

目 录

1	目的	5
2	适用范围	5
3	职责	5
4	规定	5
4.1	评估项目	5
4.2	评估用仪器、设备	5
4.3	静态电气性能评估	7
4.3.1	输出稳压、电压及负载调整率、噪声、效率	7
4.3.2	三相输入电源的输入功率测试	8
4.3.3	启动电压及最大输入电流	9
4.3.4	容性负载起机	10
4.3.5	电压漂移试验	10
4.3.6	线性稳压电路调整管纹波电流	11
4.3.7	反灌杂音电流	11
4.3.8	最大占空比测试	12
4.3.9	输入电流波形测试	12
4.3.10	输入低压异常测试	12
4.3.11	输入电压跳变测试	13
4.3.12	关机后输出重启测试	13
4.3.13	PWM IC 之 UCX84X 系列 3 脚、6 脚波形测试	13
4.4	动态电气性能评估	14
4.4.1	启动冲击电流	14
4.4.2	负载动态响应	16
4.4.3	开关机过冲	17
4.4.4	输出电压上升时间及跌落时间	17
4.4.5	开机延时及输出电压保持时间	18
4.4.6	起机时控制 IC 之 Vcc 回差	19
4.5	保护电路评估	20
4.5.1	短路保护	20
4.5.2	输出过流保护	21
4.5.3	输出过压保护	21
4.5.4	输入过、欠压保护	22
4.5.5	过温保护	23
4.5.6	风扇堵转测试	23
4.5.7	非正常负载测试	24
4.5.8	并机测试	24
4.6	元器件应力分析	24

4.6.1	概述	24
4.6.2	热应力	25
4.6.3	电压应力	26
4.6.4	电流应力	26
4.6.5	磁芯饱和测试	27
4.6.6	功耗	29
4.7	环路稳定性评估	31
4.7.1	反馈环路波形法	31
4.7.2	相位增益裕量法	33
4.8	MTBF (平均间隔失效时间) 预估	34
4.8.1	概述	34
4.8.2	定义	34
4.8.3	电解电容寿命预测	34
4.9	加速寿命实验	36
4.10	安全性能检测	37
4.10.1	抗电强度测试	37
4.10.2	接触电流测试	37
4.10.3	绝缘电阻测试	39
4.10.4	接地电阻测试	39
4.10.5	放电测试	40
4.11	环境实验	41
4.11.1	高温工作实验	41
4.11.2	低温工作实验	41
4.11.3	热冲击实验	42
4.11.4	高温贮存实验	42
4.11.5	低温贮存实验	42
4.11.6	高温高湿实验	43
4.11.7	交变湿热实验	43
4.11.8	极限工作温度测试	44
4.11.9	盐雾实验	44
4.11.10	跌落实验	45
4.11.11	振动实验 (正弦振动)	45
4.12	电源开、关机循环实验	45
4.13	EMC 测试	46
4.14	2000h 寿命实验	47
4.15	结构、工艺检查	47
4.15.1	直流电源线可靠性试验	47
4.15.2	输出插头寿命试验	48

4.15.3	AC 插头寿命试验.....	48
4.15.4	外形尺寸.....	48
5	缩略语及术语定义.....	49
6	支持文件.....	49
7	记录.....	50
8	附录.....	50

1 目的

本方法阐述了电源评估各项目进行的方法，其目的是为电源评估活动提供一个依据，使电源评估活动能够顺利、准确地进行。

2 适用范围

本方法适用于测试部对电源进行的评估试验。在测试条件中未提及温度时，温度即为室温。

3 职责

测试部经理或测试评估实验室主管不定期对《电源评估方法》进行更新，使《电源评估方法》不断严谨、完善；测试部所有人员均应对《电源评估方法》的更新提出自己的见解，以供采纳。《电源评估方法》是测试部进行电源评估的依据，如无特别规定，测试部所有的评估活动均应依循《电源评估方法》。

4 规定

4.1 评估项目

静态电气性能评估 动态电气性能评估 保护电路评估 元器件应力分析
环路稳定性评估 MTBF（平均间隔失效时间）预估 安全性能检测 环境试验
加速寿命试验 2000h 寿命实验 EMC 测试 结构、工艺检查。

