附录二：电源应用技术指南

电源参数指标、可靠性要求的合理确定以及模块的正确应用，与系统设计方案的实现息息相关。在系统开发之初，就应将电源集成在系统中进行整体设计，综合考虑系统中各单元的配套性、成本、兼容性等诸多因素，以节约开发时间，提高产品质量，降低成本。设计和选择电源时应认真考虑配电方案、布局、接地回路等，以保证为用电设备良好供电，避免系统中电路之间的干扰、振荡以及过热等问题发生。

一、系统中配套电源的设计与选择

1、确定电源规格

1)、电源输入电压范围、输出电压及隔离要求

应根据产品使用地区、设备的供电条件确定所需电源变换器的输入电压范围、输出电压以及电源变换器是否有输入、输出隔离要求。

2)、电源功率

确定电源额定输出功率时，要考虑系统最大功率损耗和电源的功率裕量。一般建议功率裕量选在 20～40%，以达到成本和可靠性最佳组合。

3)、电源输出路数

在系统设计时要认真进行器件选择和工作电压规划，尽量减少工作电压种类，这样既有利于提高系统的性能和可靠性，也有利于降低成本。

4)、电源尺寸、安装方式和安装尺寸

在系统设计时，需要全面平衡关注电源尺寸、安装方式、安装尺寸、散热布局、散热气流通道、散热器及散热风扇安装等因素，不可片面追求电源体积的小型化，要进行体积、效率、成本、可靠性和散热方法的综合考虑。

2、使用标准模块

选配电源时，应尽可能使用市场上通用的电源模块。这样可缩短供货时间，产品可靠性较高，同时降低配套风险和产品成本。

3、冷却方法

使用中、大功率电源时，必须认真考虑散热问题，选择合理的自然风冷或强制风冷措施。如果使用自然冷却，应确保顶部和底部有足够的气流通道，以形成冷却空气流。

如果使用强制风冷，应该确保空气流经过每个电源。在系统和电源共用一个风扇的情况下，要有足够的风量用于冷却电源。

4、布局

安排电源的位置时尽可能缩短输入和输出连线。系统中较长的 AC 馈线就像接收天线一样，会增加 EMI，而过长的输出馈线会导致电压调整精度降低，噪音增加。

二、电源的合理应用

1、连接导线的尺寸

在选择电源时，除了考虑输出电压、电流外，还应重视负载连接导线的电阻。应该尽可能缩短电源输出端与负载间的距离，并增大连接导线的截面积。

对于大的负载电流，应该在设计时就考虑到线压降对电流调整率的影响。同样，在印制板布线时，也应该考虑印制板上大电流通路上的电压降。一般计算方法是计算走线的截面积，即印制版铜箔厚度乘以走线宽度。建议在功率板制板时，采用 70mil 或 105mil 铜箔厚度的板材，走线尽可能宽，电流密度应尽可能小，建议不大于 5A/mm^2。当布线时没有足够的走线宽度时，应外加辅助跳线。

2、接触电阻

当电源输出端与负载连接时，连线两端的良好接触很重要。在负载电流大的情况下，良好的接触尤为重要。由于接触不良而引起的数 mΩ 至十多 mΩ 的接触电阻和太长或太细的不合适连接线一样，会引起回路压降过大和电流调整率变差。因此接触点必须清洗，去除氧化层，大电流接触点应焊接或缠绕。

3、输入保险丝

保险丝应安装在各模块的输入端，以防某一模块出现输入短路故障将输入母线短路。一般保险丝应选取 2～3 倍的额定输入电流。如果模块工作在一个比较宽的输入电压范围内，保险丝应该使用熔断时间小于 10ms 的快速保险丝。对不可维护的设备可采用自恢复保险丝，或采用比额定电流大 8～10 倍的保险丝。

