

# 开关电源的电磁骚扰抑制技术（EMC）

## 4. 开关电源电磁骚扰的抑制措施

对开关电源产生的 EMC 所采取的抑制措施，主要从两个方面着手：一是减小骚扰源的骚扰强度；二是切断骚扰传播。为了达到这个目的主要从以下几个方面着手：选择合适的开关电源工作方式及工作频率；选择合适的电路元件；采用正确的屏、接地、滤波措施，使用合理的元件布局等几种方法。

### 4.1 减小骚扰源的骚扰强度

4.1.1 选择合适的开关电源的工作方式不同，他们产生的电磁骚扰强度及所产生的电磁骚扰控制难度是不同的。例如：自激式开关电源在负载轻重不同时不但脉冲宽度会改变，其开关频率变化很大，这样给克服开关脉冲骚扰和控制其传播带来很大的难度；他激式开关电源开关频率不变，它靠改变脉冲宽度来保持输出稳定。显然，他激式开关电源更容易控制电磁骚扰。隔离型开关电源比非隔离型开关电源骚扰小。桥式整流产生的骚扰比其它整流方式产生的骚扰小。光耦隔离比变压器隔离的骚扰更容易控制。对隔离型开关电源谐振型比极性反转型骚扰小多了。

开关电源的工作频率也与骚扰强度密相关。低的开关电源工作频率不但可以减小骚扰的高频分量，其传导骚扰和辐射骚扰的传播效率会大大降低。

实际设计中，我们进行工作方式选择时，综合考虑其电磁容性能，这样往往可以取到事半功倍的效果。至于工作频率，在不增加成本和影响工作效率的情况下当然是越小越好。

### 4.1.2 选择合适的电路元件

开关电源电路是开关电源产生的电磁骚扰最直接和最主要的来源。

在开关回路中，开关管是核心。我们实际设计和测试中发现，我们用同样耐压的电流容量的不同品牌的开关管进行辐射骚扰测试，整体骚扰最大的与最小的可能相差 15-20 dB。对传导骚扰的频率高端，我们也发现同样的现象（对传导骚扰的频率低端这种现象没有高端明显）。这与开关管在设计中有否考虑电磁容有关。好的开关管在设计中考虑到了高频率抑制开关瞬间的震荡并顾了转换效率。这种开关管成本可能会高些。

开关回路中另一关键部件是脉冲变压器，脉冲变压器，对电磁容的影响表现在两个方面：一个是初级线圈与次级线圈间加静电屏层并引出接地，该接地线尽量靠近开关管的发射极接直流输入的 0V 地（热地），这样可以大大减小分布电容  $c_d$ ，从而减小了初、次级的电场的耦合骚扰。为了减小脉冲变压器的漏磁，可以选择封闭磁芯（如圆环），封闭磁芯比开口磁芯的漏磁小。不可以通过在脉冲变压器外包高磁导率的屏材料抑制漏磁，从而减小了通过漏磁辐射的骚扰。

开关回路中的 C1 选择也很关键，选择高频特性良好的电容或在其上并联一个高频电容，降低高频阻抗，可以减少高频电流以差模方式传导到交流电源中去形成传导骚扰。

在二次整流回路中，整流二极管 D2 常关键。在低压大电流的整流回路中，快速恢复的肖特基是一种较好的选择。对高压输出电路可选用其它快速恢复二极管或带软恢复特性的二极管。

### 4.1.3 骚扰吸收回路

可在开关回路的开关 T 两端并联 RC 吸收回路如图 3（b）所示，或在开关

管 T 两端并联 RC 吸收回路如图 3 ( a ) 所示,或在 RC/DRC 回路可吸收天开关管 T 接通和断开瞬间产生的较高的浪涌尖峰电压,降低开关回路的骚扰。

如图 3 ( c ) 所示,在输出端的整流二极管 D2 和 D1 正极引线中串接带可饱和磁芯的线圈或微晶磁珠 ( co 系) sc1、sc2。可饱和磁芯线圈/微晶磁珠在通过正常电流时磁芯饱和,电感量很小,不会影响电路正常工作,一旦电流要反向流过时,它将产生很大的反电势,阻止反向电流的上,因此将它与二极管 D1、D2 串联就能有效地抑制二极管 D2 的反向浪涌电流。微晶磁珠可以直接套在二极管的引线上,使用方便,效果也比 RC 吸收回路好。另外, D1、L、C2 组成的滤波网络可以更好滤除输出直流中的高频纹波,减小输出端的高频差模骚扰。