说明：对于自身带有开关（包括遥控开关）的电源，在测试环路、电应力、开关机过冲、等等需进行开关机的项目时，不仅要占总电源开关进行开关机测试，还需对电源自身的开关进行开机测试。

4.2 评估用仪器、设备

设备名称	型号、规格	设备名称	型号、规格
万用表	FLUKE12 FLUKE87 GDM-8145	电子负载	3310 系列 3300A 系列 3300C 系列
示波器	V-1565 TDS3012 LT322	直流电源	PS3003 MDS-604 WYK-6010 WYK-10020
刻度电流表	C31-A L31/1-A	开关电源	ZYT4820 等
数字钳表	2004	AC 电源	6220
电量测量仪	PF9804	绝缘电阻测试仪	CS2612
数据采集/ 开关单元	Agilent 34970A	多点温度记录仪	SH526-RDD
高低频杂音 测试仪	QZY-11	高温箱	CS101-3E CS101-1E
振动测试仪	D-150-1	泄漏电流测试仪	7611
调压器	TDGC2-5	耐压测试仪	CS2675
G/E 系列高低温交变 湿热试验箱	EL-02AGP EG-02KA ESL-02KA ESL-04KA	低温箱	冰柜
传导测试仪	ER55C/LS 16	滑线变阻器	BX-7-12 BX-7-16
抗扰度综合测试仪	TRANSIENT2000	启动电流测试工装	
冷热冲击实验机	ITST-216-65-W	相位增益分析仪	PSM2200
隔离变压器	3000VA	接地电阻测试仪	CS2678

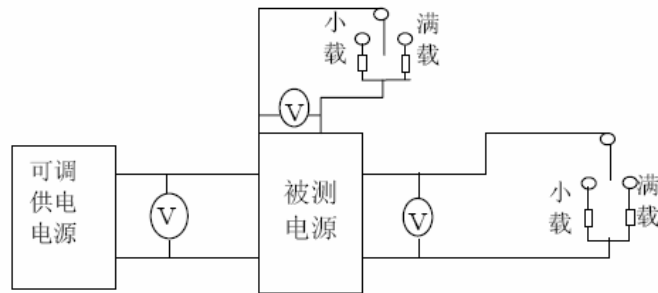
4.3 静态电气性能评估

4.3.1 输出稳压、电压及负载调整率、噪声、效率

测试条件

- 分别在室温、工作温度上限值及下限值情况下。
- 负载条件为各路的小载及额定负载的正交（有些电源还应做最大负载）。
- 输入电压分别为额定电压、输入电压范围上限值及下限值。

测试方框图



评估方法

- 先如图连接好测试电路，对于每一路输出都应准备小载、满载。如果负载调整率、稳压精度的限值用百分比表示，则应进行额定输入电压下的全部半载测量。
- 对于各种正交情况，应统一汇制成一张记录表格。
- 对于每一种情况都进行测试并记录数据。
- 此交调测试记录数据作为计算输出电压范围，电压调整率、负载调整率，稳压精度的原始数据。同时在额定负载及小载下，测量各输入电压下的纹波、噪声以及效率（满载），并保存纹波、噪声波形。对于给 CPU 供电的辅助电源，需测试其输出纹波并保存波形。
- 分别在室温及工作温度的上限值与下限值条件下进行上述测试。