4、输入瞬间过压保护

模块或系统前面可安装一只瞬态抑制二极管（TVS）或瞬态吸收器（金属-氧化物压敏电阻），用作输入瞬间过压吸收。输入电压低时用瞬态抑制二极管，高时用压敏电阻。

5、Y 电容器

为降低共模噪音，推荐安装 Y 电容。Y 电容将模块外壳及系统保护地相连接。此电

容的耐压是隔离电压的 2 倍以上。

6、输出电压微调范围

有 TRIM 端的电源模块，用户可以通过在 TRIM 端外接电阻器，使输出电压在额定值约±10%的范围内微调。电源模块的功率应限制在最大额定输出功率之内。如果输出电压高于其标称值，应降低输出电流，使之符合最大输出功率的限制。

7、遥测

遥测功能可使负载两端的稳压精度保持在技术规范要求的范围内。当电源模块与负载之间的距离较远，负载电流比较大，连接回路压降大的情况下，可由遥测（Sense）端直接检测负载两端的电压，来确保其稳压精度。图 1 为检测的接线图。遥测端的连接应用屏蔽的双绞线，另外在靠近模块的±S 和±V_{out}端之间可连接 0.1μF 左右的退耦电容，防止噪音干扰。与负载线相比，遥测端连线上的电流很小。请注意：遥测连线不能用来传输负载电流，否则会造成电源模块的损坏。

当负载两端的电压下降时，遥测检测的信号会使电源模块产生一个电压上升的响应，因而补偿了负载两端电压的下降。回路压降补偿的最大值是有一定范围的，如果回路压降超过这个范围，电流调整率仍会降低。

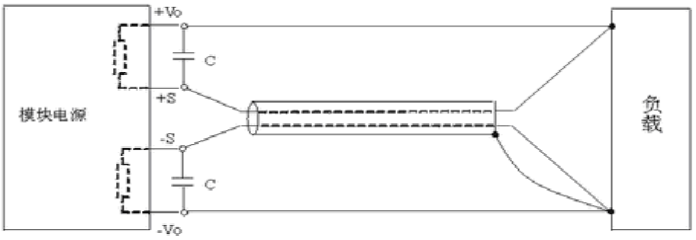

图1 遥测端的使用

如图 1 所示，在电源模块内，对应的电压输出端和遥测端之间已接入了电阻或二极管，可防止当遥测端开路时，输出电压过高。

当不用遥测功能时，应将各遥测端与相应的输出端直接短接，否则电源可能损坏。

8、开关控制

开关控制是指对模块输出电压的“ON”（允许）、“OFF”（禁止）操作。开关控制端一般叫做 CTL 端、CNT 端或 REM 端。模块的开关控制有两种标准的方式：

1)、正逻辑

CNL 端子与- V_{in}直接相连，输出 OFF；CNL 端子开路或接高电压（大于 5VDC，小于

40VDC)，输出 ON。

2)、 负逻辑

CNL 端子与- V_{in} 直接相连，输出 ON；CNL 端子开路，输出 OFF。

9、模拟电路和数字电路的供电

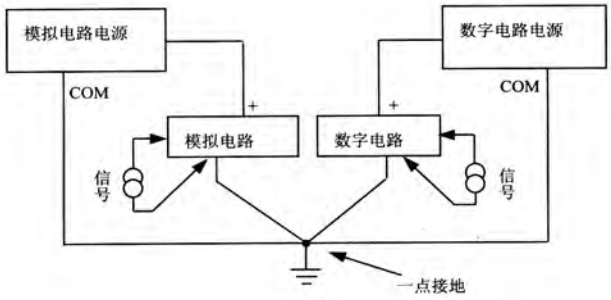

图2 模拟电路、数字电路和电源的正确连接

设计电路时应特别注意将模拟电路和数字电路分开，各自所对应的地线也要分开。不正确的接地会引起一些无法解释的问题。一种常犯的错误是让低电平的数字信号电路与模拟信号电路共用电源回路和地回路。正确的连接方式如图2 所示。请注意图中只采用了一个公共接地点，模拟信号和数字信号各自分开供电。许多电源具有分开的数字电源(5V)和摸拟电源(±12V/±15V)输出，便于设计。

