

RIGOL

应用指南/技术说明书

电源质量与效率分析测试

文档版本 **01**

发布日期 **11.2020**

RIGOL TECHNOLOGIES INCCO., LTD.

前言

版权

© 2020 普源精电科技股份有限公司

商标信息

RIGOL 是普源精电科技股份有限公司的注册商标。

声明

- 本公司产品受中国及其它国家和地区的专利（包括已取得的和正在申请的专利）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。
- 本手册提供的信息如有变更，恕不另行通知。
- 对于本手册可能包含的错误，或因手册所提供的信息及演绎的功能，以及因使用本手册而导致的任何偶然或继发的损失，**RIGOL** 概不负责。
- 未经 **RIGOL** 事先书面许可，不得影印、复制或改编本手册的任何部分。

产品认证

RIGOL 认证本产品符合中国国家产品标准和行业产品标准及 ISO9001:2015 标准和 ISO14001:2015 标准，并进一步认证本产品符合其它国际标准组织成员的相关标准。

联系我们

如您在使用此产品或本手册的过程中有任何问题或需求，可与 **RIGOL** 联系：

电子邮箱：service@rigol.com

网址：www.rigol.com

本应用指南/本技术说明书

本应用指南旨在介绍以下内容：

- 介绍电源电能质量、电源转换效率及电源输出电压纹波的概念。
- 介绍使用基于示波器的电源分析功能进行电源电能质量、电源转换效率与电源输出电压纹波的测试方法。
- 介绍能完成以上测试的设备型号。

完成全文阅读，大概需要 10 分钟时间。

简介

随着众多新品手机快充技术的应用，大家对以 GaN、SiC 为代表的快充充电器增加了更多的关注。由于 GaN、SiC 等新型半导体的宽禁带等特性，使得以其为核心的电源具有更高的开关速度、更低的开关损耗和更高的转换效率，使得充电器可以更小巧，更节能环保。在电动车，便携电子设备中得到的愈加广泛的应用。

在开关电源类产品的开发设计过程中，电源的**转换效率、输出电压纹波和电源电能质量**都是直接影响开关电源质量的关键因素。

- **电源电能质量**

电源电能质量是电源测试中的基本测试项，是标定电源工作参数的测试依据。电源电能质量主要包含了电压有效值、电流有效值、功率因数及谐波等参数。

- **电源转换效率**

转换效率就是电源的输出功率与输入功率的比值，是电源类产品的基本指标，开关电源的设计首先需要考虑的是效率优化。

高电源转化效率意味着电源产品的节能环保指标更高，同时也会降低用电费用，对关注充电效率和节能环保的充电桩、光伏发电等一些高功率供电设备具有特别重要的意义。

- **电源输出电压纹波**

纹波就是一个直流电压中的交流成分。对于直流输出开关电源，输出直流电压的稳定性会直接影响驱动设备的工作稳定性。影响直流电源输出电压稳定性的指标主要是纹波。纹波越小，直流电源输出的电压越稳定，波动越小。

