

模块电源应用指南

电源的可靠性对于整个系统的性能起着至关重要的作用。在开发一个系统时，如果最后才设计电源的话，往往会导致成本增加，可靠性下降。一开始就将电源集成在系统中来进行整体设计，就能节约开支和时间，提高产品的质量。设计和选择电源时应认真考虑配电方案、布局、接地回路等，以实现对负载端良好的供电，达到高电压调整精度、低噪音，同时避免系统中电路之间的干扰、振盪以及过热等问题的出现。

下面将对电源的特性、正确的选择和使用等进行阐述。

一. 系统中电源的设计和选择

1. 确定所用电源的规格：

- (1) 电源功率；
- (2) 电源输出电压，输出端数；
- (3) 电源尺寸。

2. 使用标准模块

设计系统时，请尽可能使用市场上通用的电源模块。这样可缩短设计和开发的时间，提高可靠性。

3. 尽量减少电源的输出端数

一般很容易买到现存的 3~4 输出端的电源，输出端更多的电源就难找到，另外价格也贵。

4. 冷却方法

设计系统时，必须认真考虑散热问题。如果使用自然冷却，应该确保顶部和底部有足够的通气孔，以形成冷却空气流。如果使用风扇冷却，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，至少应该有 25%以上 的风量用于冷却电源。无论使用哪种冷却方式，都必须通过测量电源的关键性发热元器件来验证冷却效率，而不能仅仅是测量环境温度。电源中的这些关键发热元器件通常包括开关器件，整流二极管，电解电容及其它发热元器件。

5. 布局

安排好电源的位置，尽可能地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降低电压调整精度，增加噪音。

6. 系统内的配电

DC/DC 变换器常用来给系统供电。除去+5 伏，系统内的各种电路板还需要±12 伏，±15 伏给运算放大器，A/D 或 D/A 变换器，显示器等供电。另外在用电池供电的情况下，用 DC/DC 变换器将电池在较大范围内变动的，不太稳定的电压变换为所需要的经调整过的各种电压。典型的电池电压一般为 12，24 或 48 伏。

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。如图 1 所示的是一个最简单的电源应用实例。一个带有 4 安负载的 5 伏输出电源，如果使用 0.54 米长的 18#AWG { 美国电线标准：American Wire Gauge } 铜导线来连接，连接回路的总电阻就应为 $19.2\text{m}\Omega$ ($9.6\text{m}\Omega \times 2$)。在 4A 的负载电流下，连线上就产生了 76.8mV 的降压，为输出电压 5V 的 1.5%。如果电源自身的负载调整率为 0.1%，那么由于连接导线的电阻，将使负载调整率下降为 1.6%。为减小连线电阻所造成的这种影响，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回路压降以及其对负载调整率的影响。同样，也应该考虑印制板上大电流通路上的电压降。

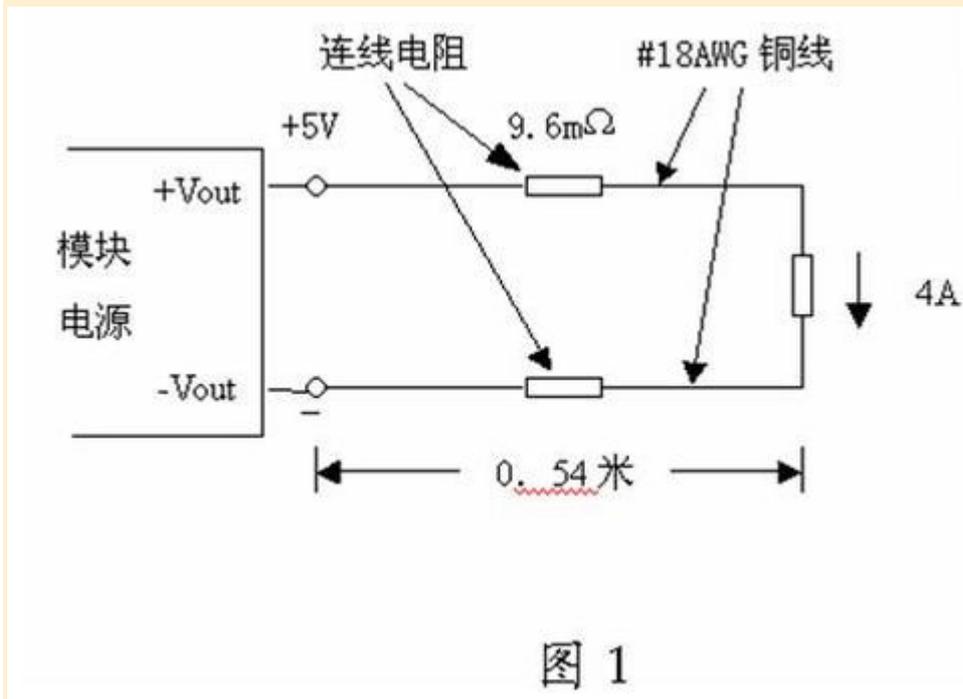


图 1

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，良好的接触尤其重要。由于接触不良而引起的数 $\text{m}\Omega$ 至十多 $\text{m}\Omega$ 的接触电阻和太长或太细的不合适连线一样，会引起回路压降过大和负载调整率变差。因此接触点必须清洗，去除氧化层，大电流接触点应焊结或缠绕。在合适的连线和接触良好的情况下，一个调整率为 0.1% 的 5V 输出，对应空载到满载，其电压变化为 5mV。而一个调整率为 0.02% 的 12V 输出，对应空载到满载，其电压变化为 2.4mV。以上这些基本的数量概念可供参考。

3. 保险丝要求

如图 2 所示，保险丝应安装在各并联模块的输入端，以防某一模块出现输入短路故障，将输入母线短路。在出故障模块的输入保险丝熔断所需时间内，其余模块的输入电压将出现很大的波动，为此可在输入端安装阻断二极管。在这段时间内，阻断二极管将仍在正常工作的模块与输入直流母线隔离。另外阻断二极管还可防止在输入线接错时，模块承受反向电压。一般保险丝规格可选取 1.5-2 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，保险丝应该使用小于 10mS 的快速保险丝。

4. 输入维持电容

在某一模块出现输入短路故障，或其它导致输入母线电压瞬间跌落的意外时，安装在模块输入端的维持电容，可在一定时间内给模块提供维持电压。另外还可吸收模块输入端的电压尖峰。为了满足维持时间的要求，一般应选用电解电容。对于 300V 输入，200W 输出的模块，最小的维持电容应为 30-50 μF ，而对于 48V 输入的模块必须使用上千 μF 的电容，在选择电容时，除考虑脉动电流和电压外，应选择等效串联电阻 (ESR) 小的电容。