为了避免一些直流电平的变化和逻辑瞬态过程干扰敏感的模拟电路，设计时应仔细地分析每个模拟地的连线，确保每个模拟地的连线直接与接地点相连，避免共用同一条接地连线。

10、旁路和去耦

所有的电源及输出线都会有一定的输出电阻和输出电感存在。因此在允许的情况下，必须在高速的模拟电路和数字电路的负载上直接并联电容，进行去耦。图3 所示的负载去耦电路可消除一些由于线路上的串联阻抗与分布电容所引起的谐振。另外还可减少由于负载电流的迅速变化，在串联的电感上所产生的电压尖峰。这种电压尖峰会损坏线路或造成误触发。

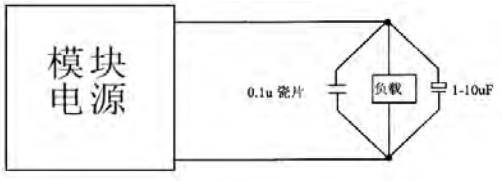

图3 负载去耦电路

图中使用了一个 0.1uF 的瓷片电容和 1 个 1～10uF 的电解电容作为旁路电容与负载并联。这样可以很有效的旁路中频和高频范围的干扰信号，从而防止多个负载之间的互相干扰。

当分别对模拟信号电路和数字信号电路旁路时，并不是简单地将电容与每个电源的输出相连接，而应遵循下列规则：旁路电容应该由最短的线直接连接在每一电源输出正端和地端或COM端，避免AC信号通过电源馈回。如图4所示。

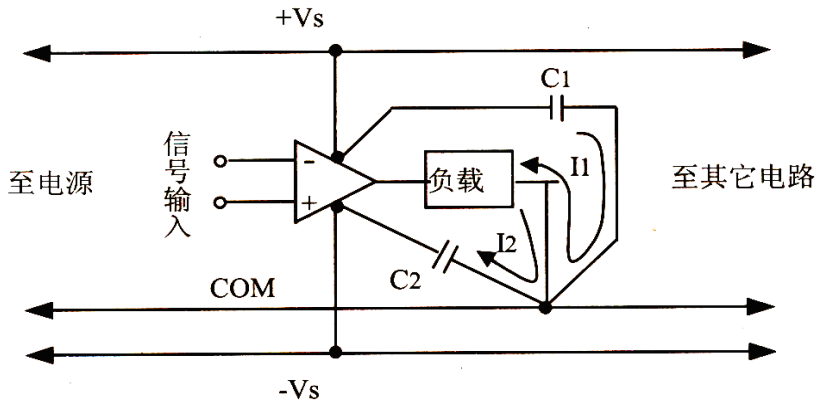

图4　最短的信号旁路路径

11、电源模块的串联和并联

1)、串联

一般来说，电源可串联工作，以获得较高的输出电压。但为了慎重起见，应就以下各点询问有关电源供应厂家。

A、有时某一电源的输出会影响到其它电源的反馈回路；

B、由于在一般情况下，电源的纹波不同步，因此串联后输出端会出现附加的纹波。

如图5 所示，串联工作模式通常是通过在电源输出端连接反向偏置的二极管来完成的。在负载短路的情况下，或在开机时，由于不同电源模块输出端的电压建立可能不同步，较慢的模块输出端将被加上反向电压。反向偏置连接的二极管提供了一个反向电流的通路，限制了加在各输出端上的反向电压，起到了保护作用。

反向偏置二极管应该选择正向导通压降低的二极管，如肖特基二极管，其反向耐压应大于对应的电源输出电压，导通电流额定值应大于串联负载电流。最大串联负载电流应小于串联模块中输出电流最小的模块的额定输出电流。

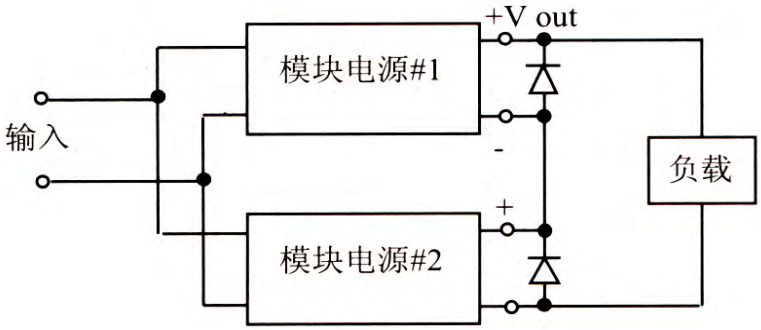

图5 带反压保护的电源串联方式

图6 为另一种常用的串联工作应用。为获得一个较高的电压输出，可将负输出电源的某一个电压输出端与系统地相连，COM 端悬浮。因此由±12V，±15V 和±18V 的双路输出的电源，分别可实现 24V，30V 和 36V 单路输出。