计算方法

一、输出电压范围

电源各路输出电压范围即所测数据中每一路的最小电压值到最大电压值。

二、电压调整率

即为电源稳定输出电压对电源输入电压的变化（最小值—最大值）的调整性。

- 负载电流为额定值、源电压为标称值时，测出稳定输出电压 U_0 。
- 负载电流为额定值时，测出源电压在最小值（下限）与最大值（上限）时的输出电压值 U

c. 电压调整率= $(U-U_0) \div U_0 \times 100\%$

d. 对于多路输出，其它各路输出应与被测路同时带满载。

三、负载调整率

即为电源稳定输出电压对电源负载电流的变化（小载—满载）的调整性。

a. 源电压为标称值，负载电流为额定值的一半，测出输出电压整定值 U_0 。

b. 源电压为标称值时，测出负载电流在额定值（满载）与最小值（小载）的输出电压值 U

c. 负载调整率= $(U-U_0) \div U_0 \times 100\%$

d. 对于多路输出，其它各路输出应与被测路同时带满载或小载。

四、稳压精度

在全输入电压范围及正交负载电流条件下电源稳定输出电压相对于其整定值的最大偏离比例范围。

$$\text{稳压精度} = (U - U_0) / U_0 \times 100\%$$

U -----输出电压范围的上下限值。

U_0 -----输出电压整定值（输入电压为额定值，输出电流为一半额定电流时，测出的输出电压数值）。

五、效率

$$\eta = P_{out} / P_{in} = (V_{o1} \cdot I_{o1} + V_{o2} \cdot I_{o2} + \dots) / P_{in}$$

对于 AC-DC 电源， P_{in} 可直接由功率计中读出；对于 DC-DC 电源， $P_{in} = V_{in} \cdot I_{in}$

另还需在 50%、75%、100% 负载下测试电源的效率曲线。对于 AC-DC 电源，可每隔 10V 取点测试；对于 DC-DC 电源，可每隔 5V 取点测试。

判定依据

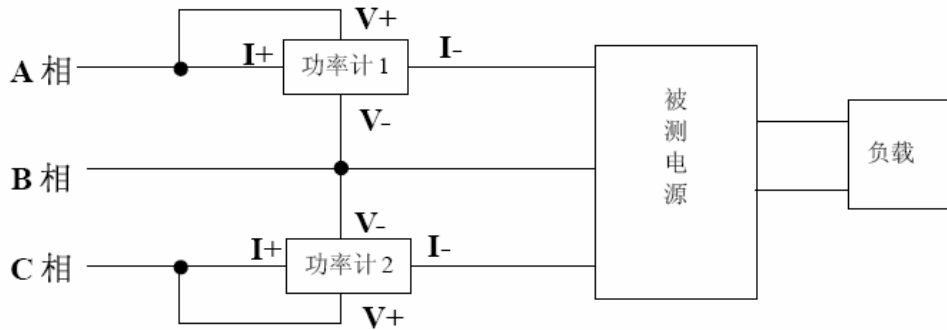
所有项目的测试结果都应符合产品技术要求。

4.3.2 三相输入电源的输入功率测试

测试条件

- 分别在室温、工作温度上限值及下限值情况下。
- 输入电压分别为额定电压、输入电压范围上限值及下限值。

测试方框图



计算方法

- 此为二表法测不对称三相三线制系统功率；
- V+为功率计的电压接线正极，接在被测相上；V-为功率计的电压接线负极，接在公共相上，即无功率计的那一相。
- I+为功率计的电流接线正极，接在被测相上功率计的进线端；I-为功率计的电流接线负极，接在被测相上功率计的出线端。
- 总的输入功率=功率计1与功率计2的读数之和。

4.3.3 启动电压及最大输入电流

测试条件

- 启动电压测量时电源输出为小载及满载。
- 最大输入电流在最低输入电压、满载条件下测量。

评估方法

一、启动电压测试

- 先给电源带小载。
- 把输入电压从零慢慢升高，直到电源输出正常，记录此时输入电压。
- 再给电源带满载，同b一样测试启动电压。

二、最大输入电流测试

- 电源工作电压为其输入电压范围的下限值。
- 电源所带负载为最大负载条件，测量此时的输入电流，即为最大输入电流。

判定依据

- a. 启动电压小于输入电压范围的下限值判定合格，否则不合格。
- b. 最大输入电流小于标定最大输入电流值则判定合格，否则不合格。

4.3.4 容性负载起机

测试条件

- a. 输出各种负载, 输入电压为高、中、低压。
- b. 试验温度分别为室温、工作温度上、下限值。

评估方法

- a. 在室温条件下, 先让电源的各路输出同时带上[附表一](#)（容性负载起机方案表）中的相应容性负载, 然后在额定输入电压及输入电压上、下限, 输出各种负载组合条件下开启电源。
- b. 如电源不起机, 应具体分析是哪路容性负载不起机, 如使用的是电子负载, 使用纯电阻负载进行验证。