以下为计算维持电容容量的近似公式：

$$C_{\text{维持}} = \frac{I_{\text{输入平均}} T}{V_{\text{输入母线}} - V_{\text{输入关断}}}$$
$$I_{\text{输入平均}} \approx \frac{1}{2} \left(\frac{P_o}{V_{\text{输入母线}} \eta} + \frac{P_o}{V_{\text{输入关断}} \eta} \right)$$

$C_{\text{维持}}$ = 所需维持电容量 (F)
 P_o = 输出功率 (W)
 $V_{\text{输入母线}}$ = 输入母线电压 (V)
 $V_{\text{输入关断}}$ = 对应该输入电压，模块关断。
 $I_{\text{输入平均}}$ = 输入平均电流 (A)
 T = 维持时间 (S)
 η = 模块变换效率

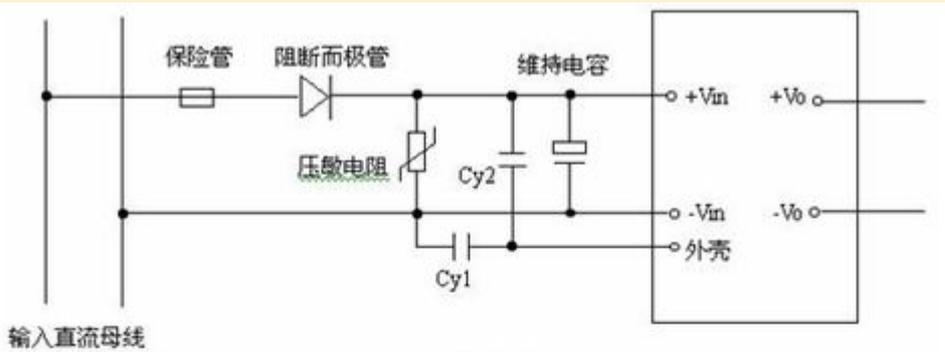


图 2 (a)

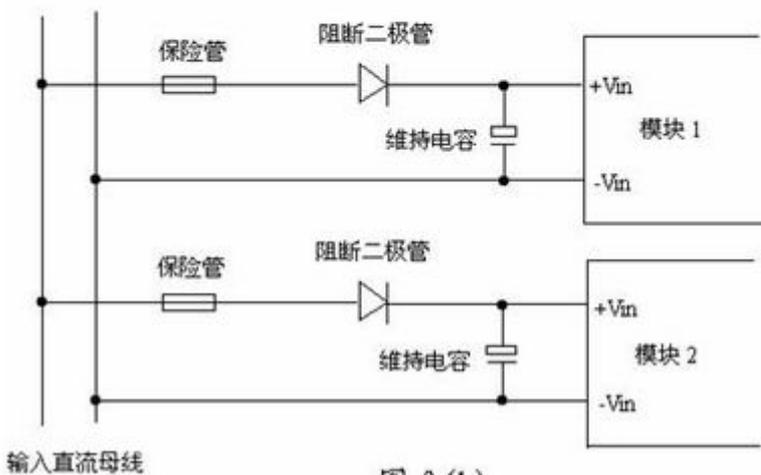


图 2 (b)

5. 输入瞬间过压保护

如图 2(a) 所示在电解电容前面可安装一只瞬态抑制二极管或瞬态吸收器（金属一氧化物压敏电阻），用作输入瞬间过压保护。输入电压低时用二极管，高时用压敏电阻。

6. Y 电阻器

为降低共模噪音，推荐安装 Y 电容。如图 2(a) 所示，Y 电容的中心与模块外壳及系统保护地相连接。

7. 输出电压微调 (Trim) 范围

用户可以通过在 TRM 端外接电阻器，使输出电压在额定值的约 $\pm 10\%$ 的范围内微调。外接电阻的数值一般在数十千欧至二百千欧间选则。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。

外接电阻的连接方法如图 3 所示。若只单方向调高(或调低)电压亦可只在 TRM 端对输出负(或输出正)一端加电阻。如果不用微调可将 TRM 端悬空。

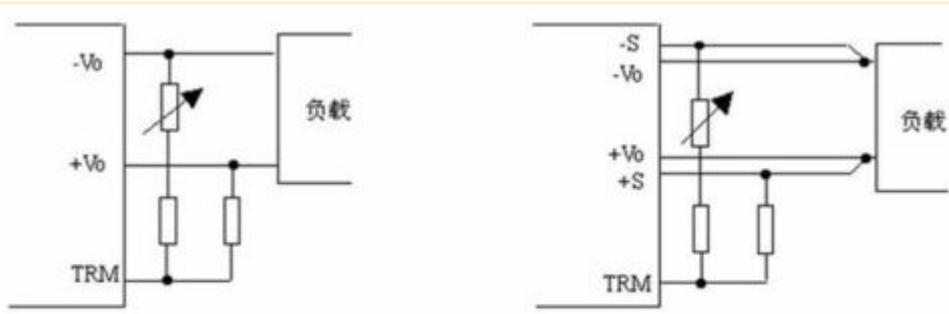


图 3: 输出电压微调外接电阻的连接方法

8. 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远，负载电流大，连接回路压降大的情况下，可由检测（Sense）端直接检测负载两端的电压，来确保其稳定精度。图 4 为检测的接线图。遥测端的连接应用屏蔽的双绞线，另外在紧靠模块的 $\pm S$ 和 $\pm Vo$ 端之间可连接 $0.1\mu F$ 左右的去耦电容，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，否则电源模块会被损坏。

当负载两端的电压下降时，遥测端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 1V，如果回路压降超过 1V，负载调整率将降低。