原理描述/工作方式

开关电源的典型原理框图如下：

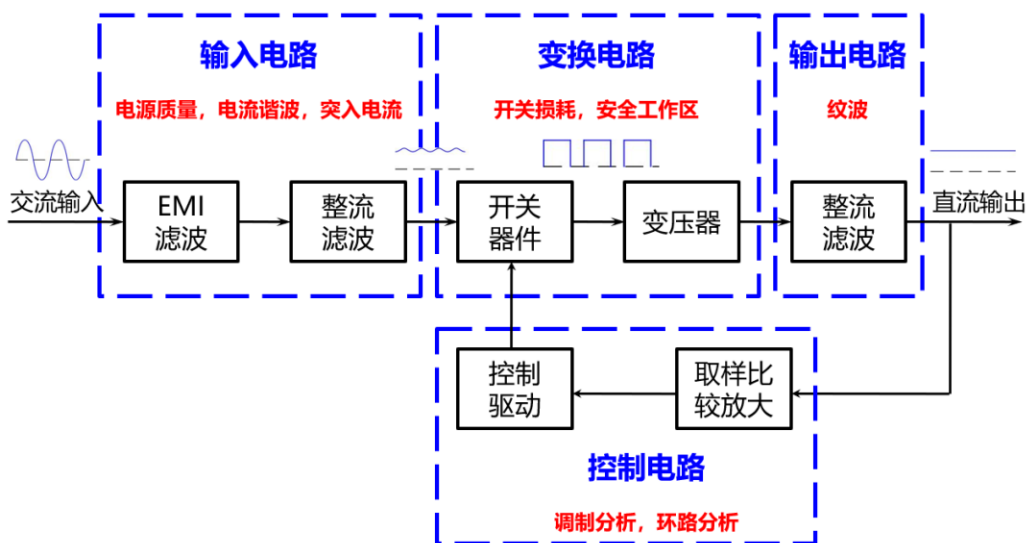


图 1 开关电源的典型原理框图

● 电源的电能质量

如下参数为衡量开关电源电能质量的主要指标。我们在通过测试电源线上的电源输入及质量进行开关电源电能质量测试时，这些参数也是主要的测试项。

- **V_{RMS}**：为供电交流电源的电压有效值；
- **I_{RMS}**：为开关电源工作状态输入交流电源的供电电流有效值；
- **视在功率**：等于 V_{RMS} 与 I_{RMS} 的乘积，表示输出给开关电源的电容量，单位为 VA；
- **有功功率**：指电源单位时间实际消耗的电能量，是将电能转换为其他形式能量的电功率，单位为 W；
- **无功功率**：是指在具有电抗元件（电容和电感）的交流电路中，为建立交变磁场和感应磁通而需要的电功率。该部分能量在电源与电感元件间交换，但不转化为机械能和热能。单位为 VAR；
- **PF 功率因数**：等于有功功率与视在功率的比值，表示开关电源对交流电源电量的利用效率。功率因数越低，代表无功功率越大。除了电感电容等元器件产

生的无功功率，非线性器件造成的高频谐波成份，也会带来一部分无功功率。

- **φ 相角**：开关电源中的相角主要是指在开关电源工作状态，交流供电线路电压与电流的相位差。

● 电源的转换效率

开关电源转换效率的主要影响因素为：开关器件的开关损耗、导通损耗，磁性器件的铁损，铜损等。其中**开关损耗**是其中重要的因素。

在 MOSFET 及 IGBT 等开关器件在开关导通及截止关闭过程中，由于电路中的电感元件及功率器件的电子漂移速度的影响，在导通瞬间，电压不能马上变为 0，而电流已经开始上升；在关闭瞬间，电流不能马上变为 0，而电压已经上升。所以会产生开关损耗。

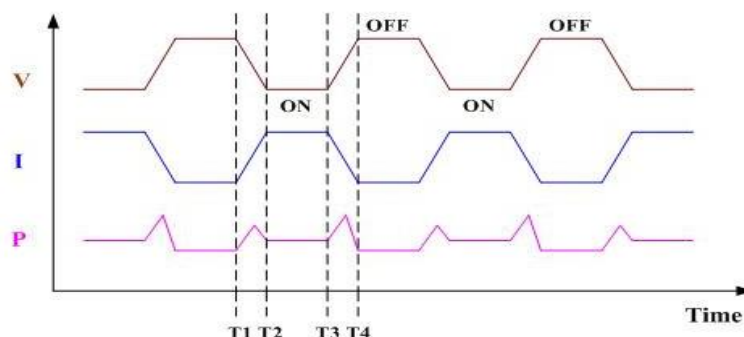


图 2 开关电源的转换效率

优化电路设计，选择具有理想开关特性的功率器件或者软开关等技术，可以有效降低开关损耗，提高开关电源的转换效率。

● 电源输出电压纹波

开关电源输出电压的纹波输出电压主要来自功率器件导通与关闭时脉动电流在输出滤波电容上产生的电压波动，通常在几百 kHz 以上，低频部分主要来源为电源工频干扰及其谐波。

开关电源电路中产生的谐波会影响负载及电网中其他用电设备的正常工作。为了控制用电设备的谐波指标标准，欧盟发布的 IEC61000-3-2 标准规定了开关电源需要符合的电流谐波标准。

表-1 EN61000-3-02 标准

类别	标准
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

表-2 A 类设备谐波限制标准

Harmonic order n	Maximum permissible harmonic current A
Odd harmonics	
3	2.30
5	1.14
7	0.77
9	0.40
11	0.33
13	0.21
$15 \leq n \leq 39$	$0.15 \frac{15}{n}$
Even harmonics	
2	1.08
4	0.43
6	0.30
$8 \leq n \leq 40$	$0.23 \frac{8}{n}$

