

医用开关电源的电磁兼容性设计

有源医疗器械使用极为普遍，如各类监护设备、磁共振、心电图机、输液泵和电动手术床等，它们都离不开“电源”。随着电子技术的快速发展，医疗设备中越来越多地采用开关电源。不仅大大地缩小了产品的体积，减轻重量，并极大地降低了能耗，提高了工作效率。合格的医用电源不仅应符合 GB9706.1-2007 和 YY0505-2006 标准的要求，还应满足 GB/T17626.2-1998（静电防护能力，要求达到 3 kV）、GB/T17626.3-1998（射频辐射防护，要求达到 3 V/m）、GB/T17626.4-1998（电压瞬变承受能力，要求达到 1 kV）、GB/T17626.5-1998（网电涌流承受能力，要求达到 1 kV 和 2 kV）、GB/T17625.1-2003（网电线路谐波要求）、GB/T17625.2-1994（电力线闪变要求），以及 EN55011 等系列电磁兼容标准要求。

目前，医疗器械生产企业大多采用成品开关电源，而大部分供方企业又不能提供符合以上系列标准要求的医用“开关电源”，因此有必要简单介绍一下医用“开关电源”的 EMC 设计。

1 正确选用模拟与逻辑有源器件

电磁干扰发射和电磁敏感度的关键是模拟与逻辑有源器件的选用。

有源器件可分为调谐器件和基本频带器件。调谐器件起带通元件作用，其频率特性包括中心频率、带宽、选择性和带外乱真响应；基本频带器件起低通元件作用，其频率特性包括截止频率、通带特性、带外抑制特性和乱真响应，此外它们还有输入阻抗特性和输入端的平衡不平衡特性等。必须注意有源器件固有的敏感特性和电磁发射特性。有源器件有两种电磁发射源：传导干扰通过电源线、接地线和互连线进行传输，并随频率增加而增加；辐射干扰通过器件本身或通过互连线进行辐射，并随频率的平方而增加。瞬态地电流是传导干扰和辐射干扰的初始源，减少瞬态地电流必须减小接地阻抗和使用去耦电容。

模拟器件的敏感度特性取决于灵敏度和带宽，而灵敏度以器件的固有噪声为基础。逻辑器件的敏感度特性取决于直流噪声容限和噪声抗扰度。逻辑器件的翻转时间越短，所占频谱越宽，为此应当在保证实现功能的前提下，尽可能增加信号的上升 / 下降时间。

2 PCB 板的设计

实践证明，即使电路原理图设计正确，印制电路板设计不当，也会对电子设备的可靠性产生不利影响。例如印制板两条细平行线靠得太近，会形成信号波形的延迟，在传输线的终端形成反射噪声；另外，由于电源、地线的考

虑不周而引起的干扰,会使产品的性能下降。因此,在设计开关电源的 PCB 板设计时,应注意采用正确的方法。

每一个开关电源都有四个电流回路:电源开关交流回路、输出整流交流回路、输入信号源电流回路和输出负载电流回路。

电源开关交流回路和整流器的交流回路包含高幅梯形电流,这些电流中谐波成分很高,其频率远大于开关基频,峰值幅度可高达持续输入/输出直流电流幅度的 5 倍,过渡时间通常约为 50 ns。这两个回路最容易产生电磁干扰,因此必须在电源中其它印制线布线之前先布好这些交流回路。每个回路的三种主要的元件滤波电容、电源开关或整流器、电感或变压器应彼此相邻地进行放置,调整元件位置使它们之间的电流路径尽可能短。

输入回路通过一个近似直流的电流对输入电容充电,输入滤波电容起到一个宽带储能作用—逻辑“地”。输出滤波电容用来储存来自输出整流器的高频能量,同时消除输出负载回路的直流能量。所以,输入和输出滤波电容的接线端十分重要,输入及输出电流回路应分别只从滤波电容的接线端连接到电源。若无法与电容的接线端直接相连,交流能量将由输入或输出滤波电容辐射到环境中。