如图 4 所示在电流模块内，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，输出电压过高上升。

当不用遥测功能时，应将各遥测端与相应的输出端短结，否则电源将可能被损坏。

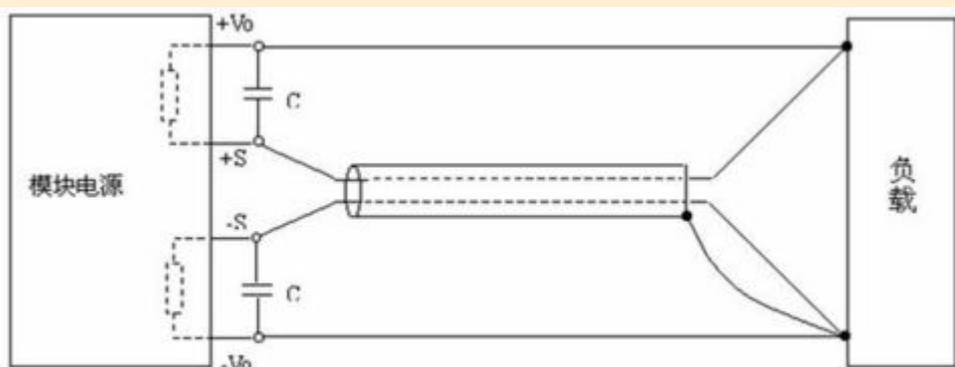
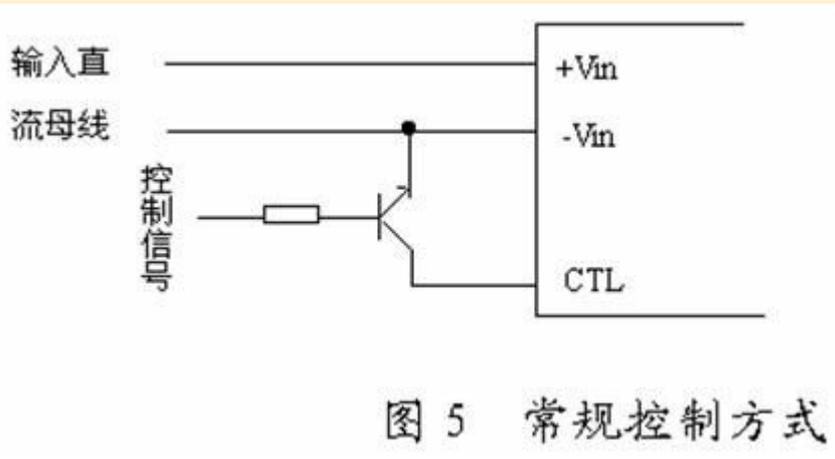


图 4: 遥测端的使用

9. 控制

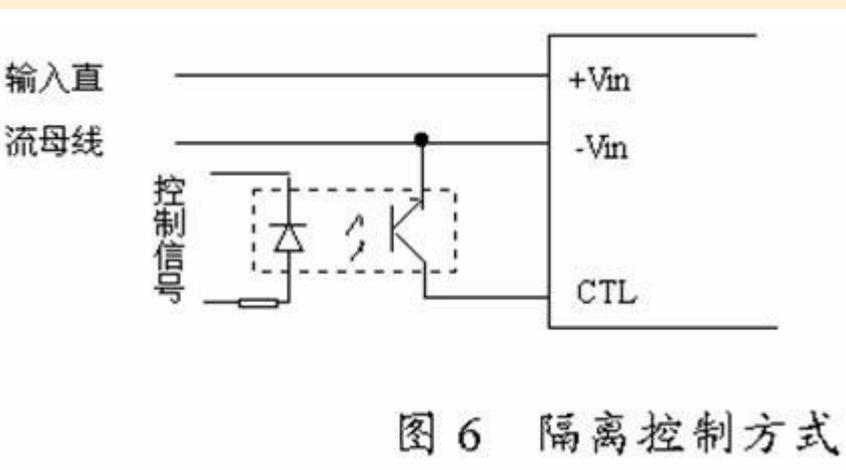
控制是指对模块输出电压的“ON”（允许）、“OFF”（禁止）操作。控制端一般叫做 CTL 端或 REM 端。模块的控制有两种标准的方式：



(1) CTL 端子与-VIN 直接相连，输出 OFF；CTL 端子开路或接高电平(大于 5VDC，小于 40VDC)，输出 ON 。

(2) CTL 端子与-VIN 直接相连，输出 ON ；CTL 端子开路，输出 OFF 。

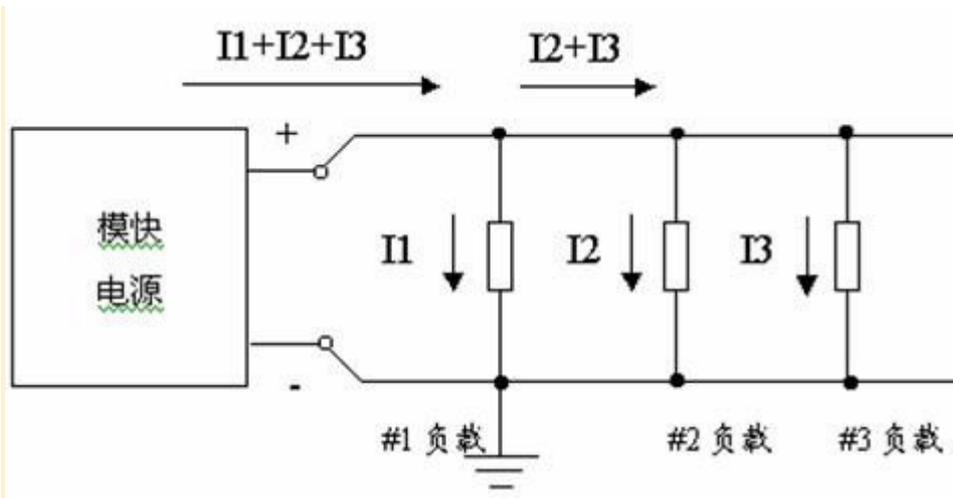
至于具体选用哪一种控制方式，可由用户自己决定。同时，我们推荐其中第一种常用的控制方式，如图 5 所示。在一些特殊的应用中，可能要用到隔离控制的方式。这里再推荐一种隔离控制的电路供参考，如图 6。



10. 功率分配

(1) 平行连接

只有合理地将不同负载与电源输出相联结，才能用好电源。如图 7 所示的平行连接是最常见的一种错误接法。从图中可看出，每个负载上的电压会随着其它负载的电流变化而被动，其中负载#3 上的电压为最低。另外因为负载不在同一公共点接地，所以出现了直流地回路，使电路易受干扰。



(2) 辐射连接

图 8 为一种较好的辐射连接法。电源的输出通过一对粗导线与正负配电端连接，然后各负载通过各自的连线与正、负配电端相连。因此负载相互之间的影响很小，也不存在直流地回路。