环境搭建与操作步骤

电源电能质量与功率效率测试

电源电能质量与功率效率测试环境搭建

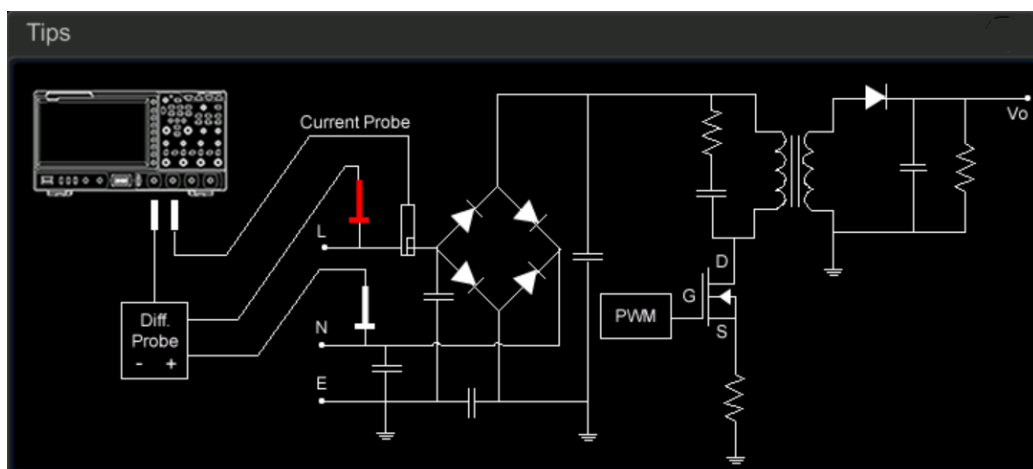


图 3 电源电能质量测试连接示意图

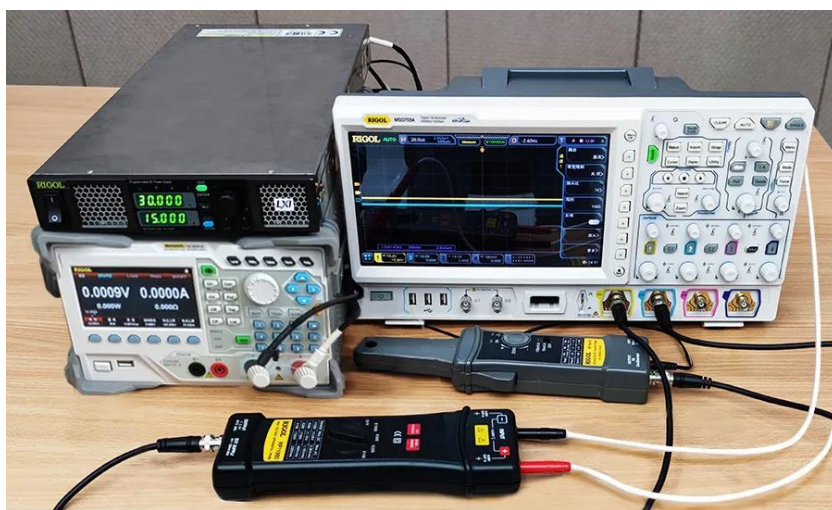


图 4 电源转换效率测试连接图

测试准备如下：

1. 将 RP1100D 高压差分探头连接到示波器 DS7054 的 CH1; 并将探头勾住电源输入端的 L 线与 N 线。

2. 将 RP1001C 电流探头连接到示波器 DS7054 的 CH2，并执行消磁及调零；
3. 将 RP1001C 电流探头勾住电源输入端的 L 线。
4. 开关电源的输出端与电子负载 DL3031A 的输入端连接；

Step1 执行通道延迟校正

1. RPA246 偏移校正夹具通过 USB 线供电后，将 RP1100D 的正负极连接到夹具的电压正负极；将 RP1001C 电流探头夹在夹具的电流环路。如图所示。
2. 之后调节示波器设置使 CH1 和 CH2 通道信号的上升沿显示在屏幕中间，通过通道延迟调节，消除示波器两个通道的时间延迟，让两通道的信号重合。
3. 完成通道延迟校正后，将 RP1100D 连接开关电源 AC 供电的火线和零线，探头衰减与示波器 CH1 探头比均设为 X200；RP1001C 钳在火线上，衰减设为 100mV/A，示波器 CH2 探头比设为 X10。