注: 有的输出不能短路, 应考虑是否能作容性负载起机, 具体应与产品负责人商讨

判定依据

电源在上述条件下均能起机则判定合格, 有任何一种情形下不能起机或有任何一路输出不上电均判定不合格。

4.3.5 电压漂移试验

测试条件

- a. 输入电压为额定值。
- b. 电源输出负载为满载。
- c. 试验温度: 产品技术要求的最高工作温度。

评估方法

- a. 让电源在以上条件下工作, 确认电源工作正常。
- b. 在电源工作到 0.5 小时测量其输出电压, 然后每隔一小时测量一次输出电压, 电源持续工作 8.5 小时, 记录 9 次数据。
- c. 为了确保数据的准确, 应使用四位半或以上精度的电压表进行测量。
- d. 最后计算出电源的最大电压漂移量 (电压的最大变化量除以 0.5h 时的输出电压值)。
- e. 如输出电压随外加信号 (如频率、占空比、电压等) 成线性变化, 则应在线性段取 3~5 个点重复 a~d 之实验。

判定依据

最大电压漂移量不大于 0.5%则判定合格，否则不合格。

4.3.6 线性稳压电路调整管纹波电流

测试条件

- 输入电压为额定值。
- 电源输出负载为满载。

评估方法

- 让电源在以上条件下工作，用数字示波器测出调整管的纹波电流峰-峰值（去除尖刺）。
- 计算出其值与调整管的总电流之比值。

判定依据

调整管的纹波电流峰-峰值与其总电流之比小于 20%则判定合格，否则不合格。

4.3.7 反灌杂音电流

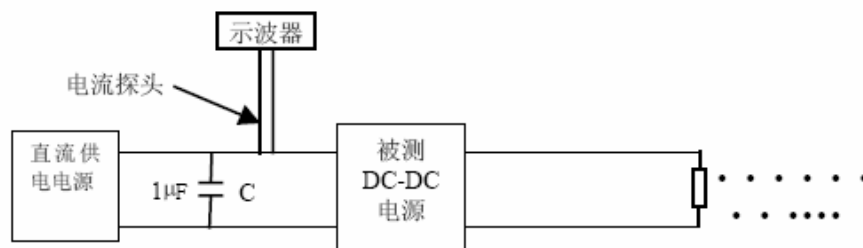
即 DC-DC 电源在全部影响量和控制量均保持恒定的情况下，在规定的带宽内，其输入端电流的宽频杂音分量。它可以用有效值 $I_{r.m.s}$ 与（或）峰-峰值（ I_{p-p} ）表示。

注：此项评估仅适用于 DC-DC 电源。

测试条件

- 输入电压为额定值。
- 各路输出满载。
- DC 供电电源的正、负极间并联一个 $1\mu F$ 的无极性电容。

测试方框图



评估方法

- 先如图布置好测试电路。

b. 将示波器设为交流耦合方式，带宽设为 20MHz，用示波器读出 I_{rms} 值或峰-峰值即可。

判定依据

测试值符合产品规格要求或其 I_{rms} 值小于输入电流值的 1% 则判定合格，否则不合格。

4.3.8 最大占空比测试

仅针对单端正激式电源，所用 PWM IC 为 UCx842、UCx843。

测试条件

电源不工作。

评估方法

- a. 根据电源所用的 IC 选择相应的直流电压接入 IC 的 7 脚。
- b. 用示波器观察 IC 6 脚波形，测出其占空比，即为最大占空比。

判定依据

- a. 最大占空比小于 60% 则判定合格，否则不合格。
- b. 对于谐振复位及有源嵌位模式，最大占空比小于 80% 则判定合格，否则不合格。

4.3.9 输入电流波形测试

仅针对带 PFC 电路的 AC-DC 电源。

测试条件

- a. 输入电压为额定值、上限值及下限值。
- b. 输出负载为 50% 负载、75% 负载及 100% 负载。
- c. 试验温度为室温。

评估方法

在上述条件下用数字示波器测量电源的输入电流并保存波形。

判定依据

不进行判断，仅作为参考项。

4.3.10 输入低压异常测试

测试条件

输出负载为空载、小载、半载及满载。

评估方法

开启电源，将输入电压从下限值缓慢降低到零，再缓慢从零提升到下限值。需用示波器监测输出电压。（同一变压器的多路输出只需监测其中一路输出，如有辅助电源，其输出电压也需监测）