建立开关电源 PCB 板布局的最好设计流程是:放置变压器、设计开关电源电流回路、设计输出整流器电流回路、连线到交流电源电路的控制电路。

3 印制线的布局

开关电源中包含有高频信号,PCB 板上任何印制线都可以起到天线的作用。印制线的长度和宽度会影响其阻抗和感抗,从而影响频率响应,即使是通过直流信号的印制线也会从邻近的印制线耦合到射频信号并引起电路的问题(甚至再次辐射出干扰信号)。因此,应将所有通过交流电的印制线设计得尽可能短而宽,将所有连接到印制线和连接到其他电源线的元器件近距离放置。布线时,还应将电源线、地线的走向与电流的方向一致,这样有助于增强抗噪声的能力。

4 地线的设计

4.1 选择单点接地

考虑到电路各部分回流到地的电流具有差异性,地电位的变化引入干扰,接地电路形成的环流又对干扰影响较大,因而需采用单点接地法,使电源工作稳定,减少自激。单点接地,即是将电源开关电流回路的几个元器件地线都连到接地脚上,输出整流器电流回路的几个器件的地线也接到相应的滤波电容的接地脚上。设计中,同一级电路的接地点应尽量靠近,且本级电路的电源滤波电容也应接在该级接地点上。

4.2 加粗接地线

接地电位则随电流的变化而变化,若接地线过细,会导致电子设备的定时信号电平不稳,抗噪声性能变坏。因此,每一个大电流的接地端都应尽量采用短而宽的印制线。地线、电源线和信号线的粗细关系为:地线>电源线>信号线。若有可能,接地线的宽度应大于 3 mm。

有时,也可采用大面积铜层或将印制板上未使用的部分与地相连接作为地线。开关电源“DC-DC 转换”的输入与输出电路应有共同的参考地,可将两边地线分别铺铜后,再连接在一起,形成共同的地。

5 共模干扰的产生和防止

开关电源中的功率开关管和输出二极管通常有较大的功率损耗,为了散热往往需要安装散热片或直接安装在 PCB 板上。器件安装时需要导热性能好的绝缘片进行绝缘,这就使器件与 PCB 板和散热器之间产生了分布电容。开关电源的底板如果是交流电源的地线,通过器件与底板之间的分布电容会将电磁干扰耦合到交流输入端,产生共模干扰。解决这个问题的办法是采用两层绝缘片之间夹一层屏蔽片,并把屏蔽片接到直流地上,这样就割断了射频干扰向输入电网传播的途径。

6 开关电源屏蔽罩的采用

为了抑制开关电源产生的辐射,消除电磁干扰对其他电子设备的影响,可完全按照对磁场屏蔽的方法来加工屏蔽罩,然后将整个屏蔽罩与医疗器械产品的机壳、地连为一体,就能对电磁场进行有效的屏蔽。电源某些部分与大地相连可以起到抑制干扰的作用,例如,静电屏蔽层接地可以抑制变化电场的干扰;电磁屏蔽用的导体原则上可以不接地,但不接地的屏蔽导体会增强静电耦合而产生所谓“负静电屏蔽”效应,所以仍以接地为好,这样既电磁屏蔽又能同时发挥静电屏蔽的作用。电路的公共参考点与大地相连,可为信号回路提供稳定的参考电位。因此,系统中的安全保护地线、屏蔽接地线和公共参考地线各自形成接地母线后,最终都与大地相连。

7 电磁屏蔽材料的选择

选择具有较高导电、导磁特性的材料作为屏蔽材料,也是一种减少电磁干扰的方法。

7.1 电磁密封衬垫

电磁密封衬垫的特性

1) 电磁密封衬垫是一种弹性好、导电性高的材料，将这种材料填充在缝隙处，能保持导电连续性，是解决缝隙电磁泄漏的好方法。在选用电磁密封衬垫时，需要熟悉以下特性参数：