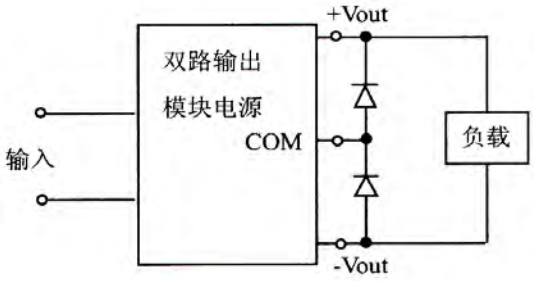

图 6

2)、并联

除非电源模块具有可并联运行功能或经电源供应厂家同意，一般电源模块不应该并联使用。

12、电源应用中的热设计

功率转换产品在工作时，由于内部功率消耗都将产生一些热量。在具体应用中有必要限制这种“自身发热”，使模块外壳温度不超过指定的最大值。下面介绍 DC/DC 转换器有关热设计方面的相关内容。

可用的功率密度的概念

绝大多数 DC/DC 转换器生产商都以产品的功率密度作为一个重要指标，衡量产品的有效性。功率密度通常由瓦/立方英寸（W/in^3）来表示。了解功率密度定义的条件是非常重要的。如果用户不能在规定的最大环境温度范围内使用或不能为 DC/DC 转换器提供规定的散热条件，转换器就有可能达不到产品参数中提出的最大输出功率。

1)、要求的输出功率：

要求的输出功率是应用需要的最大平均功率。在多路输出 DC/C 转换器中，就是各个独立输出的输出功率的总和。

2)、转换效率

转换效率是指输出功率与输入功率之比。

效率=$P_{输出}$ / $P_{输入}$

内部功率消耗可以从下式计算

$P_{内部}$= $P_{输入}$-$P_{输出}$

最具代表性的效率值是在额定输入电压和满负载输出功率下的值。由于负载的减少或输入电压的变化，效率会发生一些改变。

3)、热阻抗

热阻抗的定义是功率消耗产生的温升。热阻抗通常用℃ / W 表示。

外壳最高工作温度

所有 DC/DC 转换器都有外壳最高工作温度。该温度是指 DC/DC 转换器内部的元件工作时所能承受的最高温度传递到外壳的温度值，为保持转换器的可靠性，应工作在外壳最高工作温度以下。

4)、工作环境温度

指在 DC/DC 转换器工作时周围环境的温度范围。

5)、估算模块外壳温度

在应用环境中有许多因素都可能影响外壳工作温度。下面的说明可以指导如何估算热特性情况。在每一项应用中，温度的冷却和最高外壳工作温度都需要认真地核对、检查。

估算外壳工作温度的过程如下：

A、确定应用所需要的最大输出功率。

B、确定应用的最高工作环境温度。应该对应 DC/DC 转换器周围最高环境温度的规定值。

C、确定内部功率消耗。

$P_{内部}$=$P_{输出}$×(1-效率) / 效率

D、计算所估计的外壳工作温度。

$T_{外壳温度}=T_{环境}+P_{内部}\times R_{外壳-环境}$　　$R_{外壳-环境}=R_{外壳-散热片}+R_{散热片-环境}$

$T_{外壳}$=外壳温度　　$T_{环境}$=环境温度

$P_{内部}$=内部功率消耗　　$R_{外壳-环境}$=外壳到环境的热阻

$R_{外壳-散热片}$=外壳到散热片的热阻　　$R_{散热片-环境}$=散热片到环境的热阻

E、在实际应用中通过测量外壳温度验证热特性的估算值的偏差。

6)、关于外壳温度的测量

在实际使用中，应使用温度探头准确测量外壳金属部分的温度。

7)、降低外壳温度

在一定的工作环境温度和输出负载条件下，在正常的大气环境下（自然对流冷却），外壳到周围环境的热阻可能使外壳工作温度超过特定的最大值。如果确实如此就需要降低外壳到周围环境的热阻，从而降低外壳工作温度。

