

中华人民共和国国家标准

GB/T 41035—2021

航天用可扩展架构计算机电源测试方法

Test method for aerospace ATX power supply

2021-12-31 发布

2022-07-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 测试准备	2
4.1 测试设备	2
4.2 测试场地	2
4.3 测试环境条件	3
4.4 测试人员	3
5 测试项目	3
6 测试方法	4
6.1 输入电压范围(V_{IN})	4
6.2 输入浪涌电流(I_{inrush})	5
6.3 输入反射电压纹波(V_{RIP})	6
6.4 输入反射电流纹波(I_{RIP})	7
6.5 输入欠压(V_{INL})	8
6.6 输出电压(U_O)	9
6.7 输出电流(I_O)	9
6.8 输出功率(P_O)	10
6.9 输出电压纹波(U_{RIP})	11
6.10 输出电压建立时间(T_{rise})	12
6.11 上电时序	13
6.12 使能信号(EN)	13
6.13 准备信号	14
6.14 开机/关机过冲	15
6.15 电压调整率(S_V)	16
6.16 负载调整率(S_I)	17
6.17 交叉调整率(S_C)	18
6.18 过压保护	19
6.19 过流保护	19
6.20 短路保护	20
6.21 输入电压跃变时输出电压变化	21
6.22 负载跃变时输出电压变化	21
6.23 功率因数($\cos\varphi$)值	22
6.24 效率(η)	23
6.25 绝缘电阻	24

GB/T 41035—2021

6.26 抗电强度	25
6.27 辐照	25
6.28 电磁兼容性	26
附录 A (资料性) 电源测试数据参考记录要求	27



前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由全国宇航技术及其应用标准化技术委员会(SAC/TC 425)提出并归口。

本文件起草单位：中国航天科技集团有限公司第九研究院第七七一研究所。

本文件主要起草人：马亚霞、薛建平、李军、王波、李鹏、马晓燕、王长楠、张峤、胡巧玉。

航天用可扩展架构计算机电源测试方法

1 范围

本文件规定了航天用可扩展架构计算机电源测试的一般要求、测试项目以及测试方法。

本文件适用于航天用可扩展架构计算机电源(以下简称电源)的测试,其他电源可参考执行。

2 规范性引用文件



下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件;不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 6995.2—2008 电线电缆识别标志方法 第2部分:标准颜色

GB/T 9254 信息技术设备的无线电骚扰限值和测量方法

GB/T 17618 信息技术设备 抗扰度 限值和测量方法

GB 17625.1 电磁兼容 限值 谐波电流发射限值(设备每相输入电流 ≤ 16 A)

GB 50611—2010 电子工程防静电设计规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

电压调整率 voltage regulation

在其他影响量保持不变时,由于输入电压的变化而引起输出电压的相对变化量。

3.2

负载调整率 load regulation

在其他影响量保持不变时,由于负载的变化而引起输出电压的相对变化量。

3.3

建立时间 rise time

输出电压从额定电压的10%上升到90%的时间。

3.4

使能信号 enable signal

计算机控制电源的开关信号高电平或悬空时为电源禁止(除规定的辅助电源有输出外),低电平为电源工作。

3.5

准备信号 power good signal

电源工作正常后向计算机CPU发出的一个电源准备好信号。

3.6

功率因数 power factor

有功功率与视在功率之比。

4 测试准备

4.1 测试设备

4.1.1 测试设备组成

测试设备由通用测试仪器设备、模拟负载、测试线缆等组成,其中:

- a) 通用测试设备包括大功率直流(交流)电源、数字万用表、示波器、电流钳(含电流放大器)、绝缘电阻表、耐压测试仪、功率因数表等;模拟负载包括电子负载、滑动变阻器等。若采用滑动变阻器,应外接电压、电流检测设备(仪器)。
- b) 测试线缆包括连接电源与通用测试设备、模拟负载的装置。

4.1.2 测试设备要求

所有测试仪器、设备、测量工装(见表1)等,应经计量检定合格并在有效期内,其量程、精度应满足表1中基本性能指标要求的测试需求。

表1 测试仪器、设备及测量工装

序号	名称	基本指标要求
1	直流(交流)电源	输出电压准确度保持在设定值的1%以内; 响应速度和功率输出满足被测电源测试要求,输出纹波电压峰-峰值及带宽应不影响输入纹波电流测试准确度的要求
2	数字万用表	测试精度优于0.1%
3	示波器	至少100 MHz的存储示波器,带有20 MHz输入滤波功能,至少两个通道
4	电流钳	测试精度优于0.1%
5	绝缘表	1 500 V、1 000 V、500 V、250 V、100 V的绝缘摇表或性能相同的其他绝缘测试设备
6	负载(多通道直流电子负载或滑动变阻器)	负载精度优于1%
7	功率因数表	频率:40 Hz~70 Hz 电压量程:0 V~380 V,电流量程0 A~10 A 精度:0.5%
8	耐压测试仪	测量范围:600 μ V~1 500 V 频率:10 Hz~30 MHz
9	测试线缆	连接线为高温导线; 代表不同输出信号的高温导线宜尽量采用不同颜色导线并标识清晰,线缆颜色应按照GB/T 6995.2—2008规定的要求执行

4.2 测试场地

测试场地应满足以下要求:

- a) 测试场地包括测试工作台及周边人员活动空间。
- b) 测试工作台平整。测试工作台内侧提供经稳压处理后的220 V交流电源插座,其中地线与大地可靠相连。测试工作台的防静电符合GB 50611—2010规定的要求。

4.3 测试环境条件

4.3.1 标准大气条件

除另有规定外,所有测试应在下列环境条件下进行:

- a) 环境温度:15℃~35℃;
- b) 环境相对湿度:25%~75%;
- c) 大气压力:86 kPa~106 kPa。

4.3.2 仲裁试验的标准大气条件

如果待测参数依赖于温度、湿度和气压,并且这种依赖关系是未知的,可在下列仲裁试验的标准大气条件下进行测量和试验:

- a) 环境温度:25℃±1℃;
- b) 环境相对湿度:48%~52%;
- c) 大气压力:86 kPa~106 kPa。

4.4 测试人员

测试人员应满足以下要求:

- a) 测试操作人员应经过上岗培训,熟练掌握各相关测试仪器、设备的使用方法,清楚各种测试项目及数据判读准则;
- b) 测试人员在测试前应做好准备工作:穿着防静电服和防静电鞋、帽,佩戴防静电手套和防静电腕带,并使防静电腕带的插头与工作台上的防静电腕带插座接触可靠。

5 测试项目

电源的测试项目见表2。

表2 测试项目表

序号	测试项目	备注
1	输入电压范围	
2	输入浪涌电流	
3	输入反射电压纹波	
4	输入反射电流纹波	
5	输入欠压	
6	输出电压	
7	输出电流	
8	输出功率	
9	输出电压纹波	
10	建立时间	
11	上电时序	
12	使能信号	
13	准备信号	仅对有准备信号要求的电源测试
14	开机、关机过冲	
15	电压调整率	

表 2 测试项目表 (续)

序号	测试项目	备注
16	负载调整率	
17	交叉调整率	
18	过压保护	
19	过流保护	
20	短路保护	
21	输入电压跃变时输出电压变化	
22	负载跃变时输出电压变化	
23	功率因数($\cos\varphi$)值	仅对 AC 输入电源
24	效率	
25	绝缘电阻	
26	抗电强度	
27	辐照	仅对有辐照要求的电源
28	电磁兼容性	

