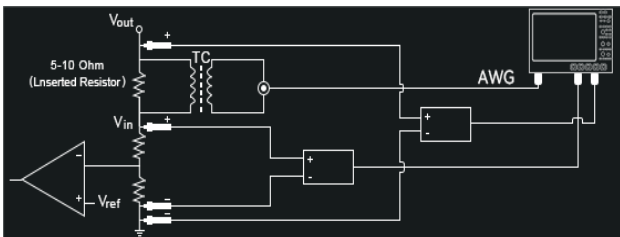
控制环路分析使用内置的 AWG 作为输入激励源，使用信号注入器/隔离变压器将信号注入控制环路中，示波器扫描指定的频率范围，得到对应的增益曲线和相位曲线，自动计算增益裕度和相位裕度，用以确认控制环路的稳定性。裕度越高，表示环路稳定性越好。

测试环境准备：

1. 示波器主机：MSO7000X 系列任意一款。
2. 两根 1:1 无源高阻探头。
3. 隔离变压器/信号注入器×1。
4. MSO7000X-AWG 函数/任意波形发生器选件。
5. MSO7000X-PWR 电源分析选件。
- 6.

测试环境搭建：

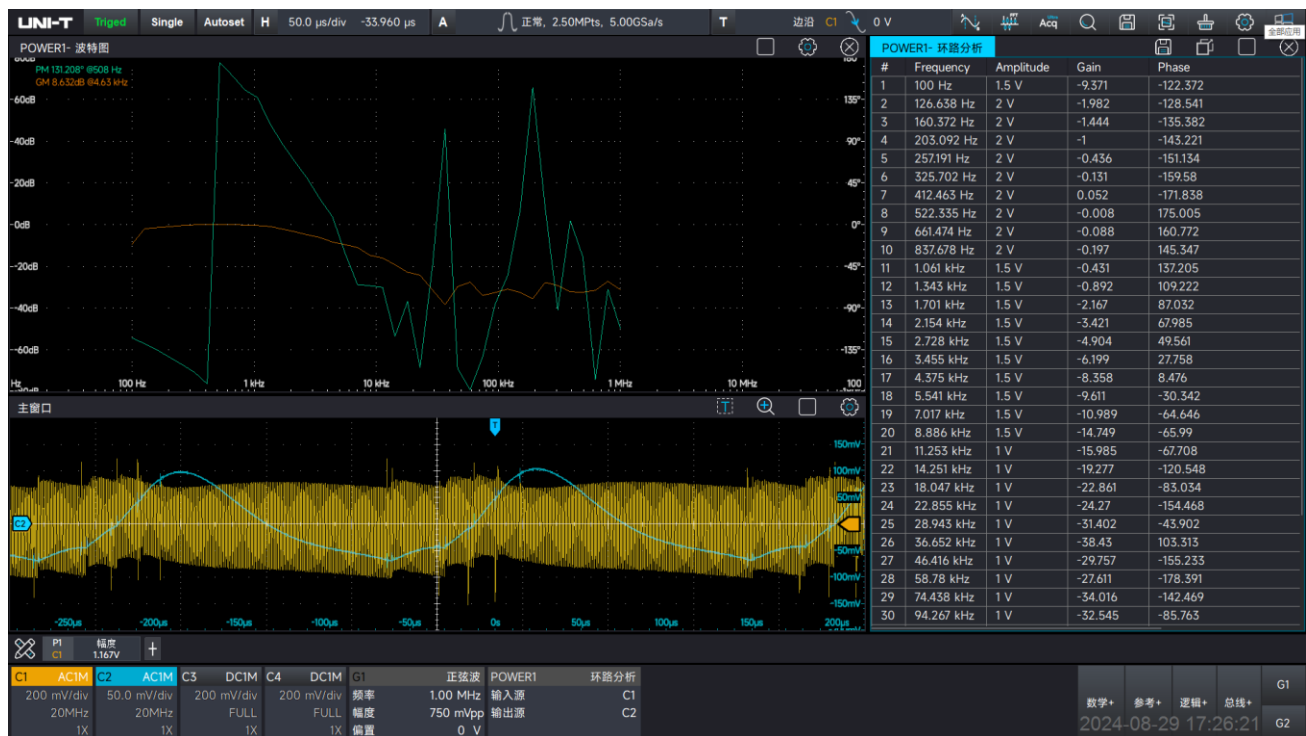
将 AWG 信号通过信号注入器注入控制环路，接入串联的注入电阻两端，使用两根 1:1 电压探头分别接入环路的输入和输出，将输入和输出分别接入示波器通道，执行电源分析软件，示波器将自动执行测试，直至测试结束。



环路分析注意事项：

- 1, 探头需要以 1X 衰减将信号引入示波器，否则会影响测量结果。
- 2, 因为注入的干扰信号是正弦波，为保证注入信号不受电源本身直流偏置影响，示波器应选用交流耦合。
- 3, 注入电阻大小。原则上，注入电阻不应该影响环路的稳态值，常见的分压反馈网络电阻值至少是 KΩ级，此时应该选用 5-10Ω的注入电阻，若这个电阻值更大，达到 MΩ级，此时选用更大的注入电阻也是可以的。
- 4, 注入幅度。注入幅度与 AWG 的输出幅度的关系为 $V_{inf}=V_{out}-V_{in}=(R_{inf}/R_{AWG}+R_{inf}) * V_{in}$
注入幅度过低可能导致低频部分测量不准确。
注入幅度过高可能导致高频测量时出现失真。
建议在不同频率段内设置合适的注入幅度。