8)、常用散热措施

A、附加散热片

散热片的用途是增大散热面积，以便将 DC/DC 转换器产生的热量转移到空气中。这会降低热阻，但增加了 DC/DC 转换器的体积。当使用散热片时，将散热片在空气中垂直排列会产生最好的效果。如果散热片不是暴露在空气中，热量转移将受到一定的影响。

当给 DC/DC 转换器附加散热片时，应考虑散热片装配表面与 DC/DC 转换器外壳之间的热阻，计算方式如下：

$R_{外壳-环境}=R_{外壳-散热片}+R_{散热片-环境}$

因为 DC/DC 转换器外壳和散热片装配表面不是完全平整的，所以组装时在两个表面之间会产生空隙。这些空隙产生热阻 $R_{外壳-散热片}$。可使用热表面材料(导热硅脂等)将表面热阻减少到最小。使用这种热表面材料，$R_{外壳-环境}$值可达到 1℃/W 以下。

B、提供气流

气流对于改进散热片状况及减少热阻，是一种有效的方法。气流可迫使空气冷却，应用中可使用风扇或吹风机。气流可降低热阻，而不用加散热片，从而也不用增加 DC / DC 转换器的体积。在某些应用场合没有气流，但加装风扇也不是最佳选择。因为风扇会增加系统整体体积，影响系统的平均无故障工作时间(MTBF)，并产生噪声。

C、加散热片并提供气流

外加散热片并提供气流可以极大地减少热阻。当使用散热片时，最好使气流平行于

散热片表面流动。

13、电源的电磁干扰和电磁兼容

1)、电磁干扰及其抑制

电磁干扰(EMI)：指通过电磁辐射传播或信号线、电源线传导的电磁能量对环境所造成的污染。电磁干扰不能完全被消除，但能使之降低到安全的等级。

抑制电磁干扰一般有以下几条途径：

- 屏蔽电磁干扰辐射
- 合理接地
- 对电源线、信号线进行滤波，以减少电磁干扰的传导。

2)、电磁兼容(EMC)

电磁兼容是指电子设备和电源在一定的电磁干扰环境下正常可靠工作的能力，也是电子设备和电源限制自身产生电磁辐射和避免干扰周围其它电子设备的能力。

提高电磁兼容可从下三个方面着手：

- 减小电磁干扰源的辐射
- 屏蔽电磁干扰的传播途径
- 提高电子设备和电源的抗电磁干扰能力

3)、电磁干扰的分类

按照传播的方式，电磁干扰被分成下列两种类型：

A、传导型干扰：图7 是由系统产生，进入直流母线或信号线的噪音，其频率范围为10KHz-30MHz。传导型干扰既有共模噪音干扰，又有差模噪音干扰。LC 网络是常用抑制传导干扰的主要方式，在设备和电源的输入、输出加入 Y 电容对干扰信号进行抑制也是消除传导型干扰的重要手段。

