

RIGOL

应用手册

开关电源测试解决方案

2019 年 9 月

RIGOL (SUZHOU) TECHNOLOGIES INC.

基于 RIGOL 示波器的开关电源完整性测试

测试背景

开关电源，是一种通过控制开关管开通和关断的时间比率，维持稳定输出电压的一种电源，一般由脉冲宽度调制（PWM）控制 IC 和 MOSFET 构成。

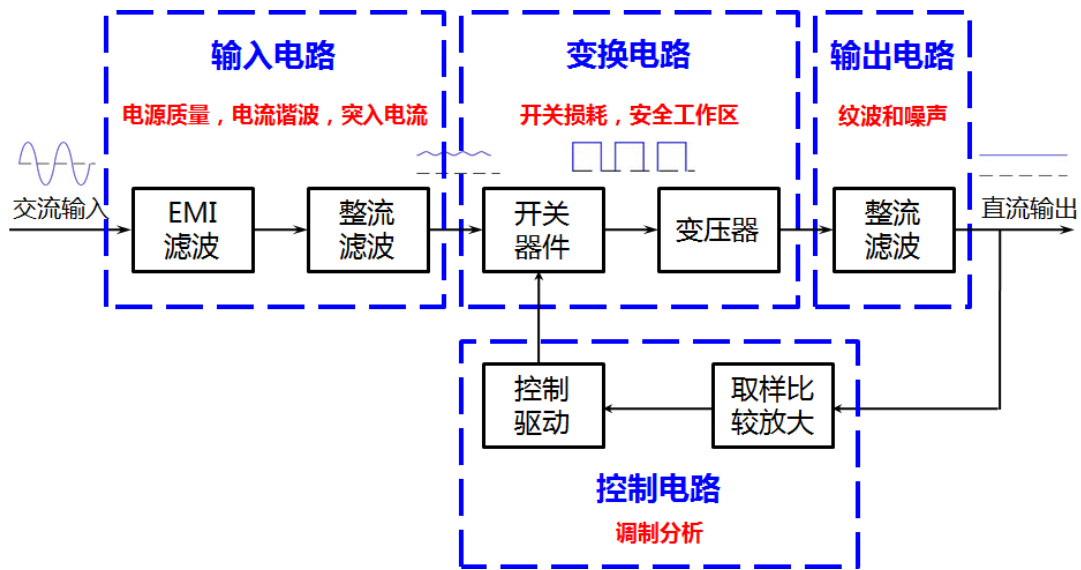
在日常生活中常见的手机/笔记本充电器、台式机电源，以及各类工业、通信以及医疗设备中的电源部分，大多可以看到开关电源技术的踪影。



开关电源技术的日益成熟，使得电源设备或模块的体积和重量都日益减小，转换效率也越来越高。负载设备因应用场合的不同，对电源可承受工作电流、输入电网环境、输出稳定性等指标的要求也不尽相同。综合评估动态的电源工作状态，示波器绝对是开关电源完整性测试的首选必备仪器。

类别	RIGOL 订货号	功能描述
数字示波器主机	MSO8000 系列	数字示波器（任选其一）
	MSO/DS7000 系列	
	DS6000&DS4000 系列	
	MSO5000 系列	
	DS2000A 系列	
示波器探头	PVP2150/PVP2350	无源探头（1X / 10X）
	RP1000D 系列	高压差分探头 （根据测量带宽和电压范围选择）
	RP1000C 系列	电流探头 （根据测量带宽和电流范围选择）
串行总线解码	RS232/UART	串行总线触发和解码功能 （详细型号，参见各系列示波器产品手册）
	I2C/SPI	
	CAN	
电源分析套装	UPA-DS	Ultra Power Analyzer 上位机软件
	RPA246	偏移校准夹具
探头适配器	T2R1000	用于将 TekProbe 接口转换为 RIGOL 标准接口

开关电源基本原理及基本测试项目



主要测试项目:

- 电源质量
- 电流谐波
- 突入电流
- 开关损耗
- 安全工作区
- 调制分析
- 纹波和噪声

测试前需要思考和准备的工作:

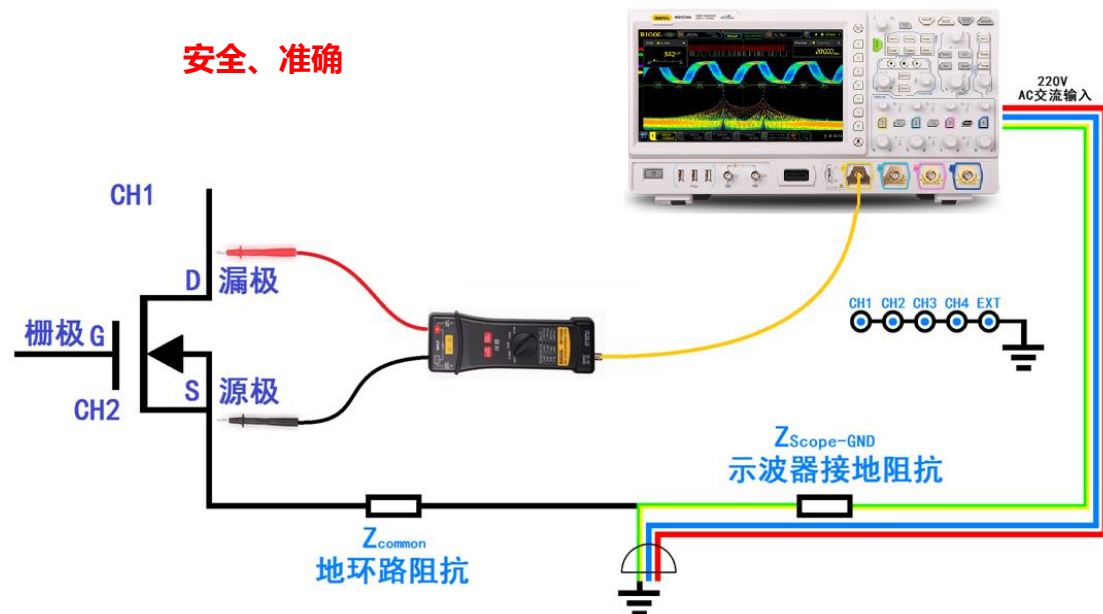
- 浮地测试的正确方法?
- 无源探头的补偿
- 电流探头的消磁与偏置校准
- 电压/电流通道的延时校准

浮地测试

电源测试中大量电压测试为浮地测试，即不以地作参考的差分电压测试。

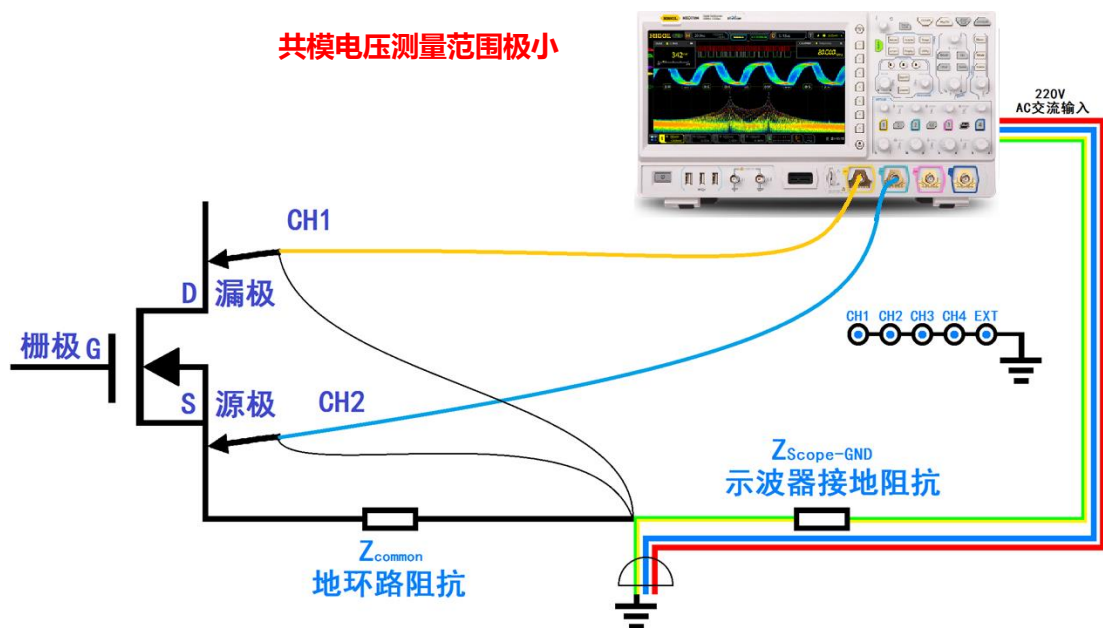
正确安全的浮地测试必须使用**差分探头**，剪断示波器地线或使用隔离变压器供电的方法是错误和危险的！