图 5 通道延迟校正连接图

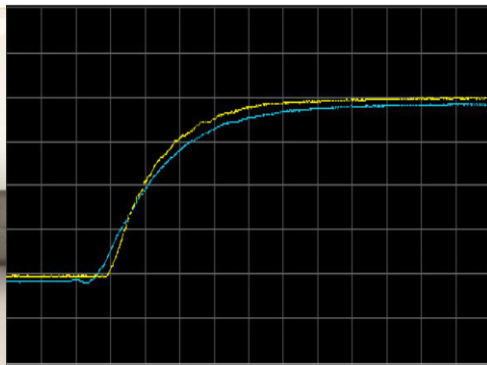


图 6 通道延迟校正

Step2 负载设置及测试

1. 按下 DL3031A 的 CC 恒流按键，调整 CC 电流使恒压输出电源输出额定功率或 1/2 额定功率，按下 ON/OFF 按键打开 CC 功能。
对于 LED 驱动等恒流输出电源，按下 DL3031A 的 CV 恒压按键，调整 CV 电压使恒流输出电源输出额定功率或 1/2 额定功率，按下 ON/OFF 按键打开 CV 功能。
2. 记录 DL3031A 屏幕上显示的功率值，为开关电源的输出功率 P_{out} 。



图 7 电子负载设置

Step3 执行电源电能质量测量

- 按下示波器屏幕左下角的多功能按键，在弹出的菜单中选择**电源分析**，分析类型选择**电源质量**，在源中设置 CH1 为电压通道，CH2 为电流通道。并打开显示功能。此时在示波器的屏幕上会显示电源质量测试结果。
- 记录 Real Power（有功功率）为开关电源的输入功率 Pin。
- 根据 Pout/Pin，计算得到此开关电源的转换效率。



图 8 电源质量测试结果

Step4 执行电流谐波测量

1. 将示波器通过 USB 线缆与 PC 连接；
2. 打开 PC UPA 软件，并配置电流谐波测试参数；
3. 点击软件执行测试，在软件上会直接显示谐波的通过情况。

