

功放设计中的电磁兼容性问题及解决措施

中国电子科技集团公司第三十六研究所 赵柱平

[摘要] 本文讨论了功放设计中影响电磁兼容性能的因素以及为提高功放电磁兼容性能而采取的措施。

关键词: 电磁兼容、电磁屏蔽、滤波设计、接地设计

1 引言

射频功率放大器是干扰发射机的重要组成部分,随着工作频段的不断上扩,功率等级的不断提高,其电磁兼容性问题日益突出,对于功放分机来说,由于既有射频电路又有内部控制电路,既有小信号前级电路又有大功率末级电路,同处于一个机箱之中,它的电磁兼容性问题往往更为严重,除了防止大功率单元对另外设备的干扰外,更要解决分机内部各部件电路的相互干扰问题。笔者在研制用于某设备的超短波千瓦级功放过程中,按照电磁兼容设计的要求,从结构、印制板、线缆、接地、滤波等诸多方面采取措施,得到了满意的效果,下面就从这几个方面一一加以论述。

2 大功率功放的电磁兼容设计

2.1 结构设计中的电磁屏蔽措施

电磁干扰通过传导和辐射两种方式传播,实现电磁兼容性归根结底就是采取有效措施阻塞耦合通道。从功放分机的结构分析,它由机箱和分布于机箱中的多个部件盒构成,结构设计要考虑抑制电磁干扰辐射。一个金属屏蔽体的屏蔽效能可由式(1)表达:

$$SE=A+R+B-L-S \quad (\text{dB}) \quad (1)$$

式中 A 为吸收损耗, $A=0.131t \sqrt{f\mu_r\sigma_r}$ (dB)

t— 金属板的厚度(mm)

f— 电磁波频率(Hz)

μ_r —相对磁导率

σ_r —相对电导率

R 为反射损耗, B 为多次反射的修正, L 为泄露效应, S 为驻波效应,泄露效应可能由结构件上的缝隙、孔洞、非均质表面等因素引起。

从式(1)可知,要增加屏蔽效能从而抑制电磁干扰辐射,较有效的措施是增加吸收损耗和减弱泄露效应。由于机箱重量的制约,目前主要采用铝型材制造,从式(2)易知,增加盒子壁厚对加大吸收损耗有利,因此,对一些重要的部件盒,在体积重量允许的条件下,我们增加了盒子的厚度,另外,机箱的盖板采用折弯盖板,面板上安装电表等有较大窗口处加了屏蔽罩,减弱了泄露效应。

屏蔽所抑制的干扰是以各种场的形式传递的干扰,由于该功放分机的增益非常高($> 60\text{dB}$),输入和输出信号的幅度相差悬殊,输出信号如泄露到输入端,就会严重影响到放大器的正常工作,甚至会发生自激震荡,因此电磁屏蔽设计时主要抑制电磁泄露和级间串扰。

在部件盒设计时,初样机采用拼装铆装结构,且固定螺钉数量较少,盒壁薄,转折处存有缝隙,严重影响屏蔽性能,经与结构师协商,将功率增益最高的前级功放一盒改用整体铣,总合成器、末级定向耦合器等大功率部件盒也采用整体铣,所有盒子增加固定螺钉。另外,在前级功放一盒中各放大级间加隔板以抑制级间串扰。

2.2 滤波设计

滤波是抑制传导干扰、克服感应的有效措施,它抑制有用信号频谱外的能量,可以抑制干扰源发射,还可以抑制干扰信号对敏感电路器件的影响。电磁干扰(EMI)滤波器是以能够有效抑制电磁干扰为目标的滤波器,电磁干扰滤波器通常分为信号线 EMI 滤波器、电源 EMI 滤波器、印制电路板 EMI 滤波器、反射 EMI 滤波器、隔离 EMI 滤波器等,功放设计中常应用的有信号线 EMI 滤波器和电源 EMI 滤波器。

功放实质上是一种能量转化装置,即把直流电源的能量转化为射频能量,因此,电源滤波设计的好坏对功放电磁兼容性能有重要影响。

电源线是最重要的传导干扰源,通常功放供电电源采用的是开关电源,其输出叠加有许多与开关电源工作频率相关的噪声信号,经电源线传导到功放电源入口,并调制在功放输出信号上,电源线上的干扰以两种形式出现,即差模干扰和共模干扰,200Hz 以下时,差模干扰成分占主要部分,1MHz 以上时,共模干扰成分占主要部分。为此我们在电源入口处串联大电流电源滤波器,它具有良好的共、差模抑制能力,大大改善功放输出频谱,其电原理图如图 1 所示。

注意安装大电流滤波器时位置要靠近电源入口,连接线尽可能粗短。另外,在各部件盒的电源入口处串联穿芯式馈通滤波器。

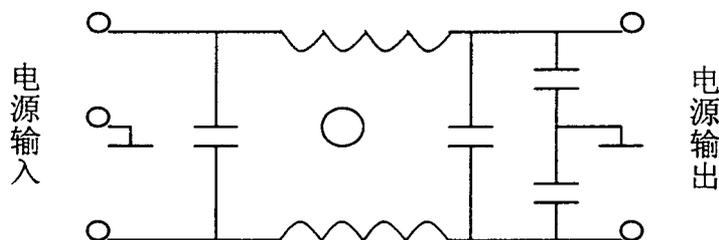


图 1

功放分机由六级放大器级联而成,增益近 60dB,而且各放大级共用一个大电源,各级间通过电源内阻耦合互相影响,是产生自激振荡的重要原因,为此我们在各放大模块印制板电源入口处加上去耦电路,去耦电路由容量从小至大的一组电容并联,分别滤去低频和高频信号,对小信号前级还加上了级间去耦,如图 2 所示。