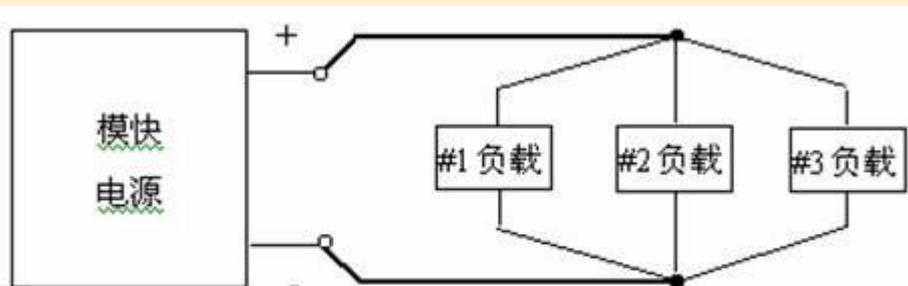


图 8: 辐射配电连接法

(3) 混合连接

实际上完全的辐射连接配电是不可能做到的。在实际应用时，尤其在负载电流较大的场合，应遵循的原则是采用一个接地点，以消除地回路。如图 8 所示的混合连接法，负载组 #1 的电流大，因此尽量安排靠近电源输出，用辐射法连接，而负载组 #2 的电流很小，在连线上的电压降的影响可忽略，因此可离电源远一些，用平行法连接。

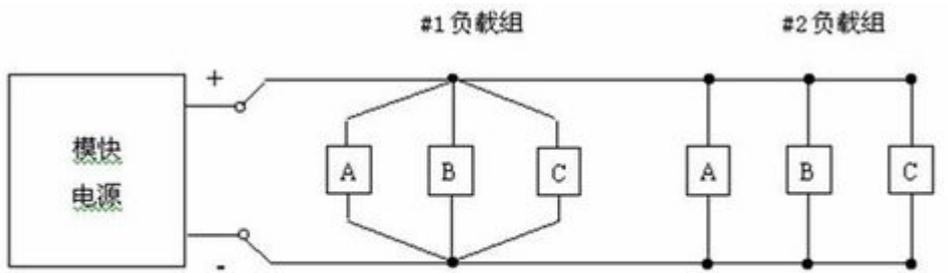


图 9: 辐射和平行配电混合连接法

11. 模拟电路和数字电路的供电

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 10 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信号（5V）和模拟信号（±12V）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。这也是印刷电路板布线时必须遵循的一条基本原则。

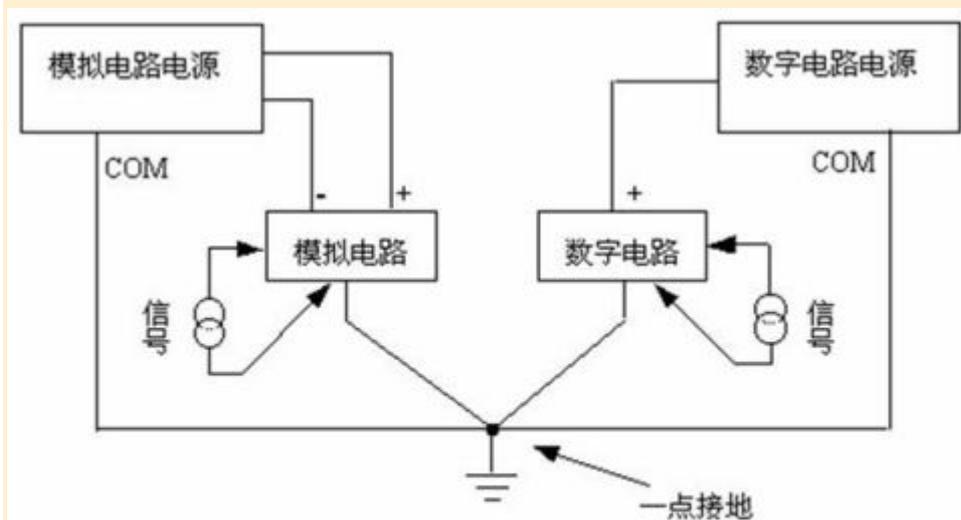


图 10: 模拟电路信号电路和电源正确连接

12. 旁路和去耦

所有的电源及其输出配电线都会有一定的输出电阻和输出电感存在，因此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 11 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产生的谐振。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。

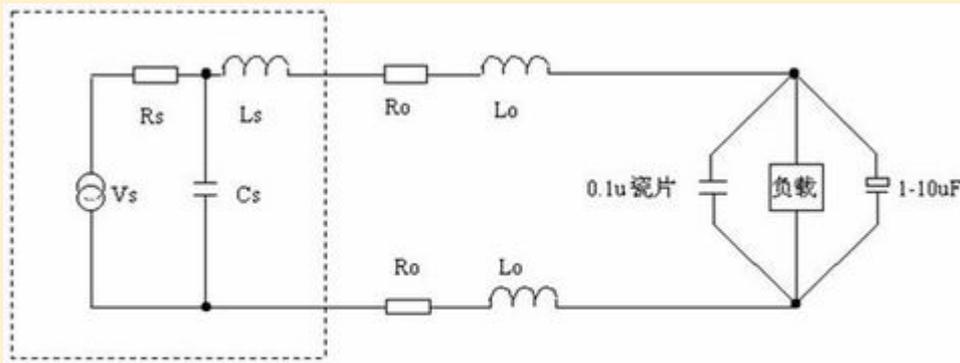


图 11: 负载去耦

图中使用了一个 $0.1\mu\text{F}$ 的瓷片电容和 1 个 $1\mu\text{F}$ 的电解电容作为旁路电容与负载并联。这样可获得对中频和高频范围的干扰信号很有效旁路作用，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，而应遵循下列的重要规则：旁路电容应该由最短的线直接连接在每一电源输出端和地端或 COM 端，避免 AC 信号通过电源馈回。如图 12 所示。

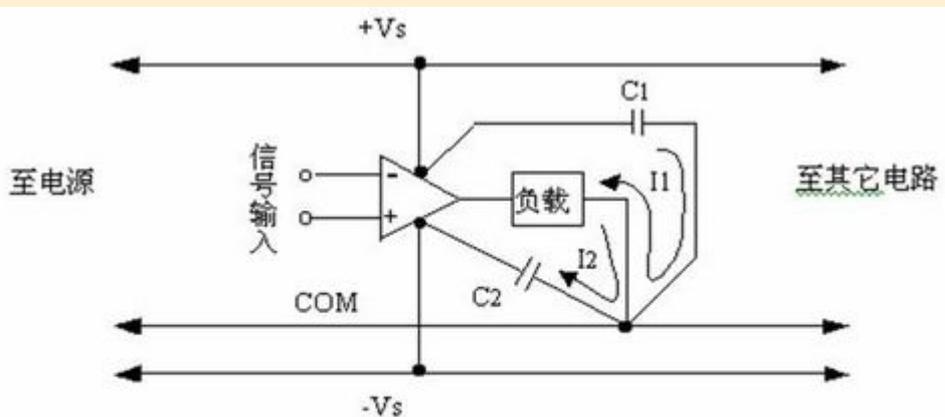


图 12: 最短的信号旁路路径

13. 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。

对串联工作的另外一个限制是：串联后总的输出电压应小于任何一个串联电源的工作击穿电压。这个击穿电压值要远远小于电介质测试电压值。

如图 13 所示，串联工作模式通常是通过在电源输出端联结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。反向偏置联结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。