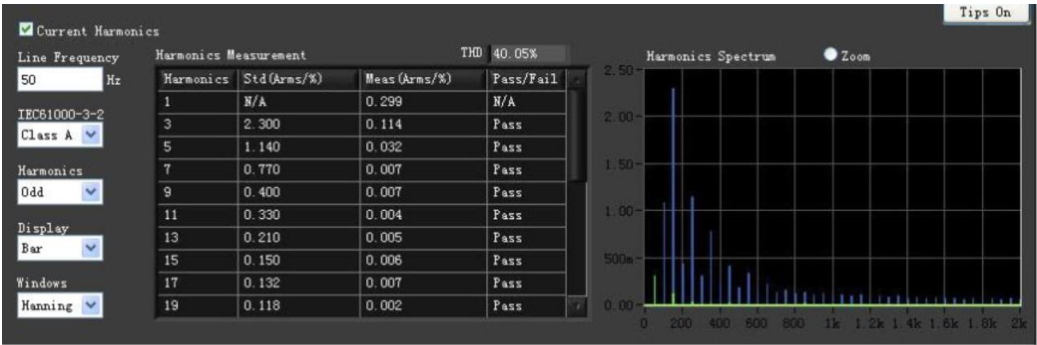


图 9 电流谐波测试界面

电源纹波测试

电源纹波测试环境搭建

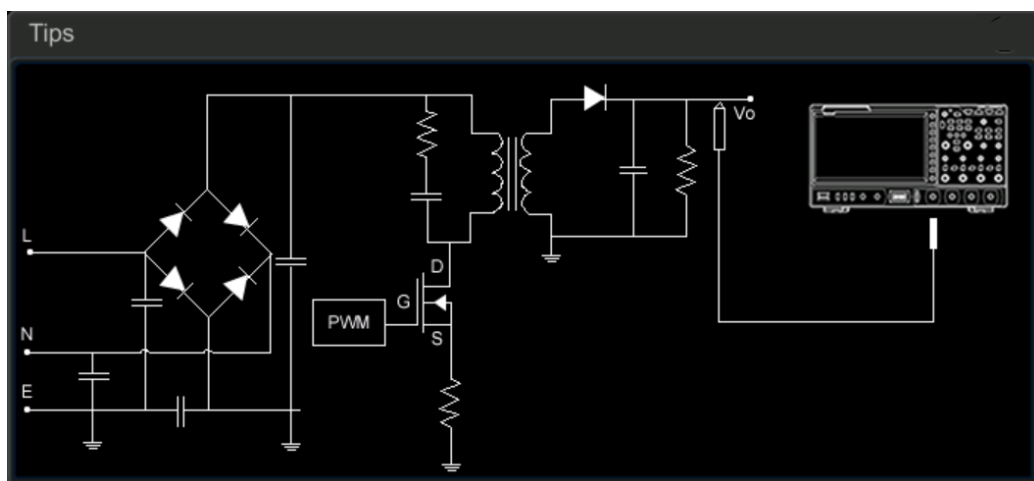


图 9 电源纹波测试连接电路示意图

测试准备如下：

1. 将开关电源的输出端与电子负载输入端连接；
2. PVP2350 高阻无源探头连接 DS8104 示波器的 CH1；



图 10 电源纹波测试连接图

执行电源纹波测量

1. 示波器要选择 20MHz 的带宽限制；
2. 为避免由探针与地线形成的类天线环路耦合进电路中的噪声，使用探头自带的接地弹簧来接地；

3. 将探头的衰减与示波器 CH1 的探头比都设为 X1，减小示波器的噪声干扰；
4. 示波器的通道耦合方式选择交流，可以将直流电压隔离，方便信号观测；
5. 分析类型选择纹波，打开 CH1 的峰峰值测量，可得到测量的纹波电压峰峰值。



图 11 电源纹波测试结果

操作要点

● 探头的选择

应选择高压差分探头作为电源质量测试的电压探头，不可以使用单端探头进行测试。因为 AC 电源的零线与负载及火线构成电流回路，而示波器探头地线与电源地线连接。如使用单端探头连接市电，相当于将零线与大地短路，这样会增大共模干扰，而且可能会造成短路导致器件烧损。

● 消磁和调零

电流探头需要进行消磁和调零，避免初始数值误差对实际电流测量结果造成的影响。

● 相位校正

在进行电源的电压与电流测试前，一定要进行通道相位校正。

由于初始通道的相位误差会带入到最终电压与电流的相位角 φ 测试结果中，而有功率与功率因数的测量计算结果都是跟相位角 φ 相关。所以一旦电压测试通道与电流测试通道本身存在相位差，会导致实际相角的测试错误，最终导致有功功率、

无功功率及 PF 功率因数的测量错误。

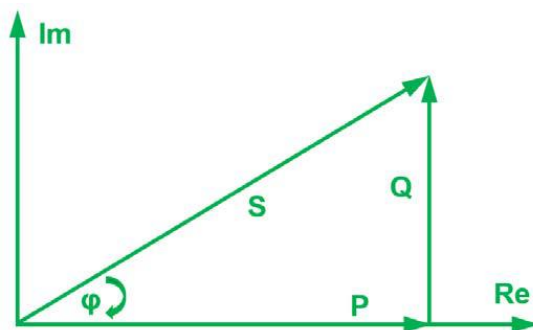


图 12 视在功率与有功功率的关系

总结

本指南介绍了开关电源电能质量、电源转换效率及纹波的影响及测试方法。使用示波器与直流电子负载即可快速完成电源产品的质量测试，替代了之前使用功率分析仪及复杂软件操作才能进行的电源质量测试方法，大大节省测试的成本。

对于完成电源质量与效率、纹波的测试所需的设备推荐如下：

测试项目	设备	要求
电源质量与功率效率	示波器： MSO8000、MSO/DS7000、 MSO5000	- 支持电源分析功能 - 支持 $\geq 1\text{Mpts}$ 波形数据的 FFT 分析
	直流电子负载：DL3000	支持恒流模式
	高压差分探头：RP1000D	
	电流探头：RP1000C	
	通道延迟校正夹具：RPA246	具有电压、电流相位校正功能
电源纹波	示波器：MSO8000、 MSO/DS7000、MSO5000	- 支持电源分析功能 - 支持基于内存的测量
	无源高阻探头：PVP2000	- 具有 X1 输入衰减 - 可使用接地弹簧