因为示波器接地点上的电位，会与示波器探头地线连接电路的电压一致，浮地电压甚至可达上百伏！这会导致金属机箱、示波器 BNC 负极等人手容易触碰的地方带电，非常危险！



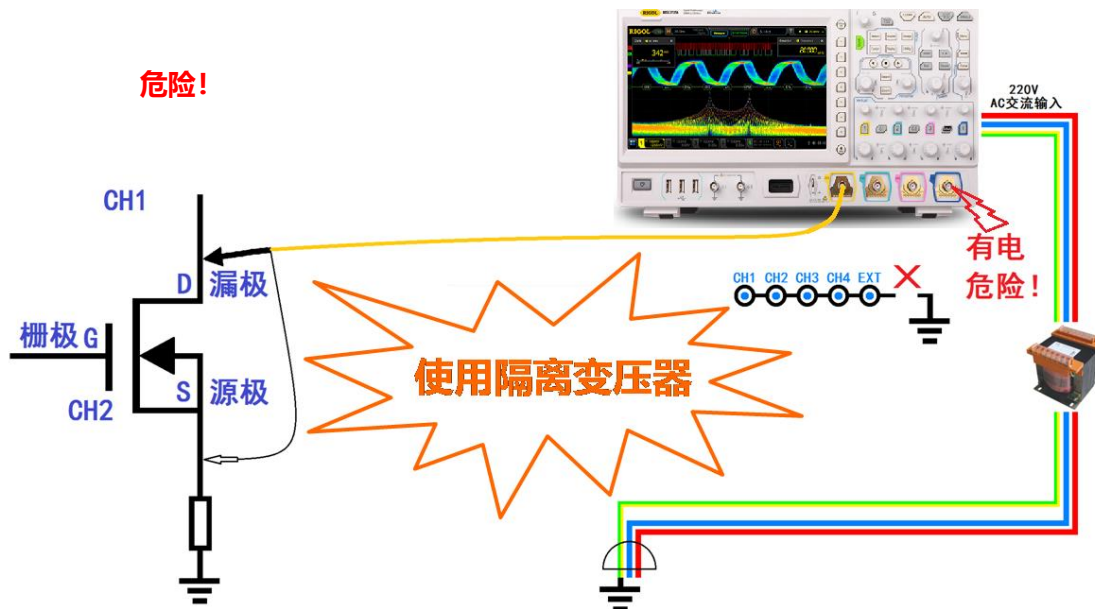
A-B 测量法

使用两只普通的无源电压探头，在示波器的两个通道上进行测量，然后使用 Math 运算功能做 CH1-CH2，也可以进行浮地测量。但缺点是需占用 2 个通道，且最大的限制主要来自于共模电压测量范围极小，时常遇到两通道电压都很高但差值很小的情况，测量误差极大。



示波器电源未接地线可能存在的危害：

- 操作人员可能触电，非常的危险；
- 分布电容，会对待测点带来较大的容性负载，可能损坏待测电路；
- 分布电感，可能带来并不存在的振铃现象；
- 未接地的示波器，其 EMC 性能在一定程度上会降低，导致示波器寿命降低，同时也会受到空间电磁波干扰或者干扰被测电路，导致波形失真。