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功率较小的模块的最大输出电流。

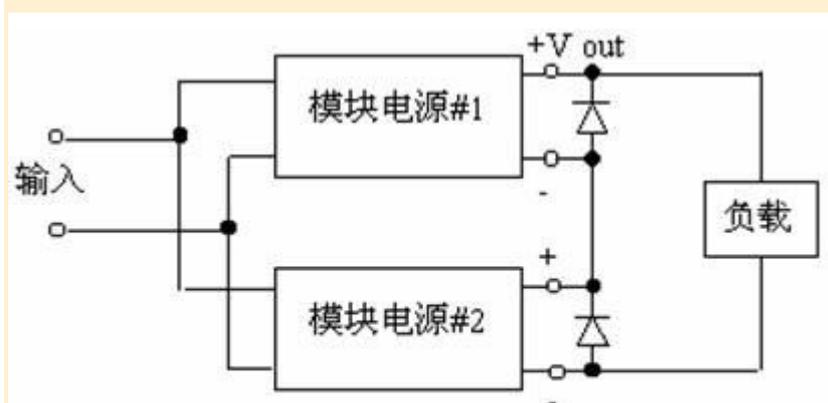


图 13: 带反压保护的电源串联方式

图 14 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，可将一个电源的两组输出电压串联起来，让 COM 悬浮，然后直接与负载连接。因此由 $\pm 12V$ ， $\pm 15V$ 和 $\pm 18V$ 的双路输出的电源，分别可实行 24V，30V 和 36V 单路输出。

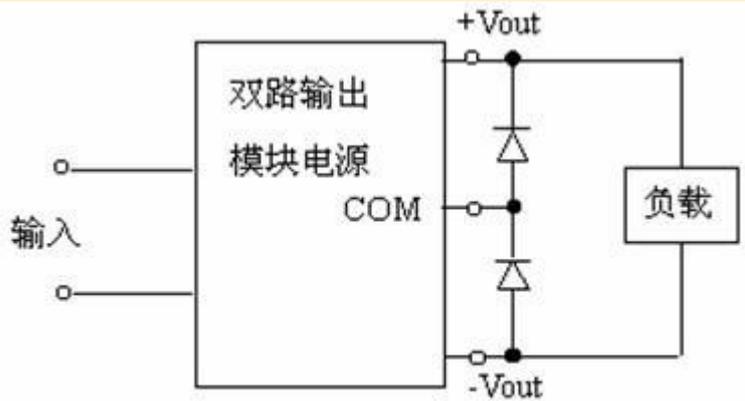


图 14: 双路输出的串联

(2) 并联

与串联相比，电源模块输出的并联很困难，因此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。首先因为两个电源的输出电压不可能完全相等，那么输出电压较高的电源将会提供全部负载电流。其次即使两个电源的输出电压调整为完全相等，由于两者不同的输出阻抗及其它们随时间和温度不同的变化，将会造成两个电源的负载电流不平衡。

图 15 为一种使用串联电阻来均衡输出负载电流的方法，但这种方法也很难获得好的效果。

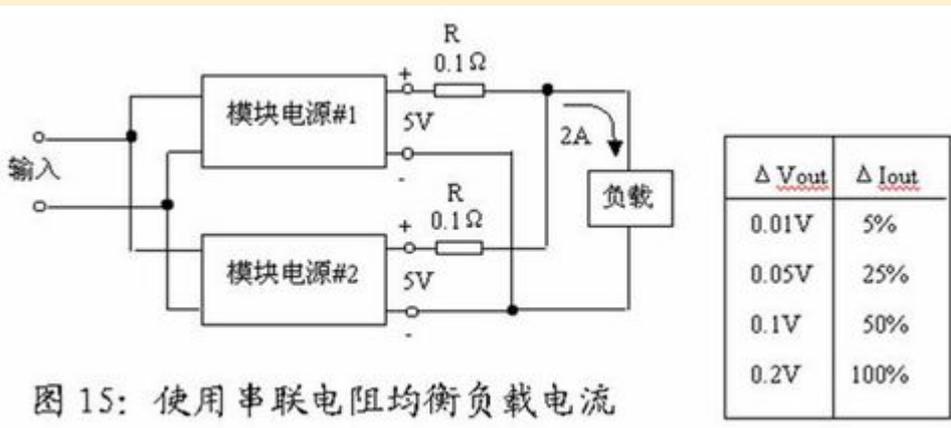


图 15: 使用串联电阻均衡负载电流

假定这两个串联电阻完全相等，那么两个电源输出电压之间很小的差别将不会造成很大的输出电流不均衡。图 15 中给出了输出电压标称值为 5V，总的负载电流为 2A 的情况下，两个电源之间的输出电压差所对应的电流不均衡。当电压差为 0.2V 时，输出电流的差别为 100% 这就意味着两个电源中输出电压高 0.2V 的那一个，将提供全部的负载电流。即使 0.05V 的差别也会导致 25% 的电流不均衡。

◆ 功率降额

◆ 电流限制

◆ 电流降额

一般来说，功率降额保护是用得最多，也最廉价的一种输出短路保护方式，具有这种保护功能的电源，一旦探测到了输出短路，电源的所有输出电压和电流就会立即降得很低。当短路消除后，电源恢复正常工作。

图 18 为 (a) 电流降额和 (b) 电流限制过载保护的 V-I 特性和负载线。图 18 中 A、B、C 分别对应着阻性负载、恒流负载和混合负载。当过载或过流出现时，电源降额保护将降低输入功率，从而使输出电流减小到远远小于额定电流。如图 (a) 所示，恒流负载线 B 存在着两个稳定点，因而电流降额后输出就会锁定在输出电压较低的点上。当过载或短路消除后，不能自动恢复正常工作，需要重置。而 (b) 中的不同类型负载的电流限制负载线都只有一个稳定点，所以当过载或短路故障消除后，电源能自动恢复到正常工作状态。但是这样在过载或短路时电源内部就会，产生较高的热量，因此在经常出现过载或短路的情况下，最好不要用这种电流限制性的保护电路，以免缩短电源的使用寿命。