判定依据

开机过冲小于 $10\%V_o$ 且无输出过压、坏机等现象出现则判定合格，否则不合格。

4.3.11 输入电压跳变测试

仅针对 AC-DC 电源。

测试条件

输出负载为小载、半载及满载（如电源功率过大，可根据测试仪器的实际负荷能力设置负载大小）。

评估方法

电源开启后，将输入电压从 160Vac 到输入电压上限值（如上限值超过 290Vac 则取 290Vac）进行跳变，跳变周期为 1 秒。用示波器监测电源的输出电压。

判定依据

电源输出电压正常（指输出电压不能超过输出电压范围的要求）则判定合格，否则不合格。

4.3.12 关机后输出重启测试

测试条件

输入电压为额定值、上限值及下限值，输出负载为小载及半载。*（对于多路输出，需在各种负载组合下测试）*

评估方法

在上述条件下对电源进行关机，用示波器监测电源的输出电压。

判定依据

电源输出掉电后无重新启动现象出现则判定合格，否则不合格。

4.3.13 PWM IC 之 UCX84X 系列 3 脚、6 脚波形测试

测试条件

输入电压为额定值，输出负载为满载。

评估方法

用数字示波器测量 IC 的 3 脚、6 脚波形。

判定依据

IC 的 3 脚、6 脚低电平高于 -0.3V 则判定合格，否则不合格。

4.4 动态电气性能评估

4.4.1 启动冲击电流

即为电源在输入开启的瞬间在输入线路上产生的最大瞬间电流。

注：由 EMI 电路引起的 μs 级电流不在考虑之内。

测试条件

- 启动电流测试装置（或供电电源）的输入电压为电源工作电压上限值，但测试装置的输入电压不应超过 300Vac。
- 电源应区分为热态（电源已满载工作 5 分钟以上）与冷态（电源已停止工作 10 分钟以上）。

测试方框图

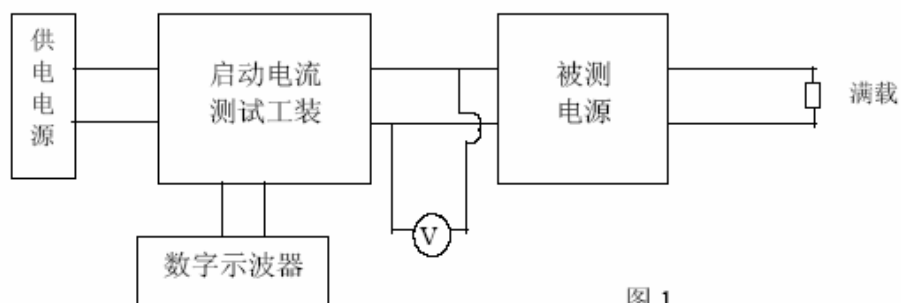


图 1

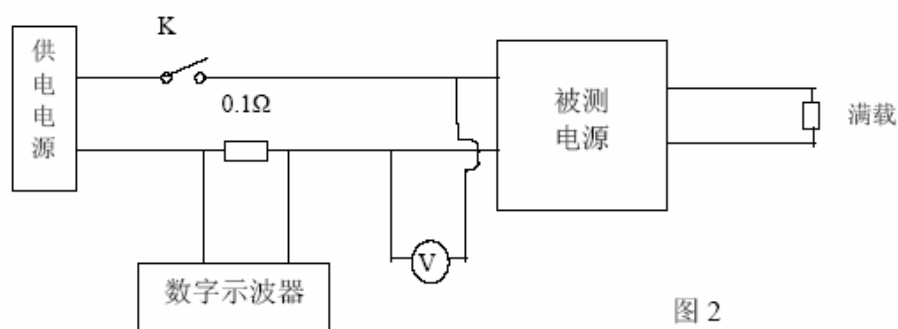


图 2

评估方法

针对电源输入电压的高低而使用不同的测试工装，测试方框图如上图 1、2。

测试方法如下：分别在冷机、热机条件下进行上述测试并记录波形。

一、电源输入高电压 ($V_{in} > 75V$)