6 测试方法

6.1 输入电压范围(V_{IN})

6.1.1 目的

测试启动后电源输出电流和输出电压能稳定在规定范围内的输入端电压范围。输入电源范围的两个极限 V_{INmin} 、 V_{INmax} ，其中 V_{INmin} 为产品规范规定的最小输入电压， V_{INmax} 为产品规范规定的最大输入电压。

6.1.2 测试原理图

测试原理图如图 1 所示。

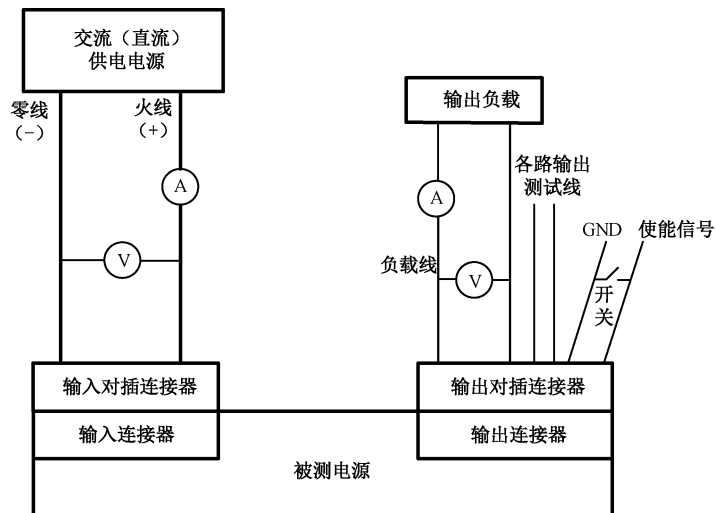


图 1 电源测试连接示意图

6.1.3 测试条件

应规定下列测试条件：

- 环境温度(T_A) [或壳温(T_C)];
- 输入电压(V_{IN});
- 输出电压(U_O);
- 输出电流(I_O);
- 使能信号的状态。

6.1.4 测试程序

测试程序规定如下：

- 按图 1 连接好电源、测试线缆和负载；
- 设置输入电压为规定值,调整负载,使各路输出电流(I_O)为规定值；
- 接通供电电源,用万用表测得输出电压(U_O)满足规定要求；
- 调整输入电压分别为 V_{INmax} 、 V_{INmin} ,接通供电电源,用数字万用表测试输出电压(U_O)。

6.1.5 注意事项

输入电压测试以引入端根部电压为准。

6.1.6 测试数据记录和处理

测试数据记录表见附录 A 的表 A.1,当输入电压在 V_{INmin} 、 V_{INmax} 时,输出电压正常说明该电源的输入电压范围为 $V_{INmin} \sim V_{INmax}$ 。

6.2 输入浪涌电流 (I_{inrush})

6.2.1 目的

测试电源瞬间接入供电电源时,输入端流入的瞬时尖峰电流的大小。

6.2.2 测试原理图

测试原理图如图 2 所示。

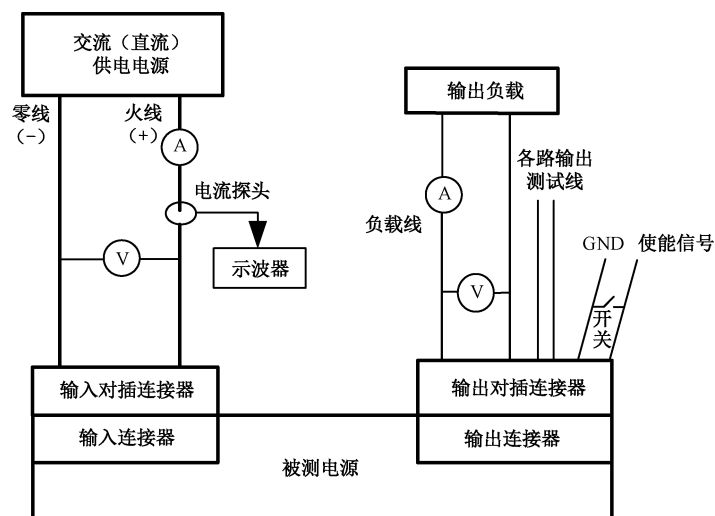


图 2 输入浪涌电流测试连接示意图

6.2.3 测试条件

应规定下列测试条件：

- a) 环境温度(T_A) [或壳温(T_C)];
- b) 输入电压(V_{IN});
- c) 输出电压(U_O);
- d) 输出电流(I_O);
- e) 示波器测试带宽;
- f) 使能信号的状态。

6.2.4 测试程序

测试程序规定如下：

- a) 按图 2 连接好电源、测试线缆和负载；
- b) 设置输入电压为规定值，调整负载，使各路输出电流(I_O)为规定值；
- c) 采用开关接通供电电源，用示波器记录开关点的浪涌电流波形，从电流波形中读取输入浪涌电流的最大值和浪涌电流持续时间，开关点的浪涌电流为其典型值。

6.2.5 注意事项

注意事项规定如下：

- a) 供电电源的输出瞬态电流值应保证大于输入浪涌电流值；
- b) 测试前应保证被测电源内部电容完全放电，且被测电源内部温度与环境温度达到平衡，确保是“冷”启动状态；
- c) 供电电源应瞬间接通，避免由于输入电压的上升时间不同造成对输入浪涌电流测试的影响。

6.2.6 测试数据记录和处理

测试数据记录表见表 A.2，按照产品详细规范要求记录浪涌电流的幅值和宽度。

6.3 输入反射电压纹波(V_{RIP})

6.3.1 目的

测试电源输入端口反射电压纹波峰峰值。

6.3.2 测试原理图

测试原理图如图 3 所示。

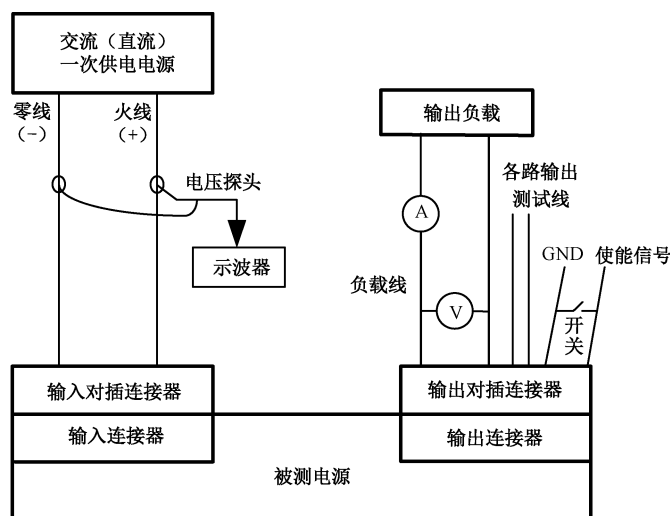


图 3 电源输入反射纹波测试连接示意图

6.3.3 测试条件

应规定下列测试条件：

- 环境温度(T_A) [或壳温(T_C)];
- 输入电压(V_{IN});
- 输出电压(U_O);
- 输出电流(I_O);
- 示波器测试带宽;
- 使能信号的状态。