#### 4.1.4 一次整流回路中 PFC 网络

对一次整流回路,最显著的骚扰是整流回路对交流电网的选择性取电引起的供电网络的波形畸变,功率因素偏低。为解决这个问题,可在一次整流回路加入现成的 PFC (功率因素控制) 模板。该模块分有源和无源两种,有源模板效果更好,但电路复杂,成本较高。为了更适合所设计的产品,也有公司提供 PFC 电路后一可将功率因素从 0.4 提到 0.9 以上。可以使所设计的开关电源顺利通过 GB 17625.1-1998 的电流谐波测试。

## 4.2 断骚扰传播途径

### 4.2.1 滤波技术

滤波技术是抑制的一种有效措施,其是在对付开关电源 EMI 信号的传导某些辐射骚扰方面,具有明显的效果,电源线上的骚扰电路以两种形式出现:一种是在火线零线回路中,其骚扰被称为差模骚扰;另一种是在和火线、零线与地和大地回路中,称为共模骚扰。差模骚扰在两导线之间传输,属于对称性骚扰,共模骚扰在导线与地(机壳)之间传输,属于非对称性骚扰。通常 20KHZ 以下时,差模骚扰成分占主要成分。1MHZ 以上时,共模骚扰成分占主要成分。在一般情况下,差模骚扰频率高,还可以通过导线产生辐射,所造成的干扰较大。因此,欲削弱传导骚扰,把 EMI 信号控制在有关 EMC 标准规定的极限电平以下。除抑制骚扰源以外,最有效的方法就是在开关电源输入和输出电路中加装 EMI 信号,只要选择相应的去耦电路或 EMI 滤波器,就不满足 EMC 标准的滤波效果。

减小差模式传达室导骚扰的方法是在电源线上串联差模扼流圈、在地与导线之间并联电容器、组成 LC 滤波器进行滤波,滤去共模传达室导噪声。共模扼流圈是将电源线的零线和火线同方向在铁氧体磁芯上构成的,它对线间流动的电源电流阻抗很小,而对两面三刀根线与地之间流过的共模电流阻抗则很大。

对开关电源来说,输入电源端是电磁骚扰从交流电源端是电磁骚扰从交流电网传入内部和内部骚扰反向注入电网的主要途径。为此必须在电源入口处安装一个低通滤波器,这个滤波器只容许设备的工作频率(50HZ、60HZ、400HZ)通过,而对较高频率的骚扰有很大的损耗,由于这个滤波器专门用于设备电源,所以称为电源滤波器。电源滤波器对差模骚扰和共模骚扰都抑制作用,但由于电路结构不同,对差模骚扰和共模骚扰的抑制效果不一样。所以滤波器的技术指标中有差模插入损耗和共模插入损耗之分。

对交流供电的开关电源来说,如果没有输入电源滤波电路,要通过电磁容测试是很难想象的,典型的交流电源滤波网络见图 4 所示。共模式扼流圈 LC1 由两个在同一个高磁导率磁芯上的组成,它们的结构使差模电流产生的磁场相互抵

消。这种结构可以以较小体积得较大的电感值，通常 1——10MHZ 并且不用担心由于工作电流导至饱和。每个组的电感可以减相对与地的共模干扰电流，但只有漏电感才能衰减差模干扰电流。因此，滤波器差模特性在很大程度上受线圈圈的结构的影响，因为线圈电感能够提供较大的差模衰减，但付出的代价是磁芯的饱和电流降低。

共模电容器 CY1 和 CY2 衰减共模干扰，当 CX3 很大时，这两个电容器对差模没有太大的影响。CY 电容器的有效性在很大程度上由设备的共模源阻抗决定。共模源阻抗一般是耦合到地的寄生电容的数，它由电路的结构方式和电源变压器初级——次级电容等决定，一般会超过 1000PF。由 CY 的分流作用提供的共模衰减一般不会超过 15——20dB。共模扼流圈组合（如图 4 中的 Lc2、Cx2）。

差模电容器 CX1 和 CX2（3）只衰减差模干扰电流，它们的电容值可以较大，通常为 0.1—0.47UF。注意源和负载的阻抗可能很低，以致于电容器起不到作用，因此根据具体情况，可以省略一只电容器。例如，一只 0.1UF10ohm，而对于一个数百的电源，从 CX3 的电容值几乎没有效果，这时 CX3 取消。

在许多场合，典型结构的滤波器不能提供满意的衰减效果。例如，必须满足最严格发射限制的大功率开关电源，或有较大的共模干扰耦合的场合，或需要较高的输入瞬态抗抗度的场合。基本滤波器可以通过一些途径来扩展。附加的差模扼流圈 Ld1、Ld2，这是在 L 和 N 线上立的线圈，它们互相没有影响，因此对差模信号呈现更高的阴阻抗，它们与 CX 配合在一起提供更大的衰减。由于它们要保证在满额工作电流的情况下发生饱和，因此对于一定的电感量，它们更重，体积更大。