无源探头补偿

大多数探头被设计为匹配特定的示波器的输入电路，然而不同的示波器之间有细微的变化，甚至在同一示波器的不同输入通道之间也会有。

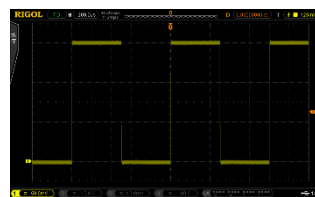
一个未经补偿的探头可能会导致各种各样的测量错误，特别是测量脉冲上升或下降时间。高压差分探头还会有直流偏置，也需要在测试前校准！

因此，在首次使用无源探头、高压差分探头以及电流探头时，需要预先做好补偿&校准工作。

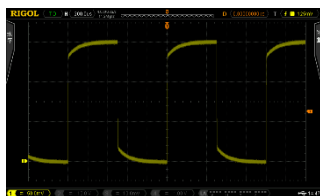
电压探头
补偿&校准



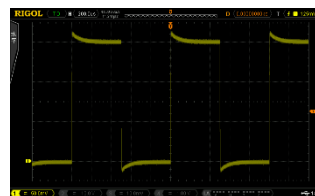
正确补偿



补偿不足



补偿过度



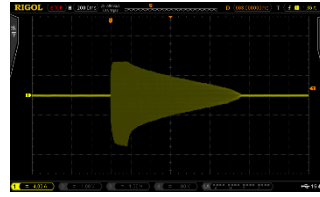
电流探头消磁和偏置校准

电流探头在仪器上电、掉电或输入电流过大时，需进行消磁操作！在电流探头测量电流前，LOCK 状态下有直流偏置时，也必须进行校准！电流探头切换垂直档位到更小档位时，也需要重新调零！

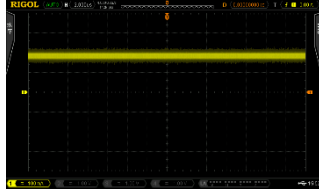
电流探头
消磁&校准



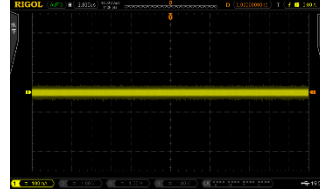
消磁波形



校准前



校准后

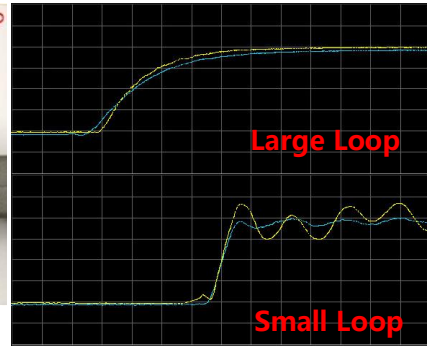


电压/电流通时校准

电压探头&电流探头，连接在示波器的2个通道上，信号在不同传输路径上的时间延迟必须经过校准，以保证功率测量的准确性！



RPA246 偏移校准夹具



电源输入端分析

电源质量分析：确定电源线上的功率消耗及电能质量。

测量参数：

- | | |
|---------------|-------------------|
| ■ S 视在功率(VA) | ■ CF_V 电压波峰因数 |
| ■ P 有功功率(W) | ■ CF_I 电流波峰因数 |
| ■ Q 无功功率(VAR) | ■ V_{rms} 电压有效值 |
| ■ PF 功率因数 | ■ I_{rms} 电流有效值 |
| ■ ϕ 相角 | ■ Z 阻抗 |