6.3.4 测试程序

测试程序规定如下：

- 按图 3 连接好电源、测试线缆和负载；
- 设置输入电压为规定值，调整负载，使各路输出电流(I_O)为规定值；
- 接通供电电源，通过测试设备（如示波器等）记录被测电源的反射电压纹波峰峰值（示波器选择交流挡，带宽设置不小于 20 MHz）。

6.3.5 测试数据记录和处理

测试数据记录表见表 A.2，输入反射电压纹波峰峰值满足产品详细规范要求。

6.4 输入反射电流纹波(I_{RIP})

6.4.1 目的

测试电源输入端口反射电流纹波峰峰值。

6.4.2 测试原理图

测试原理图见图 2。

6.4.3 测试条件

应规定下列测试条件：

- a) 环境温度(T_A) [或壳温(T_C)];
- b) 输入电压(V_{IN});
- c) 输出电压(U_O);
- d) 输出电流(I_O);
- e) 示波器测试带宽;
- f) 使能信号的状态。

6.4.4 测试程序

测试程序规定如下:

- a) 按图 2 连接好电源、测试线缆和负载;
- b) 设置输入电压为规定值,调整负载,使各路输出电流(I_O)为规定值;
- c) 接通供电电源,通过测试设备(如示波器等)记录被测电源的反射电流纹波(示波器选择交流挡,带宽设置不小于 20 MHz)。

6.4.5 测试数据记录和处理

测试数据记录表见表 A.2,输入反射电流纹波峰-峰值满足产品详细规范要求。

6.5 输入欠压(V_{INL})

6.5.1 目的

测试输入端电压(V_{IN})低于某一规定值时,电源进行保护的能力。测试项目包括输入欠压开启电压(V_{INL-ON})、输入欠压关断电压($V_{INL-OFF}$)和输入欠压回差电压(V_{INL-TH})。

6.5.2 测试原理图

输入欠压保护功能的测试原理图如图 1 所示。

6.5.3 测试条件

应规定下列测试条件:

- a) 环境温度(T_A) [或壳温(T_C)];
- b) 输入电压(V_{IN});
- c) 输出电压(U_O);
- d) 输出电流(I_O);
- e) 使能信号的状态。

6.5.4 测试程序

测试程序规定如下:

- a) 按图 1 连接电源、测试线缆和负载;
- b) 接通供电电源,从 0 V 调节输入电压(V_{IN})至电源各路输出正常建立,此时的供电电压即为输入欠压开启电压(V_{INL-ON});
- c) 再将输入电压(V_{IN})向下调节至电源各路输出降为规定值,此时的供电电压即为输入欠压关断电压($V_{INL-OFF}$);
- d) V_{INL-ON} 与 $V_{INL-OFF}$ 的差值即为输入欠压回差电压(V_{INL-TH})。

6.5.5 注意事项

注意事项规定如下：

- a) 测试时注意输入连线的压降对测试精度的影响,应尽量减少输入连线的压降;
- b) 应注意识别输出电压下降是否为输入欠压保护引起,避免输出过流保护或无法稳压(如限制占空比)造成的输出电压下降误当成输入欠压保护。

6.5.6 测试数据记录和处理

测试数据记录表见表 A.3,输入欠压点应在产品详细规范要求的范围内。

6.6 输出电压(U_o)

6.6.1 目的

测试电源输出端的电压幅值。

6.6.2 测试原理图

测试原理图如图 1 所示。

6.6.3 测试条件

应规定下列测试条件：

- a) 环境温度(T_A)[或壳温(T_C)];
- b) 输入电压(V_{IN});
- c) 输出电流(I_O);
- d) 使能信号的状态。

6.6.4 测试程序

测试程序规定如下：

- a) 按图 1 连接好电源、测试线缆和负载;
- b) 设置输入电压为规定值,调整负载,使各路输出电流(I_O)为规定值;
- c) 接通电源,将被测电源输入端加上规定的输入电压(V_{IN}),用数字万用表测试输出电压(U_O)。

6.6.5 注意事项

输出电压测试都以引出端根部电压为准,对于试验过程中长线引出的工装,在负载工装的测试端测试。

6.6.6 测试数据记录和处理

测试数据记录表见表 A.1,输出电压幅值满足产品详细规范要求。

6.7 输出电流(I_O)

6.7.1 目的

测试电源各路输出端流向负载的电流。

6.7.2 测试原理图

测试原理图如图 1 所示。

6.7.3 测试条件

应规定下列测试条件：

- a) 环境温度(T_A)[或壳温(T_C)];
- b) 输入电压(V_{IN});
- c) 输出电压(U_O);
- d) 使能信号的状态。

6.7.4 测试程序

测试程序规定如下：

- a) 按图 1 连接好电源、测试线缆和负载；
- b) 设置供电电源电压为规定值；
- c) 接通供电电源，测试各路输出电压处于规定范围，从接于负载端的电流表或电子负载显示屏中直接读出 I_O 。

6.7.5 测试数据记录和处理

测试数据记录表见表 A.1，输出电流值满足产品详细规范要求。

6.8 输出功率(P_O)

6.8.1 目的

测试电源各路输出端流向负载的总功率。

6.8.2 测试原理图

测试原理图如图 1 所示。

6.8.3 测试条件

应规定下列测试条件：

- a) 环境温度(T_A)[或壳温(T_C)];
- b) 输入电压(V_{IN});
- c) 输出电压(U_O);
- d) 输出电流(I_O);
- e) 使能信号的状态。

6.8.4 测试程序

测试程序规定如下：

- a) 按图 1 连接好电源、测试线缆和负载；
- b) 调节输入电压，使被测电源输入端加上规定的直流输入电压(V_{IN})；
- c) 使输出电压处于规定状态，调整负载，从接于负载端的电流表或电子负载上直接读出 I_O ，从接于被测电源输出端的电压表上读出 U_O 或用数字万用表在测试端测量各路输出电压，计算输出功率(P_O)为各路输出 U_O 与 I_O 的乘积相加。

6.8.5 测试数据记录和处理

测试数据记录表见表 A.4，按照公式(1)计算输出功率。

$$P_O = \sum_{j=1}^n U_{Oj} I_{Oj} \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中：

P_O ——输出功率,单位为瓦(W)；

U_{Oj} ——各路输出电压,单位为伏特(V)；

I_{Oj} ——各路输出电流,单位为安培(A)。

6.9 输出电压纹波(U_{RIP})

6.9.1 目的

测试电源各路输出电压中所包含交流成分的峰峰值。

6.9.2 测试原理图

测试原理图如图 4 所示。

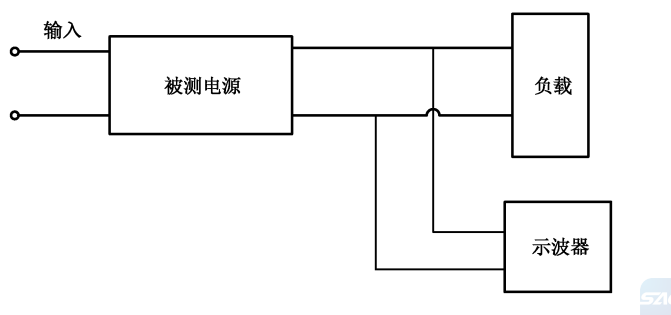


图 4 纹波峰峰值的测试原理框图

6.9.3 测试条件

应规定下列测试条件：

- a) 环境温度(T_A)[或壳温(T_C)]；
- b) 输入电压(V_{IN})；
- c) 输出电压(U_O)；
- d) 输出电流(I_O)；
- e) 使能信号的状态。