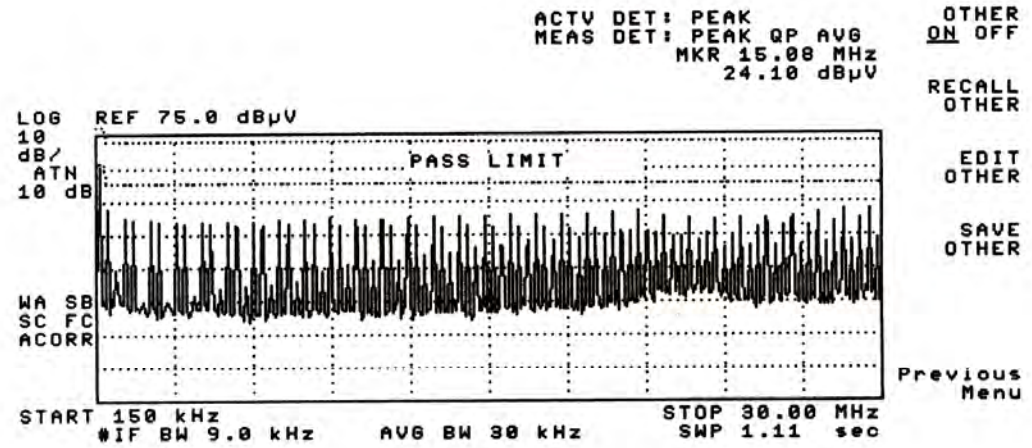

图7 不加Y电容模块输入传导干扰

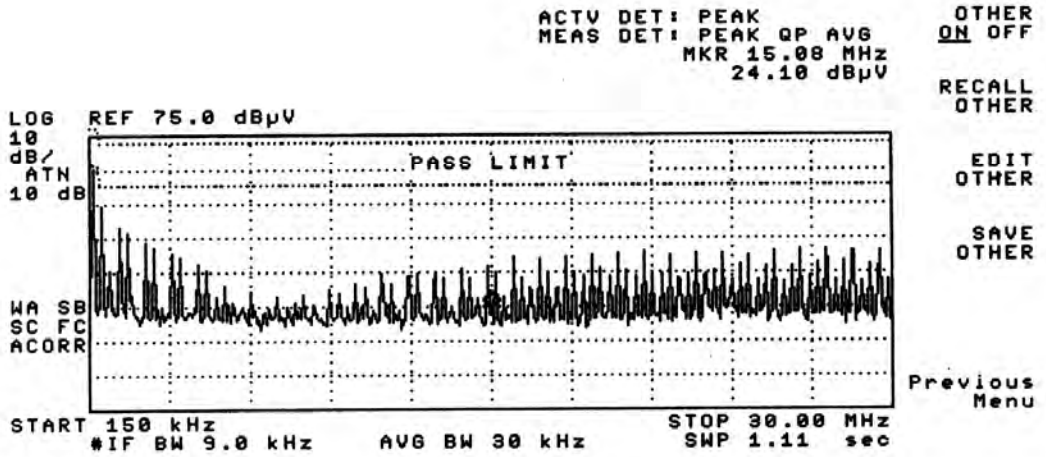

图8 模快加Y电容后输入传导干扰明显下降情况

由图8可见模块加 Y 电容后输入传导干扰明显下降

B、辐射型干扰：是以电磁波的方式直接传播，一个常见的例子是电源线起到发射天线的作用，其频率覆盖范围为 30MHz—1GHz。辐射型干扰可通过金属屏蔽的方式抑制。

三、电源参数测试

以下主要介绍一些对电源主要参数性能进行测试的方法。

测量是通过另外一对不同的接触端点和连线来进行的。这对端点上没有负载电流通过，否则会产生毫伏级的测量误差。图9 为通用的测试设置。

1、输出电压精度

如图9 在标称的输入电压和额定负载下，用高精度的直流电压表来测量输出电压。

测量值与标称值之间的差值以百分比来表示就是输出电压精度，其计算公式为：

$$\text{电压精度}=\frac{(U-Uo)\times 100\%}{Uo}$$

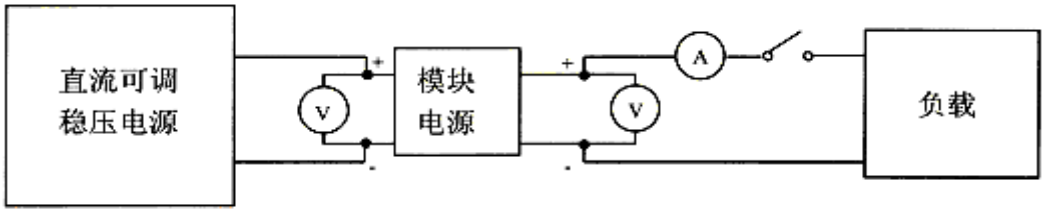

图9 标准的测试接线

2、电压调整率

随着输入电压的变化，输出电压会出现一定的变化。输出电压随着输入电压变化而变化百分比就是电压调整率。在 25℃及标称的额定负载下，测量：

※ 标称输入电压下的输出电压 U_0

※ 高输入电压下的输出电压 U_{02}

※ 低输入电压下的输出电压 U_{01}

取最大偏差电压，即取$|U_0-U_{01}|$和$|U_{02}-U_0|$中的最大值与标称输入电压下的输出电压 Uo 相比，以百分比来表示，就是电压调整率。

$$\text{电压调整率}=\frac{|U_0-U_{01\,(2)}|}{U_0}\times 100\%$$

3、负载调整率

随着电源负载的变化，输出电压也会出现一定的变化。输出电压随着负载变化而变化百分比就是负载调整率。在 25℃及标称的输入电压下，测量：

※ 额定负载下的输出电压 Uo

※ 空载或最小负载下的输出电压 U_{01}

两次测量值的差值即|U0-U01|与 Uo 相比，以百分比来表示，就是负载调整率。