① 转移阻抗 转移阻抗越低，则两侧屏蔽板之间的电磁泄漏越小，加衬垫后该缝隙的屏蔽效能越高；

② 硬度 衬垫的硬度应当适中。硬度太低，易造成接触不良，屏蔽效能较低；硬度太高，需要较大的压力，给结构设计造成困难；③ 压缩永久形变 压缩永久形变越小越好；④ 衬垫厚度 衬垫的厚度应能满足接触面不平整度的要求，利用其弹性将缝隙填充满，达到导电连续性的目的。

2) 常见的电磁密封衬垫类型

① 金属丝网衬垫 只适用于 1 GHz 以下的频率范围。用金属丝编织成的弹性网套，为纯金属接触，接触电阻低；但金属丝在高频时会呈现较大感抗，使屏蔽效能降低。② 橡胶芯编织网套：将金属丝编织的网套套在发泡橡胶芯或硅橡胶芯上，具有很好的弹性和导电性。③ 导电橡胶衬垫 在硅橡胶内填充金属颗粒或金属丝，构成导电的弹性物质。由于导电橡胶中的导电颗粒之间的容抗在高频时会降低，因此，填充金属颗粒在高频时屏蔽效能较高。如果填充方向一致的金属丝，还可以做到纯金属接触，但由于金属丝在高频时呈现较大感抗，使屏蔽效能降低，所以填充金属丝时只适用于低频。④ 镀青铜指形簧片 镀青铜具有良好的导电性和弹性，可制成各种指形簧片。⑤ 螺旋管衬垫：用镀锡被铜或不锈钢做成的螺旋管，具有良好的弹性和导电性，是目前屏蔽效能最高的衬垫。

7.2 导电化合物

导电化合物包括各种导电胶和导电填充物。环氧导电胶可用于金属之间、金属与非金属之间，各种硬性表面之间的导电粘接；可代替焊锡，完成微波器件引线连接；可修复印制板线路，用于导电陶瓷、天线元件、玻璃除霜、导电 / 导热和微波等波导部件的粘接。

硅脂导电胶用于将弹性的导电橡胶粘接固定在金属表面上。导电填充物是一种高导电浆糊状材料，用于无法加装屏蔽衬垫的缝隙处，固化后仍能保持弹性。

7.3 铁氧体电磁干扰抑制元件

铁氧体是一种立方晶格结构的亚铁磁性材料，它的制造工艺和机械性能与陶瓷相似，颜色为灰黑色。不同的铁氧体电磁干扰抑制元件具有不同的最佳抑制频率范围，磁导率越高抑制的频率就越低。此外，铁氧体的体积越大，

抑制效果越好。在体积一定时，长而细的形状比短而粗的抑制效果好，内径越小抑制效果也越好。但在有直流或交流偏流的情况下，还存在铁氧体饱和的问题，抑制元件横截面越大，越不易饱和，可承受的偏流越大。

铁氧体元件广泛应用于印制电路板、电源线和数据线上。铁氧体磁环或磁珠专用于抑制信号线、电源线上的高频干扰和尖峰干扰，具有吸收静电放电脉冲干扰的能力。印制板的电源线入口端加上铁氧体抑制元件，可以滤除高频干扰。

铁氧体抑制元件应当安装在靠近干扰源的地方，对于输入 / 输出电路，则应尽量靠近屏蔽壳的进、出口处。安装时还应当注意，铁氧体元件易破碎，应采取可靠的固定措施。

以上就如何提高医用开关电源的电磁兼容性设计提出自己的观点，如有不适之处，还望与大家共同探讨。总之，研发人员要熟悉自己的产品特性，掌握正确的 EMC 的设计方法，在产品设计的最初阶段，根据标准要求考虑 EMC 的各项指标，确保医疗器械的正常使用并能顺利通过电磁兼容检测。