6.9.4 测试程序

测试程序规定如下：

- a) 按图 4 连接好电源、测试线缆和负载。在示波器探头和地线分别接在电容正端和负端之间,且探头与地线间环路面积尽量小。
- b) 电源在其规定的输入电压、输出电流时,用示波器测试输出电压纹波峰峰值。

6.9.5 注意事项

测试期间,应避免外界干扰对纹波测量的影响。如:使示波器探头接地端与测试点之间的接线尽可能短。

6.9.6 测试数据记录和处理

测试数据记录表见表 A.4。

6.10 输出电压建立时间 (T_{rise})

6.10.1 目的

测试电源在规定输入电压启动时或使能信号使能启动时,各路输出电压的上升时间。

6.10.2 测试原理图

测试原理如图 5 所示。

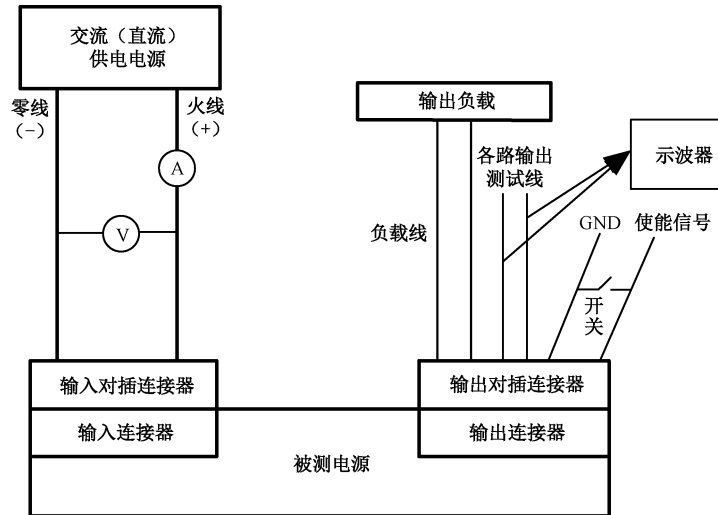


图 5 输出电压建立时间的测试原理图

6.10.3 测试条件

应规定下列测试条件:

- 环境温度 (T_A) [或壳温 (T_C)];
- 输入电压 (V_{IN});
- 输出电压 (U_O);
- 输出电流 (I_O);
- 使能信号的状态。

6.10.4 测试程序

测试程序规定如下:

- 按图 5 连接好供电电源、测试线缆和负载,断开使能信号与其输出地;
- 设置输入电压为规定值,调整负载,使各路输出电流 (I_O) 为规定值;
- 启动供电电源,短接使能信号与输出地,示波器单次触发模式记录电源各路输出电源的上电波形;
- 短接使能信号与输出地,将供电电源的电压设为规定值,启动供电电源,示波器单次触发模式记录电源各路输出电压的上电波形;
- 从上电波形中读取输出电压从其正常电压的 10% 上升到 90% 的时间。

6.10.5 注意事项

供电电源上升时间和使能控制信号变化时间应足够短,除另有规定外,应小于启动延迟时间规定值

的 1/10。

6.10.6 测试数据记录和处理

测试数据记录表见表 A.1,各路输出电压建立时间满足产品详细规范要求。

6.11 上电时序

6.11.1 目的

测试电源各个输出之间的启动时序。

6.11.2 测试原理图

测试原理图如图 5 所示。

6.11.3 测试条件

应规定下列测试条件：

- a) 环境温度(T_A)[或壳温(T_C)];
- b) 输入电压(V_{IN});
- c) 输出电压(U_O);
- d) 输出电流(I_O);
- e) 使能信号的状态。

6.11.4 测试程序

测试程序规定如下：

- a) 按图 5 连接好电源、测试线缆和负载,使用示波器的三个通道,每个通道分别在电源输出的测试线端口检测有上电时序要求的电压信号;
- b) 设置输入电压为规定值,调整负载,使各路输出电流(I_O)为规定值,使能信号与其输出地短接;
- c) 启动供电电源,示波器单次触发模式下检测电源各路输出电压的上电时序;
- d) 供电电源不断电,使能信号与输出地断开,再将使能信号与输出地短接时,测试电源各路输出电压的上电时序。

6.11.5 注意事项

注意事项规定如下：

- a) 交流(直流)供电电源上升时间应足够短,除另有规定外,应小于启动延迟时间规定值的 1/10;
- b) 当多路输出电源变换器的输出路数大于存储示波器的通道数时,可以选取其中一路输出作为固定参考,分多次测试完成。

6.11.6 测试数据记录和处理

测试数据记录表见表 A.5,各路输出电压的上电时序满足产品详细规范要求。

6.12 使能信号(EN)

6.12.1 目的

测试电源使能信号功能。

6.12.2 测试原理图

测试原理图如图 1 所示。

6.12.3 测试条件

应规定下列测试条件：

- a) 环境温度(T_A)[或壳温(T_C)];
- b) 输入电压(V_{IN});
- c) 输出电压(U_O);
- d) 输出电流(I_O)。

6.12.4 测试程序

测试程序规定如下：

- a) 按图 1 连接好电源、测试线缆和负载；
- b) 设置输入电压为规定值，调整负载，使各路输出电流(I_O)为规定值；
- c) 使能信号不接输出地，启动电源输入的直流(交流)供电电源，检查各路输出；
- d) 使能信号与其输出地短接，启动电源输入的直流(交流)供电电源，检查各路输出；
- e) 电源加电启动正常后，将使能信号与输出地线断开，检查各路输出。

6.12.5 注意事项

在电源单板进行使能信号测试时，应在使能信号与电源输出地线之间连接开关。避免手动瞬时短接引发火花。

6.12.6 测试数据记录和处理

测试数据记录表见表 A.6，使能信号测试结果满足产品详细规范要求。

6.13 准备信号

6.13.1 目的

测试电源准备信号功能。

6.13.2 测试原理图

测试原理图如图 5 所示。

6.13.3 测试条件

应规定下列测试条件：

- a) 环境温度(T_A)[或壳温(T_C)];
- b) 输入电压(V_{IN});
- c) 输出电压(U_O);
- d) 输出电流(I_O);
- e) 使能信号的状态。

6.13.4 测试程序

测试程序规定如下：

- a) 按图 5 连接好电源、测试线缆和负载。使用示波器的双通道,每个通道分别在电源输出的测试线端口检测准备信号和基准输出电压信号。
- b) 使能信号与其输出地短接,电源在其规定的输入电压、输出电流,用示波器检测在单次触发模式下的电源准备信号和基准输出电压时序关系。按图 6 所示记录基准输出电压上升到其额定值的 90% 开始,到准备信号上升到其额定值的 90% 之间的时间差(T),即为准备信号延时时间。

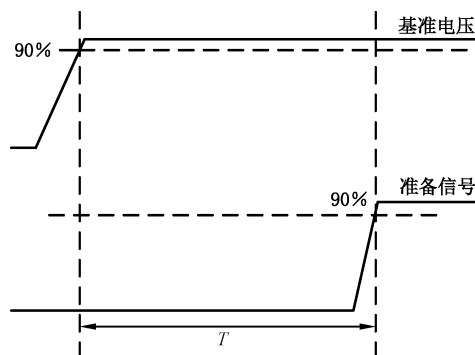


图 6 准备信号相对于基准输出电压的延迟测量示意图

6.13.5 测试数据记录和处理

测试数据记录表见表 A.7,准备信号相对于基准输出电压的延迟时间测试结果满足产品详细规范要求。

6.14 开机/关机过冲

6.14.1 目的

测试电源在启动和关断过程中,输出电压瞬时值与稳定值的最大差值,分供电电源启动/关断和使能信号启动/关断。

6.14.2 测试原理图

测试原理图如图 5 所示。

6.14.3 测试条件

应规定下列测试条件:

- 环境温度(T_A)[或壳温(T_C)];
- 输入电压(V_{IN});
- 输出电流(I_O);
- 使能信号的状态。

6.14.4 测试程序

测试程序规定如下:

- 按图 5 连接好电源、测试线缆和负载,断开使能信号与其输出地,用示波器检测被测路测试点端口电压波形;
- 设置输入电压为规定值,调整负载,使各路输出电流(I_O)为规定值;
- 短接使能信号与其输出地,示波器上升沿单次触发模式记录电源开机时各路输出开机过冲电

压和时间；

- d) 断开使能信号与其输出地,示波器下降沿单次触发模式记录电源开机时各路输出关机过冲电压和时间；
- e) 将使能信号与其输出地短接,启动供电电源,示波器上升沿单次触发模式记录电源开机时各路输出开机过冲电压和时间；
- f) 将使能信号与其输出地短接,关断供电电源,示波器下降沿单次触发模式记录电源开机时各路输出关机过冲电压和时间。

6.14.5 测试数据记录和处理

测试数据记录表见表 A.8,记录使能信号通断和供电电源通断时电源开关机过程中的波形。按照产品详细规范要求读取波形中过冲的幅值和时间。

6.15 电压调整率(S_v)

6.15.1 目的

测试电源在输出电流保持不变时,由于输入电压变化而引起的输出电压相对变化量。

6.15.2 测试原理图

测试原理图如图 1 所示。

6.15.3 测试条件



应规定下列测试条件：

- a) 环境温度(T_A)[或壳温(T_C)];
- b) 输入电压(V_{IN});
- c) 输出电流(I_O);
- d) 使能信号的状态。

6.15.4 测试程序

测试程序规定如下：

- a) 按图 1 连接好电源、测试线缆和负载,数字万用表检测被测路测试点端口电压值；
- b) 使能信号与其输出地短接,电源在其额定输入电压、规定输出电流工作；
- c) 待输出稳定后,测量输出电压(U_O)并记录；
- d) 将电源输入电压依次设置为最高和最低输入电压,测试并记录相应的输出电压 U_1 、 U_2 ；
- e) 按公式(2)计算电压调整率,取其最大值。

$$S_u = \left| \frac{\Delta U_O}{U_O} \right|_{\max} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中：

- S_u ——电压调整率；
- ΔU_O —— U_O 与 U_1 或 U_2 之差,单位为伏特(V)；
- U_O ——输入电压为额定值时的输出电压值,单位为伏特(V)。

6.15.5 测试数据记录和处理

测试数据记录表见表 A.9,各路输出的电压调整率满足产品详细规范要求。

6.16 负载调整率(S_1)

6.16.1 目的

测试电源变换器在输入电压保持不变时,由于输出电流变化而引起的输出电压相对变化量。

6.16.2 测试原理图

电源负载特性测试原理如图 7 所示。

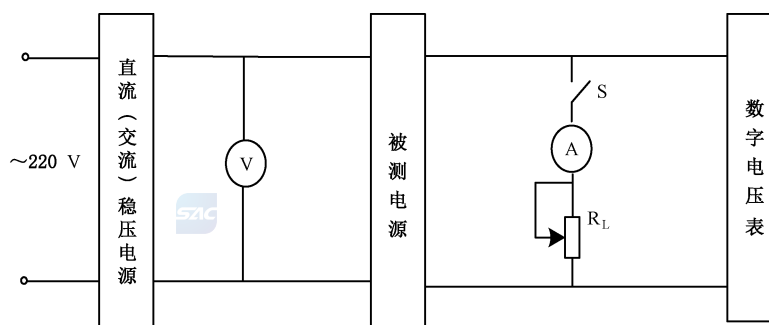


图 7 负载特性测试原理框图

6.16.3 测试条件

应规定下列测试条件:

- 环境温度(T_A)[或壳温(T_C)];
- 输入电压(V_{IN});
- 输出电流(I_O);
- 使能信号的状态。

6.16.4 测试程序

测试程序规定如下:

- 按图 7 连接好电源、测试线缆和负载,被测路负载开关(S)断开,用数字万用表测试被测路负载端口电压值;
- 使能信号与其输出地短接,电源在其规定输入电压、额定输出电流工作;
- 待输出稳定后,用数字万用表测试额定负载电流下的输出电压(U_O)并记录;
- 调节被测路的负载电阻使其电流分别为最小值和最大值(其他路输出为额定负载),测试并记录相应的输出电压 U_1 、 U_2 ;
- 按公式(3)计算负载调整率(S_1)。

$$S_1 = \left| \frac{\Delta U_O}{U_O} \right| \times 100\% \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中:

S_1 ——负载调整率;

ΔU_O —— U_O 与 U_1 或 U_2 之差,单位为伏特(V);

U_O ——负载电流为额定值时的输出电压值,单位为伏特(V)。

6.16.5 注意事项

对于负载电流超过 10 A 的电源,测量电压时需要考虑连接线的损耗和接触损耗问题。

6.16.6 测试数据记录和处理

测试数据记录表见表 A.9,各路输出的负载调整率满足产品详细规范要求。

6.17 交叉调整率(S_C)