地线扼流圈：这增加了安全地上共模电流的阻抗当 CY 不能更大，而对电源的干扰又没有其它措施时，这是唯一的一种减小输入、输出共模干扰的措施。因为它的危险电流承受能力必须满足安全标准的要求。使用时要确认没有其它联到设备机箱上的导线将其短路。

瞬态抑制器：象压敏电阻这样一些器件跨接在 L 和 N 线之间能够削减输入的差模浪涌。如果它安装在靠近电源的一端，则它必须能够承受期的最大瞬态能量，安装在这里能够保护电感不至于饱和和保护 CX 电容器。如果安装在设备一端，则其额定值可以大大降低，因为它已经受到了滤波器阻抗的保护。这里的压敏电阻共模浪涌没有抑制作用。

大容量的 CX 应用一只泄放电阻 R 来保护，防止电源断开时 L 和 N 线之间保持的充电电荷造成人身伤害。

在开关电源的直流输出端加入图 5 所示的直流输出滤波网络。它由共模扼流圈 Lc1、差模扼流圈 Ld1 和差模电容 CX1、CX2 组成。为了防止磁芯在较大的磁场强度下饱和而使扼流圈失去作用差模扼流圈的磁芯必须采用高频特性好且饱和磁场强度大的恒流磁芯。

#### 4.2.2 减小分布电容的耦合

为了防止开关管集电极和开关管散热片之间的耦合电容 Ci 将开关管集电极上的脉冲骚扰耦合到机壳和保护地 PE 上形成面向空间的辐射骚扰和电源线传导共模骚扰。我们应该减少开关管集电极和散热片之间的耦合电容 Ci 选用低介电常数的材料作绝缘垫，加厚垫片的厚度，并采用静电屏的方法：一般开关管的外壳是集电极，在集电极和散热片之间垫上一层夹心绝缘物，既绝缘物中间夹一层铜箔，作为静电屏层，接在输入直流 0V 地（热地）上，散热片仍在机壳地上，这样就大大减少集电极与散热片之间的电场耦合。

对脉冲变压器的初级与次级之间的耦合电容  $C_d$ ，也可以用同样的方式通过静电屏层并就近在开关管的为射极接直流输入的 0V 地（热地）。该方式只能少  $C_d$  的耦合，仍然会有部分骚扰冲变压器的初级耦合到次级形成共模骚扰，这时可通过在直流输入的 0V 地（热地）端的共模骚扰一个回路，重新回到直流输入的 0V 地，从而减小通过  $C_d$  耦合的共模骚扰。在选择该电容时为保证通过安全测试所的耐压，一般由两个 Y 电容串联使用。

#### 4.3 屏

抑制开关电源辐射骚扰的有效方法是屏。用导电良好的材料对电场屏。为了防止冲变压器的磁场泄露，可利用闭环形成磁屏，对整个开关电源要进行电场屏。在屏的应考虑散热和通风问题，屏外壳上的通风孔最好为多孔圆形，在满足我的条件下，孔的数量可以多，每个孔的尺寸要尽可能小，接缝处最好焊接，以保证电磁的连续性，如果采用螺钉固定，注意螺丝间距要短，屏外壳的引入、引出线处要采取滤波措施，否则这些线都会成为良好的骚扰发射天线，严重降低屏处壳的屏效果，对无法进行完全屏的开关电源，至少在其关键部位要有局部屏。电场屏如果屏外壳不接地。对非嵌入的外置式开关电源的外壳进行电场屏非常重要，否则很难通过辐射骚扰测试。对嵌入式的内置开关电源是否采用外壳屏则视其系统的屏效能及系统中其他部分对电源骚扰的敏感程度而定。

#### 4.4 电路布线

元件及电路的选择对于控制 EMI 至关重要，但电路板的布局和互连也具有同等重要的影响。尤其是对于高密度、采用多层电路板的开关电源，元件的布局和走线上产生很大  $dv/dt$  和  $di/dt$  的信号，它可以耦合到其它连线上造成兼容问题。不过，只要在关键回路的布局方面多加注意，就可避免兼容性部题以及花费很大代价去对线路板进行修改。

对于一个系统来讲，辐射型和传导型电磁干扰相容易区分，但具体到某块电路板或某导线。问题就变得复杂了。相邻连线之间会有电场的耦合，同时也会通过分布电容传导电流、同样地，连线之间也会象变压器一样。