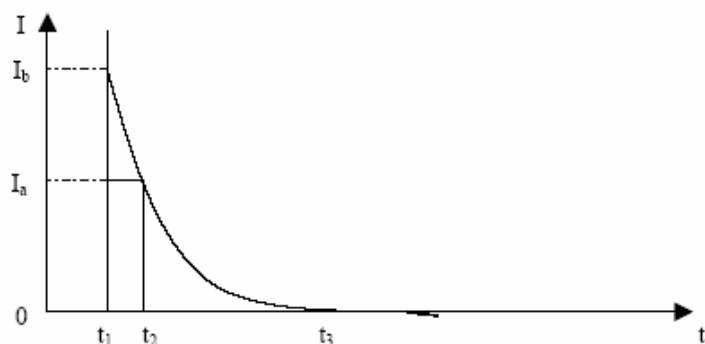
- 先如上图 1 接好测试电路。
- 先把数字示波器调到自动触发捕获状态 (一般: $v/div: 1$ 或 $2V$, $time/div: 5ms$, $trigger\ level: 1V$, $trigger\ Mode: Normal$, $slope: \uparrow$)
- 再给启动电流测试装置充电 ($K1$ 开), 充电稳定后即可给被测电源加上启动电流 (先 $K3$ 开后 $K4$ 开)。
- 示波器捕获到信号后, 把 $K1$ 、 $K3$ 、 $K4$ 关, $K2$ 开把启动电流测试工装里面的电荷放掉, 以免产生电击危险。
- 示波器捕获到的尖刺峰值 (如: $1.5V$) 乘以 10 ($15V$) 即为启动冲击电流的数值 (即为 $15A$)

二、电源输入低电压 ($V_{in} \leq 75V$)

- 先如上图 2 接好测试电路。
- 先把数字示波器调到自动触发捕获状态 (一般: $v/div: 1V$, $time/div: 5ms$, $trigger\ level: 1V$, $trigger\ Mode: Normal$, $slope: \uparrow$)。
- 合上开关 K , 让电源工作, 示波器即会捕获到一上冲信号,
- 用信号上冲电压幅度 (V) 除以 0.1Ω 即为启动冲击电流值。

三、 I^2T (焦耳积分值) 的计算

- 在输入电压上限、热机条件下, 测试出启动冲击电流波形。
- 根据启动冲击电流波形计算出 I^2T 值。详细计算方法如下:
$$I^2T = I_a^2 \times (t_2 - t_1) + 1/3 \times (I_b - I_a)^2 \times (t_2 - t_1) + 1/5 \times I_a^2 \times (t_3 - t_2)$$



- 将计算出的 I^2T 值 \div 输入保险丝的额定 I^2T 值 = 输入保险丝的 I^2T 降额度

判定依据

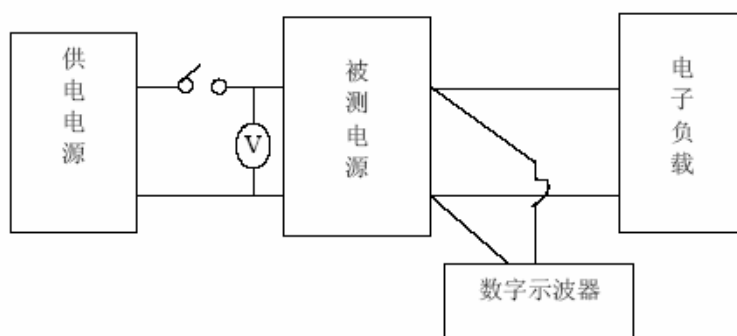
冷机条件下之启动冲击电流值符合产品技术要求、热机条件下之启动冲击电流不会使输入保险熔断、输入保险丝的 I^2t 降额度满足《元器件降额准则》则判定合格；任何一项达不到要求则判定不合格。