6.17.1 目的

测试电源,在一路输出为规定的负载条件下,其他路负载在规定范围内变化时,该路输出电压的最大相对变化量。

6.17.2 测试原理图

电源负载特性测试原理如图 8 所示。

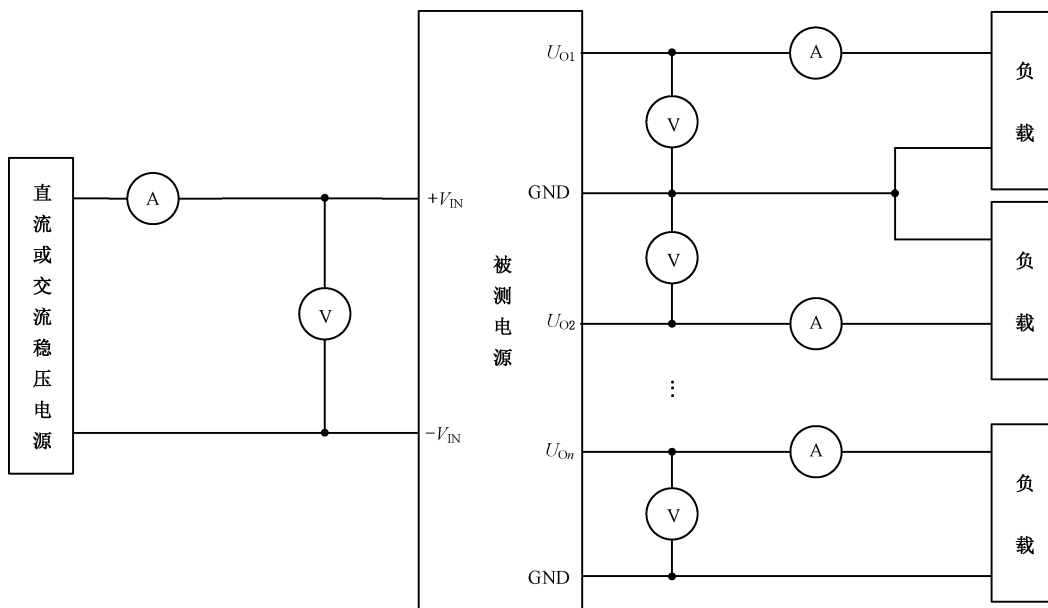


图 8 交叉调整率特性测试原理框图

6.17.3 测试条件

应规定下列测试条件：

- 环境温度(T_A)[或壳温(T_C)];
- 输入电压(V_{IN});
- 输出电流(I_O);
- 使能信号的状态。

6.17.4 测试程序

测试程序规定如下：

- 按图 8 连接好电源、测试线缆和负载；
- 输入端加上规定的输入电压(V_{IN})；
- 调整被测电源各路输出负载,使其处于额定工作状态；
- 记录测试路 i 输出电压(U_{O_i})；
- 调整除测试路 i 以外其他路负载为规定负载的下限值,记录第 i 路输出电压(U_{O_i})；

- f) 调整所有路负载为规定负载的上限值,记录第 i 路输出电压(U_{Oiz});
g) 按公式(4)计算第 i 路输出的交叉调整率。

$$S_{Ci} = \frac{\Delta U_{O_i}}{U_{O_i}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中:

S_{Ci} ——第 i 路输出电压的交叉调整率;

ΔU_{O_i} —— $|U_{O_{i1}} - U_{O_i}|$ 和 $|U_{O_{i2}} - U_{O_i}|$ 中的最大值;

U_{O_i} ——各路输出负载电流为额定值时,第 i 路的输出电压值,单位为伏特(V)。

6.17.5 测试数据记录和处理

测试数据记录表见表 A.9,各路输出的交叉调整率满足产品详细规范要求。

6.18 过压保护

6.18.1 目的

测试电源在输出过压保护动作时输出电压的大小。

6.18.2 测试原理图

电源过压保护测试原理如图 1 所示。

6.18.3 测试条件

应规定下列测试条件:

- 环境温度(T_A)[或壳温(T_C)];
- 输入电压(V_{IN});
- 输出电流(I_O);
- 使能信号的状态。

6.18.4 测试程序

测试程序规定如下:

电源的过压保护功能一般在电源调试阶段进行测试。宜采用的测试方法如下:

- 调整电源为开环状态,输出负载为 10% 额定负载电流,使能信号与其输出地短接数字万用表;
- 调节电源的输入电压由零逐渐升高,用数字万用表或示波器测试被测输出电压值达到过压保护点后,输出掉电(关断式)或保持不变(恒压式)时的输出电压值;
- 测试完成后,恢复电源为闭环状态。

6.18.5 测试数据记录和处理

测试数据记录表见表 A.10,各路输出的过压保护点满足产品详细规范要求。

6.19 过流保护

6.19.1 目的

测试电源在输出过流保护动作时输出电流的大小。

6.19.2 测试原理图

电源过流保护测试原理如图 1 所示。

6.19.3 测试条件

应规定下列测试条件：

- a) 环境温度(T_A)[或壳温(T_C)];
- b) 输入电压(V_{IN});
- c) 输出电流(I_O);
- d) 使能信号的状态。

6.19.4 测试程序

测试程序规定如下：

- a) 按图 1 连接好电源、测试线缆和负载,使用数字万用表分别在电源输出被测路的测试线端口检测电压信号;
- b) 电源在其规定的输入电压、输出电流时,使能信号与其输出地短接,测试电源各路输出正常;
- c) 将其中一路输出带载加到其设计的过流保护点,用示波器检测各路输出电压,该路过流输出电压关断时记录保护点的过流值;
- d) 关断输入直流(交流)稳压电源,将被测路输出的负载调整到其额定负载,重新启动直流(交流)稳压电源,用数字万用表测试各路输出电压;
- e) 若需要测试过流保护的响应时间,应同时采用电压探头和电流探头测试被测输出电压的电流变化波形和电压变化波形,根据不同产品过流保护特性记录响应时间。

6.19.5 测试数据记录和处理

测试数据记录表见表 A.10,各路输出的过流保护点和响应时间满足产品详细规范要求。

6.20 短路保护

6.20.1 目的

测试电源在输出短路时保护是否动作。

6.20.2 测试原理图

电源短路保护测试原理如图 1 所示。

6.20.3 测试条件

应规定下列测试条件：

- a) 环境温度(T_A)[或壳温(T_C)];
- b) 输入电压(V_{IN});
- c) 输出电流(I_O);
- d) 使能信号的状态。

6.20.4 测试程序

测试程序规定如下：

- a) 按图 1 连接好电源、测试线缆和负载,使用数字万用表分别在电源输出被测路的测试线端口检测电压信号;
- b) 测试电源在其规定的输入电压、输出电流时正常工作;
- c) 将其中被测路输出负载短路,电源被测路的输出关断,短路保护电路动作;
- d) 关断输入直流(交流)稳压电源,将被测路输出的负载调整到其额定负载,重新启动直流(交流)

稳压电源,用数字万用表测试各路输出电压;

- e) 若需要测试短路保护的响应时间,应同时采用电压探头和电流探头测试被测输出电压的电流变化波形和电压变化波形,根据不同产品短路保护特性记录响应时间。

6.20.5 测试数据记录和处理

测试数据记录表见表 A.10,各路输出的短路保护点和响应时间满足产品详细规范要求,重新启动后各路输出电压应正常。

6.21 输入电压跃变时输出电压变化

6.21.1 目的

测试输入电压在规定范围内快速变化时,引起的输出电压变化的最大值,反映了电源变换器输出对输入电压变化的响应能力。

6.21.2 测试原理图

电源输入电压跃变时输出电压变化测试原理如图 5 所示。

6.21.3 测试条件

应规定下列测试条件:

- 环境温度(T_A)[或壳温(T_C)];
- 输入电压(V_{IN});
- 输出电流(I_O);
- 使能信号的状态。

6.21.4 测试程序

测试程序规定如下:

- 按图 5 连接好电源、测试线缆和负载;
- 测试电源在其规定的输入电压、输出电流时正常工作;
- 设置交流(直流)供电电源在规定范围内跃变;
- 从示波器波形上读取输入电压在规定范围内跃变时,各路输出电压的最大变化量和恢复到规定幅值范围的时间。

6.21.5 测试数据记录和处理

测试数据记录表见表 A.11,记录输入电压跃变时各路输出电压的波形。按照产品详细规范要求读取波形中输出电压响应的幅值和时间。

6.22 负载跃变时输出电压变化

6.22.1 目的

测试负载在规定范围内快速变化时输出电压变化的最大值,反映了电源输出对负载变化的响应能力。

6.22.2 测试原理图

电源负载跃变时输出电压变化测试原理如图 5 所示。

6.22.3 测试条件

应规定下列测试条件:

- a) 环境温度(T_A)[或壳温(T_C)];
- b) 输入电压(V_{IN});
- c) 输出电流(I_O);
- d) 使能信号的状态。

6.22.4 测试程序

测试程序规定如下:

- a) 按图 5 连接好电源、测试线缆和负载;
- b) 测试电源在其规定的输入电压、输出电流时正常工作;
- c) 设置电源某一路输出负载在规定范围内跃变;
- d) 从示波器波形上读取该路负载在规定范围内跃变时,各路输出电压的最大变化量和恢复到规定幅值范围的时间。

6.22.5 测试数据记录和处理

测试数据记录表见表 A.11,记录负载跃变时各路输出电压的波形。按照产品详细规范要求读取波形中输出电压响应的幅值和时间。

6.23 功率因数($\cos\phi$)值

6.23.1 目的

测试交流输入电源有功功率(P)与视在功率(S)的比值。当电压、电流为正弦波,负载为电阻、电容、电感等线性负载时,由于电压、电流之间存在着相位差,其有功功率为 $P = UI\cos\phi$,相移功率因数 $\cos\phi = P/S$ 。

6.23.2 测试原理图

电源功率因数($\cos\phi$)测试原理如图 9 所示。

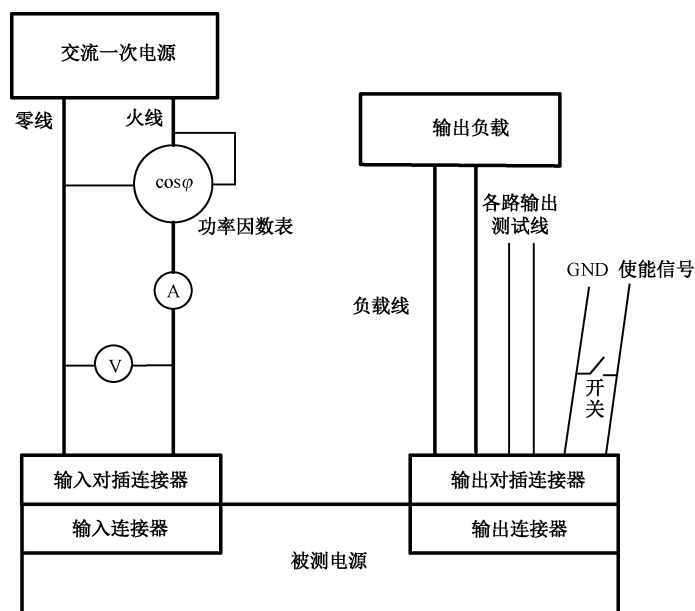


图 9 AC 输入电源效率和功率因数测试连线图

6.23.3 测试条件

应规定下列测试条件：

- a) 环境温度(T_A)[或壳温(T_C)];
- b) 输入电压(V_{IN});
- c) 输出电流(I_O);
- d) 使能信号的状态。

6.23.4 测试程序

测试程序规定如下：

- a) 按图 9 连接好电源、测试线缆、功率因数表和负载；
- b) 电源在其规定的输入电压、输出电流时，使能信号与其输出地短接，记录在规定状态下电源输入功率因数($\cos\varphi$)；
- c) 从功率因数表读出额定状态下电源的输入功率因数($\cos\varphi$)值。

6.23.5 测试数据记录和处理

测试数据记录表见表 A.12，在输入电压范围内功率因数($\cos\varphi$)的值满足产品详细规范要求。

6.24 效率(η)

6.24.1 目的

测试电源输出功率与输入功率的百分比。

6.24.2 测试原理图

电源效率测试原理如图 9 所示。

6.24.3 测试条件

应规定下列测试条件：

- a) 环境温度(T_A)[或壳温(T_C)];
- b) 输入电压(V_{IN});
- c) 输出电流(I_O);
- d) 使能信号的状态。

6.24.4 测试程序

6.24.4.1 DC 输入电源效率

测试程序规定如下：

- a) 按图 1 连接好电源、测试线缆和负载；
- b) 电源在其规定的输入电压，输出负载电流时，使能信号与其输出地短接。记录规定状态下电源输入电压(U_i)及输入电流(I_i)；
- c) 使用数字万用表分别在电源输出的测试线端口检测各路输出电压信号(U_{Oj})，并记录该路负载电流(I_{Oj})；
- d) 按公式(5)计算电源效率(η)。

$$\eta = \frac{\sum_{j=1}^n U_{Oj} I_{Oj}}{U_i I_i} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中：

- η ——效率；
- j ——电源输出的第 j 路；
- n ——电源输出的路数；
- U_{Oj} ——电源第 j 路输出电压，单位为伏特(V)；
- I_{Oj} ——电源第 j 路输出电流，单位为安培(A)；
- U_i ——电源的输入电压，单位为伏特(V)；
- I_i ——电源的输入电流，单位为安培(A)。

6.24.4.2 AC 输入电源效率

测试程序规定如下：

- a) 按图 9 连接好电源、测试线缆、功率因数表和负载；
- b) 电源在其规定的输入电压、输出电流时，使能信号与其输出地短接，记录规定状态下电源输入电压(U_i)、输入电流(I_i)以及功率因数($\cos\varphi$)；
- c) 使用数字万用表分别在电源输出的测试线端口检测各路输出电压信号(U_{Oj})，并记录该路负载电流(I_{Oj})；
- d) 按公式(6)计算电源效率(η)。

$$\eta = \frac{\sum_{j=1}^n U_{Oj} I_{Oj}}{U_i I_i \times \cos\varphi} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中：

- η ——效率；
- j ——电源输出的第 j 路；
- n ——电源输出的路数；
- U_{Oj} ——电源第 j 路输出电压，单位为伏特(V)；
- I_{Oj} ——电源第 j 路输出电流，单位为安培(A)；
- U_i ——电源的输入电压，单位为伏特(V)；
- I_i ——电源的输入电流，单位为安培(A)；
- $\cos\varphi$ ——电源的输入功率因数。

6.24.5 测试数据记录和处理

测试数据记录表见表 A.13，电源变换效率满足产品详细规范要求。

6.25 绝缘电阻

6.25.1 目的

测试电源中有隔离要求的输入端与输出端之间及输入端与外壳之间、输出端与外壳之间以及各隔离输出端之间的绝缘电阻。

6.25.2 测试条件

应规定下列测试条件：

- a) 环境温度(T_A)[或壳温(T_C)]；
- b) 施加的直流试验电压(V_{DC})；
- c) 施加电压的时间(t)。

6.25.3 测试程序

测试程序规定如下：

- a) 分别短接电源输入正线与回线、各路输出正线与回线(输出共地的可同时短接)；
- b) 电源输入对输出、输入对外壳、输出对外壳、各路隔离输出之间施加直流试验电压(V_{DC})，施加时间为(t)；
- c) 施加 V_{DC} 的时间达到 t 后，记录所显示的电阻值；
- d) 也可采用规定电压的兆欧表进行绝缘测试。

6.25.4 注意事项

测试时被测的各隔离信号的正端与负端应为等电位。

6.25.5 测试数据记录和处理

测试数据记录表见表 A.14，电源绝缘电阻满足产品详细规范要求。

6.26 抗电强度

6.26.1 目的

测试电源中有隔离要求的输入端与输出端、输入端与外壳之间、输出端与外壳之间的隔离耐压。

6.26.2 测试条件

应规定下列测试条件：

- a) 环境温度(T_A)[或壳温(T_C)]；
- b) 施加的直流或交流试验电压(V)；
- c) 施加电压的时间(t)。

6.26.3 测试程序

测试程序规定如下：

- a) 分别短接电源输入正线与回线或输入火线与零线、各路输出正线与回线(输出共地的可同时短接)；
- b) 使用连续可调的耐压测试仪，保持时间设定为规定值，漏电流设定为规定值，耐压测试仪输出正线和回线分别接在电源输入与输出之间、输入与外壳之间、输出与外壳之间；
- c) 耐压测试仪试验电压由零逐渐升高到设定的交流或直流电压后开始计时，试验过程中记录耐压测试仪的漏电流。