通过 MSO7000X-PWR 软件自动进行环路分析测试，软件自动对相位裕度和增益裕度进行评估

技术规格

电源质量	<p>测量参数：电压均方根、电压波峰因素、频率、电流均方根、电流波峰因素、有效功率、视在功率、无效功率、功率因素、相角</p> <p>源选择：电压源、电流源</p> <p>频率参考：电压源，电流源</p> <p>需选用高压差分探头和电流探头</p>
谐波分析	<p>谐波失真 THD：THD-R, THD-F、均方根，频率，量值，量值均方根，相位</p> <p>谐波类型：奇次谐波、偶次谐波、全部谐波</p> <p>谐波个数：100</p> <p>频率参考：谐波源、电压源、电流源、</p> <p>需选用高压差分探头和电流探头</p>
开关损耗	<p>功率参数：开通功率损耗、导通功率损耗、关断功率损耗、非导通功率损耗、功率损耗总计</p> <p>能量参数：开通能量损耗、导通能量损耗、关断能量损耗、非导通能量损耗、能量损耗总计、周期数</p> <p>测量统计：最大值、最小值、平均值</p>
安全工作区	<p>SOA 坐标系：线性/对数</p> <p>违例时停止</p>
纹波分析	<p>纹波源：电压源、电流源</p> <p>纹波统计：当前值、最大值、最小值、平均值</p>
环路分析	<p>测量参数：频率、幅度、增益、相位</p> <p>扫描模式：连续、单次</p> <p>阻抗：50Ω、高阻</p> <p>频率：最高 60MHz（需选配 AWG）</p> <p>幅度：最高 6V（需选配 AWG）</p> <p>波特图绘制增益曲线和相位曲线</p> <p>要求两只 UT-PO8A 1:1 探头</p> <p>要求使用 UT-ISOT 信号注入器或其他 1:1 隔离变压器</p>
绘图	<p>功率图、谐波直方图、开关损耗功率图、SOA 波形图、波特图</p>

订购信息

产品型号	
MSO7204X	2GHz 带宽, 最高 10GSa/s (单通道 10GSa/s,双通道 5GSa/s,四通道 2.5GSa/s) , 4 通道示波器
MSO7104X	1GHz 带宽, 最高 10GSa/s (单通道 10GSa/s, 双通道 5GSa/s, 四通道 2.5GSa/s), 4 通道示波器
选件	
MSO7000X-AWG	双通道 60 MHz 函数/任意波发生器
MSO7000X-PWR	高级电源分析
推荐的探头及配件	
附件类型	推荐
无源高阻探头系列	UT-P05(1:1/10:1) 200MHz
	UT-P06 (1:1/10:1) 300MHz
	UT-P08 (1:1/10:1) 350MHz
	UT-P07A (10:1) 500MHz
高压差分探头系列	UT-P30 (100MHz; $\pm 800V_{pp}$)
	UT-P31 (100MHz; $\pm 1.5kV_{pp}$)
	UT-P32 (50MHz; $\pm 3kV_{pp}$)
	UT-P33 (120MHz; $\pm 14kV_{pp}$)
	UT-P35 (50MHz; 1.3kV)
	UT-P36 (50MHz; 5.6kV)
电流探头系列	UT-P40 电流探头 (100kHz; 0.4A ~ 60A)
	UT-P41 电流探头 (100kHz; 0.4A ~ 100A)
	UT-P42 电流探头 (150kHz; 0.4A ~ 200A)
	UT-P43 电流探头 (25MHz; 最大测量电流 20A)

UT-P44 电流探头 (50MHz; 最大测量电流 40A)

UT-P4030D 电流探头 (100MHz; 最大测量电流 30A)

UT-P4150 电流探头 (12MHz; 最大测量电流 150A)

UT-P4500 电流探头 (5MHz; 最大测量电流 500A)

UT-4100A 电流探头 (600kHz; 最大测量电流 100A)

UT-4100B 电流探头 (2MHz; 最大测量电流 100A)

信号注入变压器

UT-ISOT(2Hz-2MHz)

了解优利德示波器新品

图片	系列	通道	带宽	采样率	存储深度
	MSO7000X 系列	4+16	1G/2G/2.5GHz	10GSa/s	1Gpts
	UPO7000L 系列	4	1G/2GHz	10GSa/s	1Gpts
	MSO3000X 系列	4+16	250M/350M/500MHz	5GSa/s	500Mpts
	MSO3000HD 系列 12-bit	4+16	200M/350M/500MHz	2.5GSa/s	500Mpts
	MSO2000X 系列	4+16	100M/200M/300MHz	5GSa/s	100Mpts

销售网络**测试仪器华中区办事处：**

武汉：湖北省武汉市东湖新技术开发区高新大道
668号光谷金融中心A座712-713室

联系电话：18922986656

销售区域：河南、江西、湖南、湖北

测试仪器华东区办事处：

南京：南京市江宁区富塘街7号深蓝中心4栋
2201、2202室

苏州：苏州市苏州大道东409号国际金融中心1
幢2802室

联系电话：18916111209

销售区域：江苏、浙江、安徽、上海

测试仪器华西区办事处：

成都：成都市高新区合顺路2号IC设计产业园2
栋1单元21楼

西安：西安市雁塔区城南南二环西段88号老三
届世纪星19楼19号

联系电话：18922981286

销售区域：四川、贵州、重庆、云南、西藏、甘
肃、陕西、青海、新疆、宁夏

测试仪器华北区办事处：

北京：北京市海淀区海淀北二街8号中关村
SOHO 1215室

联系电话：18922986036

销售区域：山西、河北、天津、北京、黑龙江、
吉林、山东、内蒙古、辽宁

测试仪器华南区办事处：

东莞：广东省东莞市松山湖园区工业北一路6号

联系电话：13510557637

销售区域：广东、福建、广西、海南

全国技术支持热线：

400-876-7822

优利德公众号：