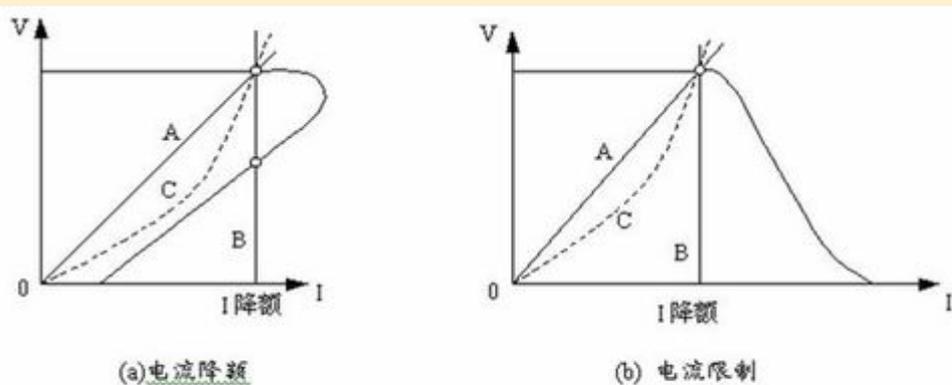


图 18: 输出过载保护特性

15. 散热考虑

所有的功率转换产品在运转时，由于内部功率消耗都将产生一些热量。在每一应用中都有必要限制这种“自身发热”，使模块外壳温度不超过指定的最大值。在下面介绍了 DC-DC 转换器外壳升温的大概过程。

1) 可用的功率密度

绝大多数 DC-DC 转换器生产商都以产品的功率密度作为水准，衡量产品的有效性。功率密度通常由瓦/立方英寸 (W/in³) 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的环境温度范围内使用 DC-DC 转换器 就有可能达不到参数中的最大输出功率。

DC-DC 转换器可用的平均输出功率就是可用的功率密度。在下面的应用中，可用的功率密度取决于下列因素：

(a) 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。在多输出 DC-DC 转换器 中，就是各个独立输出的输出功率的总和。

(b) 转换效率

转换效率是指输出功率与输入功率之比：效率= P_{out}/P_{in} 。

内部功率消耗可以从转换效率推导得出： $P_{internal}=P_{out}*(1-效率)/效率$ 。

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。

2) 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 $^{\circ}C/W$ 表示。

3) 外壳最高工作温度

所有 DC-DC 转换器都规定了外壳最高工作温度。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，为保持转换器的可靠性，应工作在最高温度以下。

4) 工作环境温度

指在 DC-DC 转换器工作时周围环境的最差的环境温度。

16. 计算机壳温度

在应用场合中有许多因素都有可能影响外壳工作温度。下面的过程可以指导你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经常认真地核对、检查。

估算外壳工作温度过程如下：

1) 确定应用所需要的最大输出功率。

2) 确定应用的最高工作环境温度。应该用 DC-DC 转换器周围最高环境温度。

3) 确定内部功率消耗： $P_{internal}=P_{out}*(1-效率)/效率$ 。

4) 计算所估计的外壳工作温度。

$$T_{oase} = T_{ambent} + P_{internal} * R_{ooa}$$

$$R_{ooa} = R_{oos} + R_{osa}$$

$$T_{oase} = \text{外壳温度}$$

$$T_{ambent} = \text{环境温度}$$

$$P_{internal} = \text{内部功率消耗}$$

$$R_{ooa} = \text{外壳到环境的热阻抗}$$

$$R_{oos} = \text{外壳到散热片的热阻抗}$$

$$R_{osa} = \text{散热片到环境的热阻抗}$$

5) 在应用中通过测量外壳温度检验热特性。

17. 降低外壳温度

在一定的工作环境温度 and 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抗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抗，从而降低外壳工作温度。

下面的技术可以用来减少热阻抗 R_{ooa} ：

1) 附加散热片

散热片的用途是增大散热片面积，以便将 DC-DC 转换器产生的热量转移到空气中。这会导致比较小的热阻抗，但会增加 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 转换器添加散热片时，应考虑散热片装配表面与 DC-DC 转换器外壳之间的热阻抗，计算方式如下： $R_{ooa} = R_{oos} + R_{osa}$ 。

因为 DC-DC 转换器外壳和散热片装配表面不是完全平坦的，所以组装时在两个表面之间会产生空隙。这些空隙产生热阻抗 R_{oos} 。可使用热表面材料将表面热阻抗减少到最小。使用这种热表面材料， R_{oos} 值可以达到 $1^\circ\text{C}/\text{W}$ 以下。

2) 提供气流

只有气流对于改进散热片状况并减少热阻抗，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。气流可降低热阻抗，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），并产生可以听到的噪音。

气流定义通常采用线性英尺每分钟（LFPM）或立方英尺每分钟（CMF）来表示：
 $CMF=LFPM*area$

3) 增加散热片并提供气流

带有气流的散热片可以极大地减少热阻抗。当使用散热片时，最好使气流平行于散热片表面流动。对于一个长方形的 DC-DC 转换器，气流顺着转换器的长边吹，而散热片平行于其转换器的短边，这样散热效果最好。

18. 可靠性和失效间平均时间（MTBF）

图 19 为某一电源的失效率曲线，其澡盆形状与绝大多数的电子器件和设备的失效曲线相同。A 段曲线代表电源在使用初期的失效。在这个阶段失效率比较高。可以通过严格监测，仔细分析退回给厂家电源的故障来进行控制，另外应该采用严格的老化工序。B 段线代表了电源的有效寿命，这个阶段所对应的失效率较低。C 段曲线代表了电源在已损耗期的失效率，这个阶段所对应的失效率也比较高。

在电源的有效寿命期间内，其可靠性是由故障之间的平均时间（MTBF）来衡量的。有两种不同的方法来确定 MTBF。一种是通过某一型号电源实际工作时间的统计值。另一种是通过类似 MIL-HDBK-217 的标准来计算。