6.26.4 注意事项

测试时被测的各隔离信号的正端与负端应为等电位。



6.26.5 测试数据记录和处理

测试数据记录表见表 A.15，电源抗电强度满足产品详细规范要求。

6.27 辐照

6.27.1 目的

测试电源在辐照环境下能否正常工作或在经历了辐照环境后，电源的性能指标是否会发生变化。

6.27.2 测试条件

应规定下列测试条件：

- a) 辐照环境试验条件；
- b) 施加的直流或交流试验电压(V)；
- c) 施加电压的时间(t)；
- d) 试验过程中带载情况。

6.27.3 测试程序

测试程序规定如下：

- a) 按图 1 连接好电源、测试线缆和负载，此处测试线缆宜为纯阻性负载；
- b) 设置输入电压为规定值，调整负载，使各路输出电流(I_o)为规定值；
- c) 接通供电电源，用数字万用表测试输出电压(U_o)。

6.27.4 注意事项

注意事项规定如下：

- a) 对辐照前后的电源进行电参数(对辐照敏感参数)和功能测试。
- b) 辐照前、后的电参数测试应在同一测试系统上进行，且测试项目的顺序和测试条件应保持不变。电参数测试可采用辐照中测试或移位测试。若采用辐照中测试，在整个系统处于试验位置后，应检查系统的连接、漏电和噪声电平是否符合要求。若采用移位测试，将被试电源从辐照源移至异地测试以及返回原位再作辐照的过程中，被试电源各引出端应短接，环境温度不得比辐照时的环境温度高 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。
- c) 辐照完毕到电参数开始测试的时间间隔不得超过 1 h ；辐照后被试器件置于干冰环境(温度不高于 $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$)保存，要求被试电源各端口短接，时间不可超过 72 h ，要求被试器件从干冰保存环境恢复到室温测试的时间不超过 30 min ；从前一次辐照后到后一次辐照开始之间的时间间隔不应超过 2 h 。

6.27.5 测试数据记录和处理

测试数据记录表见表 A.1，电源辐照前后的输出电压满足产品详细规范要求。

6.28 电磁兼容性

6.28.1 无线电骚扰限值的测量方法

按 GB/T 9254 规定的方法进行。

6.28.2 抗扰度限值测量方法

按 GB/T 17618 规定的方法进行。

6.28.3 谐波电流限值测量方法

按 GB 17625.1 规定的方法进行。

附录 A

(资料性)

电源测试数据参考记录要求

本附录给出的表 A.1~表 A.15 仅供参考,电源测试记录表的最终依据为具体产品的调试工艺规程。

表 A.1 输入输出电压指标记录表

输出电压	输入电压								
	幅值 V	纹波 mV	启动 时间 ms	幅值 V	纹波 mV	启动 时间 ms	幅值 V	纹波 mV	启动 时间 ms
U_{O1}/I_{O1}									
U_{O2}/I_{O2}									
U_{O3}/I_{O3}									
.....									

表 A.2 输入参数性能指标记录表

输入性能	输入电压					
	幅值	宽度	幅值	宽度	幅值	宽度
I_{inrush}/A						
V_{RIP}/mV						
I_{RIP}/mA						
V_{INL}/V						
.....						

表 A.3 输入欠压记录表

输出电压	输入欠压		
	V_{INL-ON}	$V_{INL-OFF}$	V_{INL-TH}
U_{O1}/I_{O1} 、 U_{O2}/I_{O2} 、 U_{O3}/I_{O3}			

表 A.4 输出功率记录表

$P_O = \sum_{j=1}^n U_{Oj} I_{Oj} =$

表 A.5 上电时序记录表

<div style="border: 1px solid black; width: 100px; height: 30px; margin: 0 auto;">图片</div> <p style="text-align: center;">供电电源通断时各路输出的上电时序图</p>	<div style="border: 1px solid black; width: 100px; height: 30px; margin: 0 auto;">图片</div> <p style="text-align: center;">使能信号通断时各路输出的上电时序图</p>
电源上电时序(是/否)正常	

表 A.6 使能信号记录表

1) 使能信号不接输出地,启动供电电源,各路输出情况为:
2) 使能信号与输出地短接,启动供电电源,各路输出情况为:
3) 供电电源不断电,使能信号与输出地断开,各路输出情况为:
4) 供电电源不断电,使能信号与输出地短接,各路输出情况为:

表 A.7 准备信号记录表

<div style="border: 1px solid black; width: 100px; height: 30px; margin: 0 auto; display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> 图片 </div> <p style="text-align: center;">准备信号相对于基准输出电压的延迟测量示意图</p>
准备信号相对于基准输出电压的延迟时间为:

表 A.8 开关机过冲记录表

<div style="border: 1px solid black; width: 100px; height: 30px; margin: 0 auto; display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> 图片 </div> <p style="text-align: center;">使能信号通断时开关机波形</p>		<div style="border: 1px solid black; width: 100px; height: 30px; margin: 0 auto; display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> 图片 </div> <p style="text-align: center;">供电电源通断时开关机波形</p>				
输出	输入					
	V_{INmin}		V_{IN}		V_{INmax}	
	幅值	时间	幅值	时间	幅值	时间
U_{O1}/I_{O1}						
U_{O2}/I_{O2}						
U_{O3}/I_{O3}						
.....						

表 A.9 调整率记录表

序号	输出电压	电压调整率	交叉调整率	电流调整率		
				V_{INmin}	V_{IN}	V_{INmax}
1	U_{O1}					
2	U_{O2}					
3	U_{O3}					
4	U_{O4}					
5					

表 A.10 保护功能记录表

序号	输出电压	过压保护点	过流保护		短路保护	
			过流保护点	响应时间	短路保护动作是否正常	响应时间
1	U_{O1}					
2	U_{O2}					
3	U_{O3}					
4	U_{O4}					
5	……					

表 A.11 输入电压和负载跃变时输出电压记录表

输入电压跃变时输出电压波形图		负载跃变时输出电压波形图		
输出	指标			
	幅值	时间	幅值	时间
U_{O1}				
U_{O2}				
U_{O3}				
……				

表 A.12 功率因数($\cos\varphi$)记录表

功率因数	V_{INmin}	V_{IN}	V_{INmax}
$\cos\varphi$			

表 A.13 效率(η)记录表

效率	V_{INmin}	V_{IN}	V_{INmax}
η			

表 A.14 绝缘电阻测试记录表

输入对外壳:DC()V>()M Ω
输出对外壳:DC()V>()M Ω
输入对输出:DC()V>()M Ω
各路隔离输出之间:DC()V>()M Ω

表 A.15 抗电强度测试记录表

输入对外壳:漏电流为()mA,过程中无击穿和飞弧现象
输出对外壳:漏电流为()mA,过程中无击穿和飞弧现象
输入对输出:漏电流为()mA,过程中无击穿和飞弧现象
各路隔离输出之间:漏电流为()mA,过程中无击穿和飞弧现象