$$\text{负载调整率}=\frac{|U_0-U_{01}|}{U_0}\times 100\%$$

4．温度系数

在标称输入电压和额定负载下，输出电压随环境温度的变化率称之为温度系数。一般来说，温度升高输出电压下降

$$\frac{|U_{0H}-U_0|}{U_0\times(T_{0H}-T_0)}\times 100\%$$ 高温下的温度系数

$$\frac{|U_{0D}-U_0|}{U_0\times(T_{0D}-T_0)}\times 100\%$$ 低温下的温度系数

把电源放在温度控制箱内，在标称输入电压和额定负载下，测量：

※ 25℃环境温度下的输出电压 U_0

※ 升到最高工作温度并稳定 15-30 分后，测量输出电压 U_{0H}

※ 降到最低工作温度并稳定 15-30 分后，测量输出电压 U_{0D}

※ T_{0H} 高温时的温度值，T_0 常温温度值，T_{0D} 高温时的温度值。

分别计算出高温下的温度系数和低温下的温度系数，取两者中较大的数值作为温度系数。

5、输出纹波和噪音

纹波和噪音是叠加在直流输出电压上的交流成分，对纹波和噪音的测量在额定负载和常温下进行。对于开关型的 DC / DC 变换器而言，输出纹波电压为一组系统的带有高频分量的小脉冲，因此通常测量峰—峰值，而不是有效值(RMS)。其测量值用毫伏峰—峰值(mVp-p)表示。例如当一个 DC / DC 变换器的纹波峰-峰值为 50mV 时，其 RMS 值很低，如图11 所示。但是否能用于某一系统，必须要进一步考虑才行。

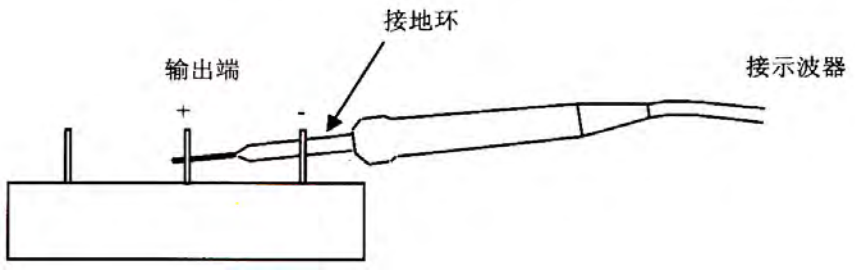

图 10 探头直接测量(靠测法)

因为所测量的纹波中含有的高频分量，必须使用特殊的测量技术，才能获得正确的测量结果。首先为了测出纹波尖峰中的所有高频谐波，一般要用 20MHz 以上带宽的示波

器。其次在进行纹波测量时，必须非常注意，改用带有接地环的探头，防止将错误信号引入测试设备中。测量时必须去掉探头地线夹，因为在一个高频辐射场中，地线夹会象一个天线一样接受噪音，干扰测量结果。采用图 14 所示的示波器探头和测量方法(靠测法)来消除附加干扰。