关系式：

$$S = V_{rms} \times I_{rms}$$

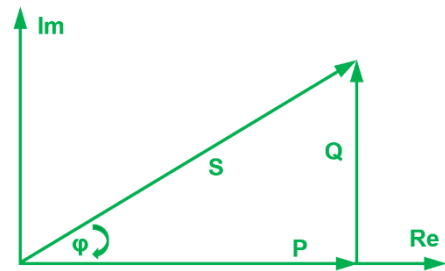
$$P = S \times \cos\phi$$

$$Q = S \times \sin\phi$$

$$S^2 = P^2 + Q^2$$

$$PF = P/S$$

$$CF_V = V_{pk}/V_{rms}$$



$$CF_I = I_{pk}/I_{rms}$$

$$Z = V_{rms}/I_{rms}$$

$$\phi = \arccos(PF)$$

电流谐波分析：测量开关电源是否符合 IEC61000-3-2 电流谐波标准。

按对谐波电流之限制，设备可被分为以下4类：

- A类：平衡的三相设备、家用电器（不包括列入D类的设备）、工具（不包括便携式工具）、白炽灯调光器、音频设备，以及未规定为B/C/D类的设备
- B类：便携式电动工具、不属于专用设备的弧焊设备

C类：照明设备

D类：功率不大于 600W 的下列设备：个人计算机以及显示器、电视接收机

- 高达 40 次谐波测量
- 支持 50/60/400Hz 工频
- FFT 显示 & Bar 显示
- THD 总谐波失真测量

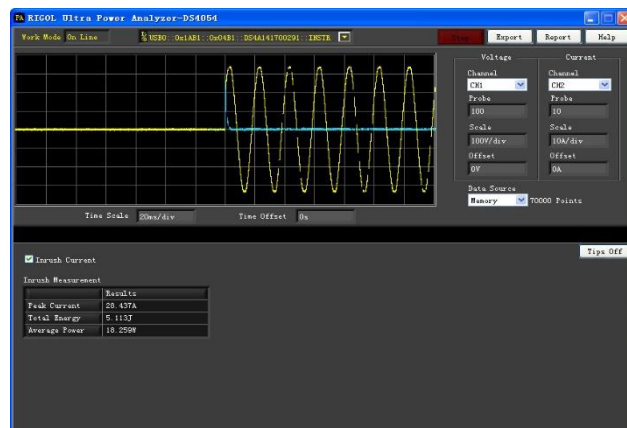


浪涌电流分析： 确认流过各元器件的电流是否超过了允许值。

开关电源第一次打开时，输入端的滤波电容相当于瞬间短路，会产生一个上升时间较快，幅度较大（正/负）的瞬态开机电流。

执行浪涌电流测量，可以确认 AC 开关、整流桥、保险丝、EMI 滤波器是否超过允许电流限制。反复开关环路，AC 输入电压不应损坏电源，或导致保险丝烧断