4.4.2 负载动态响应

测试条件

- a. 输入电压为电源额定工作电压。
- b. 输出负载在 25%与 50%额定电流之间阶跃以及在 50%与 75%额定电流之间阶跃或依照产品规格要求。

测试方框图



评估方法

- a. 将示波器设为自动状态，把电子负载设为上述要求的动态模式，开启电源及电子负载，测量其瞬态过冲幅度及瞬态恢复时间并保存波形(可调节电子负载的开关周期时间以获得易于测量的波形；过冲幅度的测量需剔除毛刺部分)。
- b. 过冲幅度是指最大过冲的峰值与公差带的中心值之差的绝对值和公差带的中心值之比。
- c. 恢复时间是指直流输出电压变化量上升至大于稳压精度处开始，恢复至小于等于并不再超过稳压精度处为止的这段时间。

判定依据

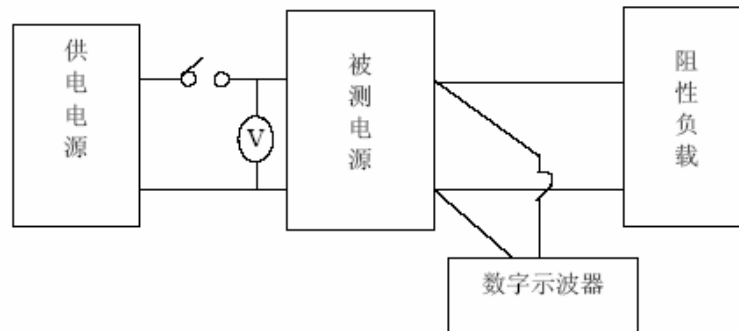
过冲幅度与恢复时间均符合产品技术要求则判定合格，否则不合格。

4.4.3 开关机过冲

测试条件

- a. 电源输出各种负载组合。
- b. 输入电压全范围。

测试方框图



评估方法

- a. 如图布置好测试电路
- b. 将数字示波器设置到正常捕获状态。SLOPE 为 \downarrow 。
- c. 然后即可开启电源，开启瞬间，示波器即会捕捉到一过冲信号，分别在以上各种条件下开启几次电源，取其中最大者，此即为开机过冲幅度。
- d. 当电源在工作时，关闭电源，示波器即会捕捉到输出电压下降信号，测量电压在下降之前的过冲值，在各种条件下多关闭几次电源，取其中最大者，即为关机过冲幅度。（保存开关机过冲波形；过冲幅度的测量需剔除毛刺部分）

判定依据

同时满足以下要求则合格：

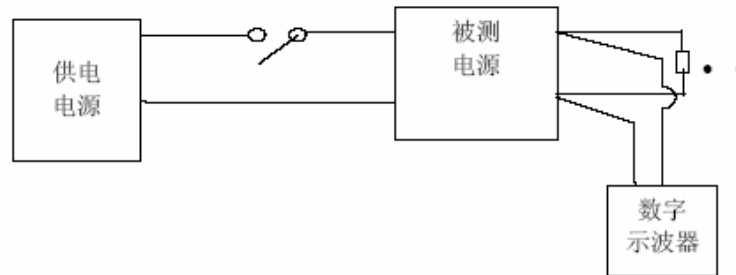
- a. 开关机过冲 $\leq 5\%V_o$ 或符合产品技术要求；
- b. 关机过冲不出现负压；
- c. 起机后输出电压如出现掉坑现象，此掉坑不应跌出规格要求的输出电压范围

4.4.4 输出电压上升时间及跌落时间

测试条件

- a. 输入电压为额定值。
- b. 电源输出满载。

测试方框图



评估方法

- a. 如图布置好测试电路。
- b. 将数字示波器设置到相应状态，开启供电开关，输出电压从 10% 上升到 90% 的时间即为输出电压上升时间，保存其波形。
- c. 将数字示波器设置到相应状态，开启供电开关，正常工作之后关断供电开关，输出电压从 90% 下降到 10% 的时间即为输出电压跌落时间，保存其波形。

判定依据

测试值符合产品技术要求则判定合格，否则不合格。产品规格无此项要求则不作判定。

4.4.5 开机延时及输出电压保持时间

测试条件

- a. 电源输出满载。
- b. 电源工作电压为额定值。

测试方框图