图 11 输出纹波波形

图 12 为一种使用 50Q 同轴电缆来测量输出纹波电压的方法。同轴电缆直接与示波器连结。为降低噪音，测量时应使用一个如图所示的铝或铜的接地板。测量值为实际值的 1 / 2。

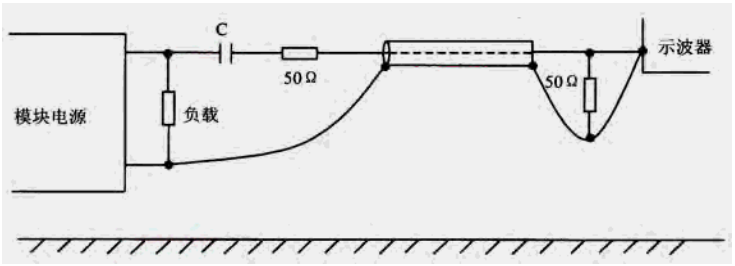

图 12 同轴线纹波测量法

图 13 为另一种采用双绞线的测量方法。

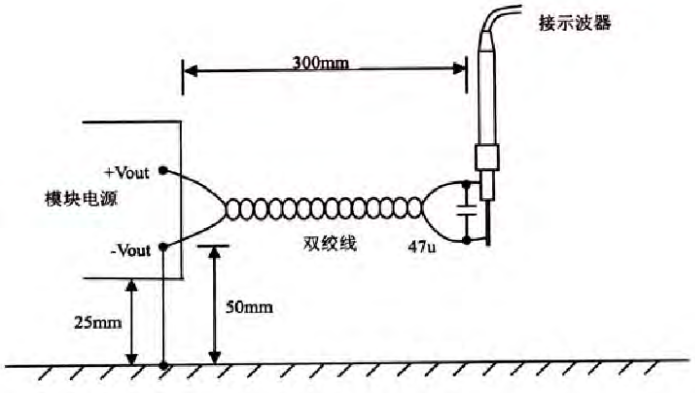

图 13 双绞线测量

电源放置在一个离接地板 25mm 之上的地方，接地板由铝或铜板构成。电源的输出公共端和 AC 输入地端直接与接地板连结，接地板的线直径大于 2 平方毫米，长度小于 50mm。

测量端一般用 16AWG 铜线做成 300mm 长的双绞线，一端接电源输出，另一端并联一只 47μF 的钽电容，再接到示波器上。电容的引线应尽可能短，注意极性不要接反。示波器探头的“地线”应尽可能接到地线环，示波器带宽不小于 20MHz，示波器本身交流应接地。

6、动态响应

当负载出现突变时，所有的电源都有一个相应的响应时间。在突变响应期间内，电源的输出电压会出现瞬间的过冲，然后回到正常输出状态如图 14。

动态响应是通过对过冲幅度的大小、响应时间的长短来测量的，是电源性能的一个重要指标。

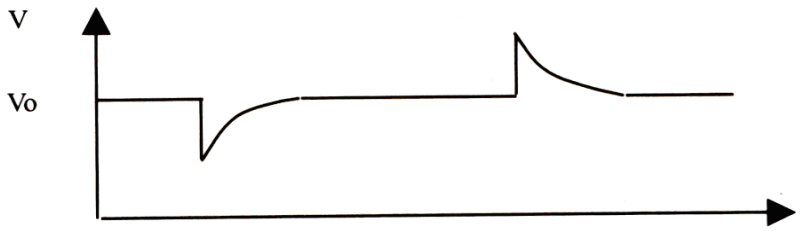

图 14　动态响应的波形

具体测量方法是用电子负载来进行电源负载的突变，即负载电流为额定值的 25%～50%～25%，50%～75%～50%阶跃变化，用示波器测量其输出电压的最大偏差和响应时间。

四、其他说明

1、本手册所给电源的外形和引线尺寸，除已标注公差外其余未注公差均满足：GB/T1804-f 级公差要求。

2、旧版手册和本手册不一致的地方以本手册为准。本手册所列参数仅作为选型参考，定货时请与本公司销售主管或技术主管沟通，对产品的型号、参数及试验条件等项目进行确认。