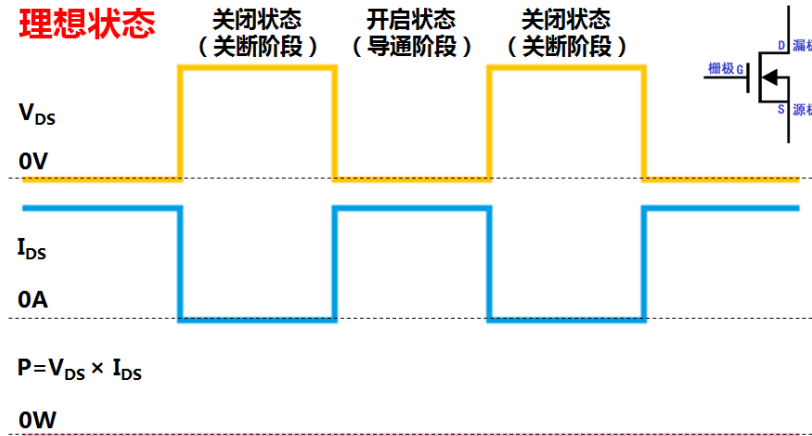
一般会将示波器设置为峰值检测模式，使用单次触发捕获波形。



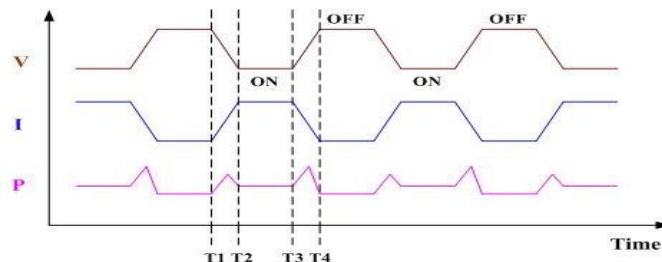
开关器件分析

开关损耗分析：测量开关器件的功率和能量损耗大小。

理想状态下，开关损耗=导通损耗($V_{DS}=0V$)+关断损耗($I_{DS}=0A$)=0W。

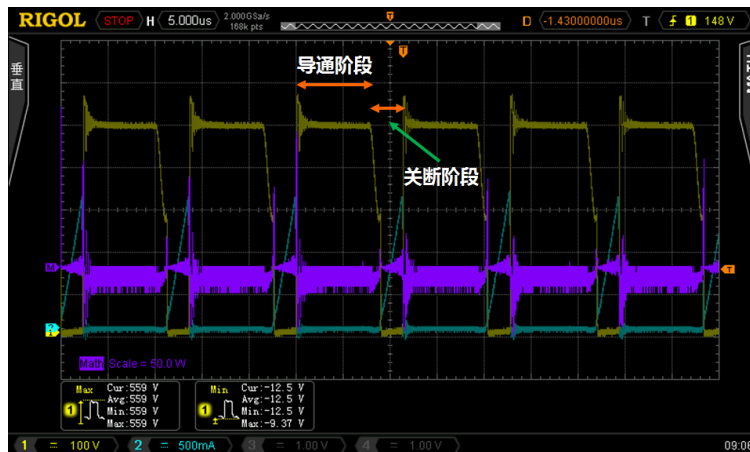


但实际情况并非那么令人满意，开关电源的功率和能量损耗大部分出现在在晶体管的开启和关闭切换时间里，即 T1-T2 和 T3-T4 时段。另外在 T2-T3 时段里，晶体管处于导通状态，此时电压为晶体管最小饱和电压，并产生电流，这也会引入功率损耗。



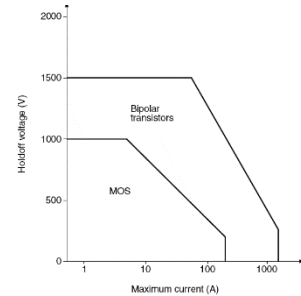
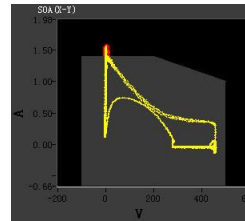
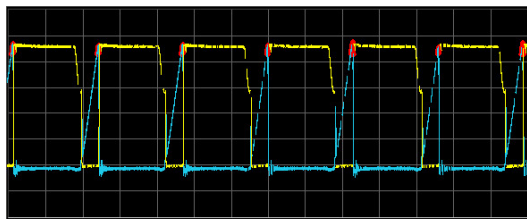
在晶体管关断阶段，损耗微乎其微，理论上可视为零。但有一种可能也会引入功率损耗，那就是电流探头未经偏置校准。这种损耗，在开关电源里并未实际发生，但因测量方法的不当，得到了错误的结果。

所以，我们强调在测量之前，一定要对电流探头和电压探头进行偏置校准和补偿。另外还需要对电压和电流通道间的延时进行校准，以确保 T1/T2/T3/T4 时间差的准确性。



安全工作区 SOA:

开关器件应工作在安全工作区内，此指标可通过开关器件数据手册查询得到。此指标，主要反映开关器件漏极-源极电压和源极电流在安全工作状态下的关系。



调制分析:

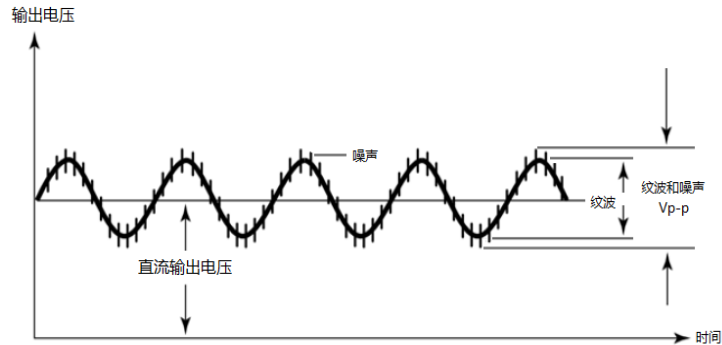
反馈控制环路目的是稳定输出电压，调制分析正是分析开关电源的控制环路特性。

- 频率
- 周期
- 正占空比
- 负占空比
- 正脉宽
- 负脉宽



电源输出端分析

纹波和噪声：PARD (periodic and random deviation 周期和随机性干扰)

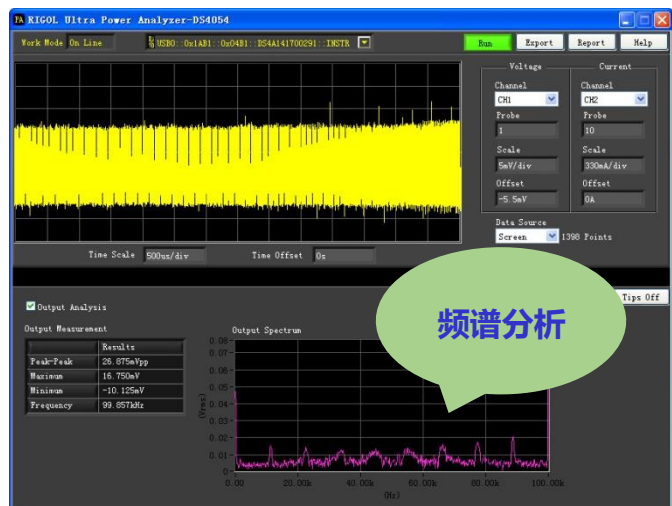


低频纹波：主要为 50Hz 工频及其谐波成分，幅值小，易滤除
高频纹波：主要为开关管在导通和截止的过程中产生的干扰
控制环路：控制环路并非实时响应，无法做到完全的线性调节



测量建议：

- 尽量减少示波器探头接地线的影响
 - 摘去示波器探头帽和接地鳄鱼夹
 - 使用接地弹簧针，并选择离信号点最近的接地点接地
- 使用 1:1 衰减比例探头
- 建议使用 AC 耦合
- 打开示波器 20MHz 带宽限制
- 可并联 0.1uF 电容
- 示波器保持良好接地



开关电源功率分析软件 Ultra Power Analyzer

用途：控制和监测示波器，记录电压和电流波形，采集测量数据，最终生成测试报告。

推荐型号：Ultra Power Analyzer (**RIGOL**)

适用主机：DS7000&DS6000 & DS4000 & DS2000A 系列



电源是电子设备中重要的组成部分，开发、设计和调试电源电路是产品研发与生产的重要环节。电源测试中需要用到多种测试仪器，其中示波器和探头最为常用。用户需要根据测量信号的不同，选择合适的高压、高压差分 and 电流探头。配合软件，用户可以获得电源特性相关的各种测量结果。

RIGOL 推出的 Ultra Power Analyzer 电源分析软件是一款基于 PC 的全功能电源分析测试软件。可以完成多项常用测试需求，采用在线和离线两种方式分析测试结果，测试完成后，可以为用户提供清晰明了的测试报告。

- ※ 支持两种工作模式：在线和离线
- ※ 支持自动或手动设置示波器
- ※ 同步显示波形和测量数据
- ※ 屏幕和内存数据可选
- ※ 自动校正通道延迟
- ※ 支持 DS2000/4000/6000/7000 及 MSO5000 系列示波器
- ※ 同时支持 USB 和 LAN 通讯接口
- ※ 支持自动生成测试报告