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} \quad (1)$$

可靠性由方程式 (2) 所定义：

$$R(t) = e^{-\lambda t} = e^{-\frac{t}{MTBF}} \quad (2)$$

可靠性给出了某一个电源在运行了某一额定的时间后，仍然可正常工作的几率。由方程式 (2) 可得出：

◆ $R(t)$ 为数值在 0 和 1 之间的几率

◆ 一个电源在运行了相当于 MTBF 的时间后，仍可正常工作的几率为 0.37。

◆ 一个电源在运行了相当于 10% 的 MTBF 后，仍可正常工作的几率为 0.90。图 19 为可靠性 $R(t)$ 与时间的关系曲线、

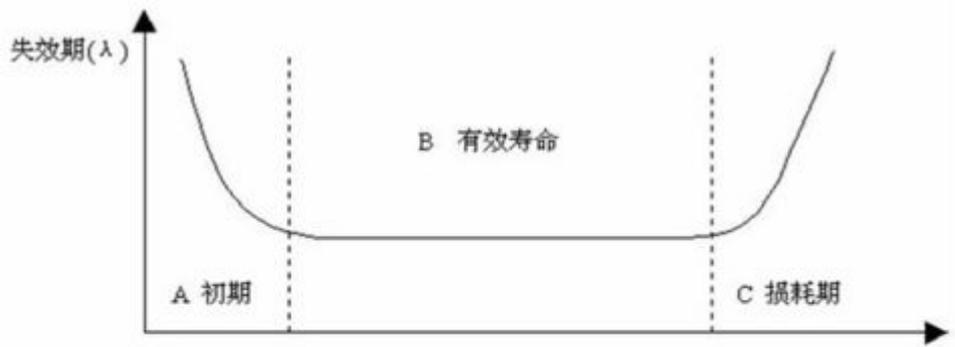


图 19: 可靠性与时间的关系曲线

计算MTBF

$$\lambda = \lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n \quad (3)$$

$$MTBF \text{ (小时)} = \frac{10^6}{\lambda} \quad (4)$$

按照 MIL-HDBK-217 来计算 MTBF，是通过对每一个元器件在其工作温度下的失效率的求和来得到的。基于每一元器件在工作时所承受的应力等级，可推算出该元器件在百万小时工作期间的失效率 λ_n ：

通过上述公式，可计算出工作环境温度为 25℃时的 MTBF，也可计算出其它不同工作环境温度下的 MTBF。

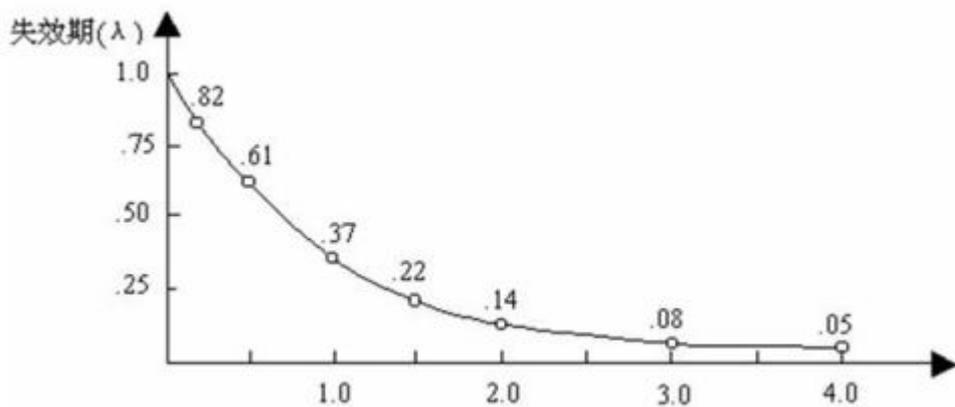


图 20: MTBT 计算值与环境温度的关系曲线

图 20 为某一电源的 MTBF 计算值与环境温度的关系。电源在 50℃下可工作 5.1 年，而在 75℃下只能工作 1.86 年（一年为 8766 个小时）。当然图中的曲线并不一定适用其它电源，但曲线给出的结论却具有普遍意义。

19. 电磁干扰和电磁兼容

1) 电磁干扰 (EMI)

电磁干扰是指通过空间的电磁辐射传播和通过信号线、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下列三条途径：

- ◆ 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，同时也是电子设备和电源限制自身产生电磁干扰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列三个方面着手：

- ◆ 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

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

传导型干扰是由系统产生进入直流输入线或信号线的噪音。其频率范围为 10KHz-30MHz。传导型干扰既有共模方式的，又有差模方式的。LC 网络常用来抑制传导干扰的主要方式。

b. 辐射型干扰

辐射型干扰以电磁波的方式直接传播，一个常见起到了发射天线的的作用。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、电源的测试

以下主要介绍一些对电源进行性能测试的方法。

测试采用标准的开尔文四端测试法。图 21 为电源输出电压的开尔文四端测量。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 21 为通用的测试设置。

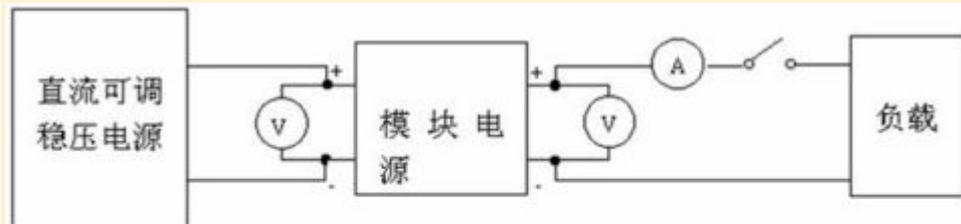


图 21: 标准的测试接线

1. 输出电压精度

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试输出电压。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：

$$\text{电压精度} = \frac{(U - U_0)100\%}{U_0}$$

其中 U_0 为标称值， U 为测量值。

2. 电压调整率

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的百分比就是电压调整率。在 25℃ 及标称的输入电压和额定负载下，测量：

- ◆ 标称输入电压下的输出电压 U_{n0}
- ◆ 高输入电压下的输出电压 U_{h0}
- ◆ 低输入电压下的输出电压 U_{l0}

取最大偏差电压，即取 $|U_{h0} - U_{n0}|$ 和 $|U_{l0} - U_{n0}|$ 中的最大值与标称输出电压下的输入电压 U_{n0} 相比，以百分比来表示，就是电压调整率。

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的百分比就是负载调整率。

在 25°C 及标称的输入电压下测量：

- ◆ 额定负载下的输出电压 U_{n0}
- ◆ 空载或最小负载下的输出电压 U_{m10}

两次测量值的差值即 $|U_{n0}-U_{m10}|$ 与 U_{n0} 相比，以百分比来表示，就是负载调整率。

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。

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°C 环境温度下的输出电压 U_{n0}

- ◆ 升到最高工作温度并稳定 15~30 分后，测量输出电压 U_{ht0}
- ◆ 降到最低工作温度并稳定 15~30 分后，测量输出电压 U_{lt0}

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

$$\left[\frac{|U_{ht0} - U_{n0}|}{U_{n0}(T_h - 25)} \right] \qquad \left[\frac{|U_{lt0} - U_{n0}|}{U_{n0}(25 - T_l)} \right]$$

高温下的温度系数 — — — — — 低温下的温度系数

5. 输出纹波和噪音

纹波和杂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，输出纹波电压为一系统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，仅为 5mV，但是否能用于某一系统，必须要进一步考虑才行。

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 带宽的示波器。

其次在进行纹波测量时，必须非常注意，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。

也可使用带有接地环的探头，采用图 22 所示的测量方法来消除干扰。

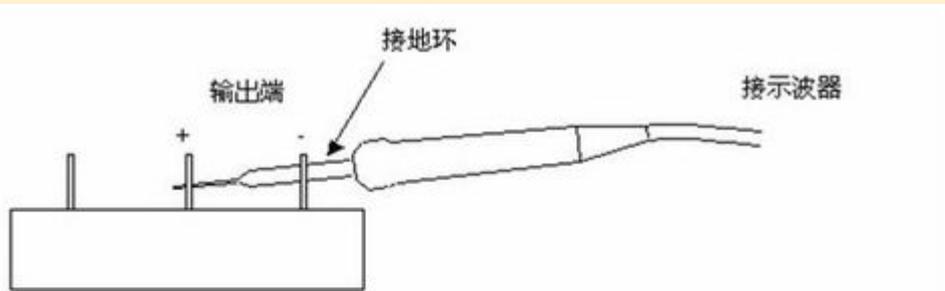


图 22: 探头直接测量

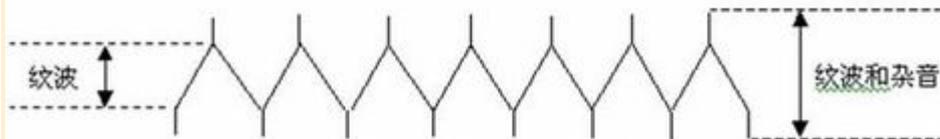


图 23: 输出纹波波形

图 24 为一种使用 $50\ \Omega$ 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接。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 $1/2$ 。

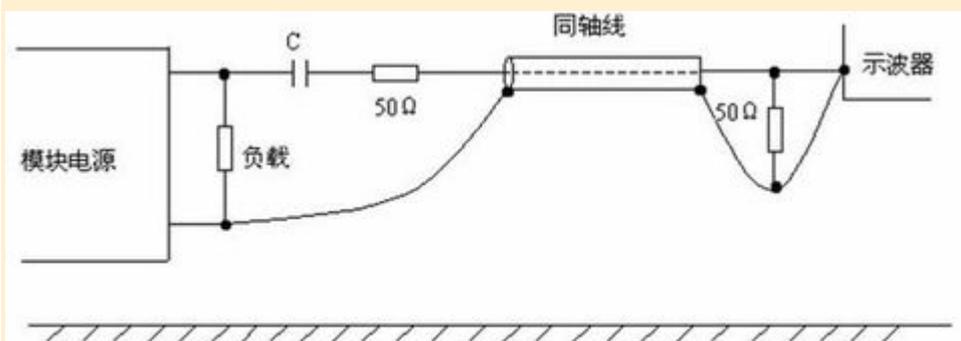


图 24: 同轴线纹波测量法

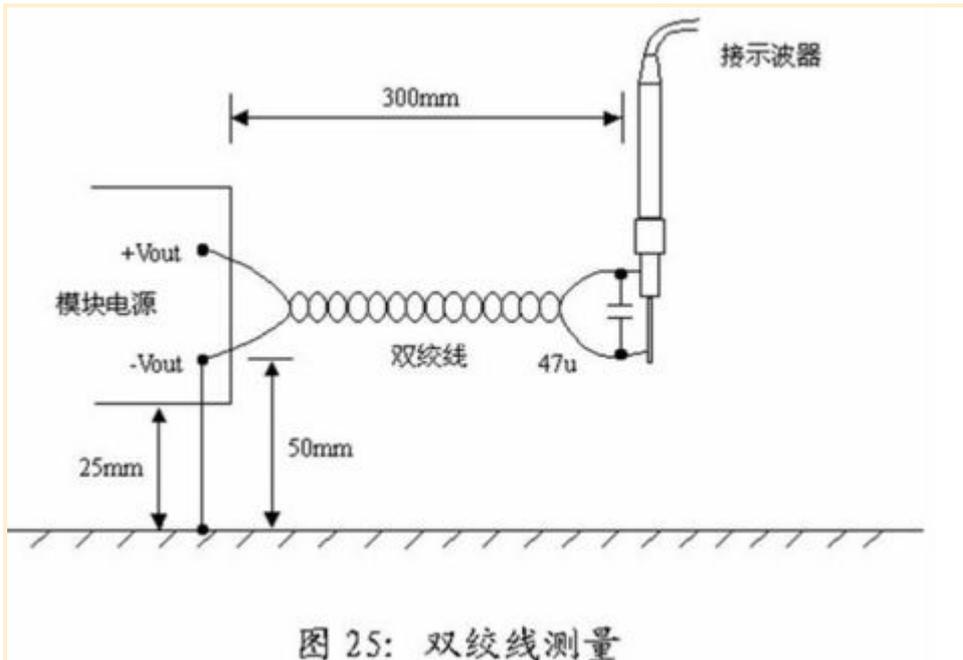


图 25 为另一种采用双绞线的测量方法。

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，接地板应该很粗，而且不长于 50mm。

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 $47\ \mu\text{F}$ 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 50MHz，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。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。

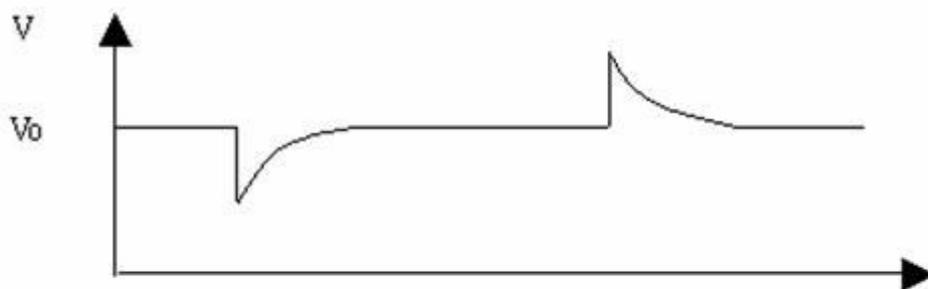


图 26: 动态响应的波形

具体测量的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