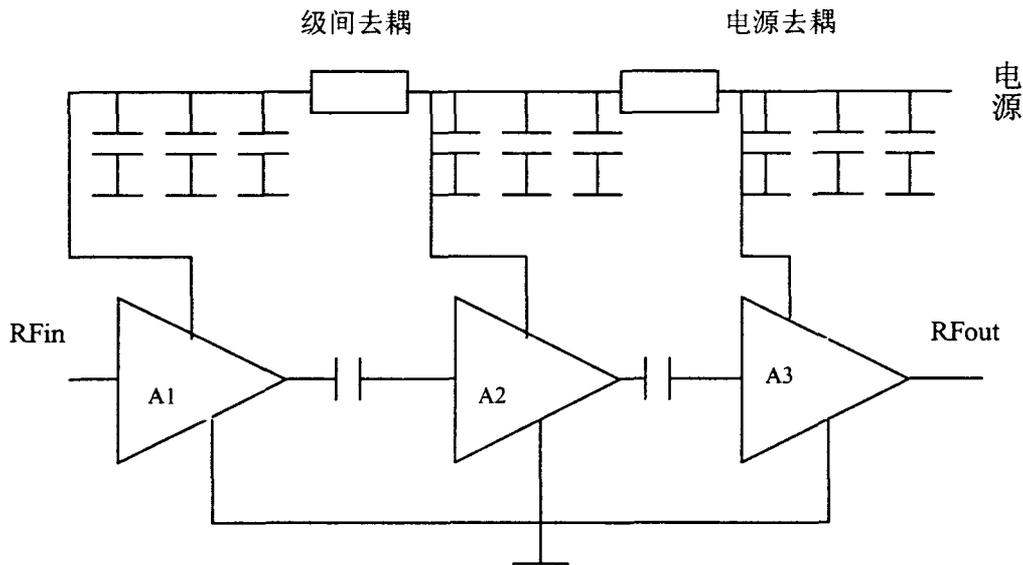


图 2

铁氧体磁珠的使用能增加高频损耗而又不引入直流损耗,而且体积小,便于安装在元件的引线或导线上,对于 1MHz 以上的噪声信号抑制效果十分明显,可用于高频电路的去耦、滤波以及抑制寄生振荡。我们对部件盒中易受干扰的导线,例如提供电压偏置的导线等,加上铁氧体 EMI 磁珠,如图 3 所示:

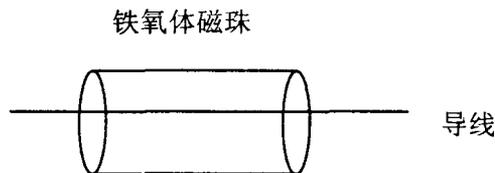


图 3

另外,对于功放分机的控制盒,采用 DC-DC 变换器提供独立的电源,减小功放跳频工作时,大开关电源的脉冲对控制电路的影响。对于信号线上的滤波则采用滤波阵列板接入。

2.3 合理的线缆设计提高电磁兼容性能

线缆设计归结为两个方面:接线屏蔽和线缆的走线布置。

功放初样机中,一些射频连接电缆选用了 SFF 系列软电缆,接头处和电缆本身泄露较大,影响了功放的稳定工作,查阅有关资料后,全部射频电缆均改用半刚电缆(如 SFT 系列),屏蔽效果大大提高,参看下表数据:

电缆类型	屏蔽效能 (dB)
普通线	0 (基准)
双绞线	13
普通同轴电缆	27
半刚电缆	80

另外, 在走线布置时, 我们采取以下措施:

1) 输入射频电缆与输出射频电缆在空间上尽量远离, 分布于功放散热器的两面。

2) 强弱信号线、电源线分开布线, 由于当两平行导线中有电流流过时, 彼此将通过磁交链而产生电磁耦合, 从而互相干扰, 因此我们按照电路工作性质, 将同一功能及电压电流等级相近的信号线、控制线、大电流中线等分别归类、捆扎。关键的走线, 如功率控制线, 接口控制线等采用专用屏蔽电缆。

2.4 PCB 中的电磁兼容设计

功放中的 PCB 种类较多, 除了射频通道中的放大、分配、合成、定向耦合、滤波等印制板, 还有检测、控制、指示、接口等印制板, 对于射频电路板, 通常采用大面积接地, 可靠接地是十分重要的。另外, 射频电路印制板上输入信号和输出信号尽量远离, 且在一直线上, 以避免形成环路。

控制电路板等 PCB, 以低频或直流微弱信号为主, 要特别注意防止受干扰, 在印制板排版时, 采取了以下措施:

1) 为抑制印制板导线间的串扰, 布线时尽量避免长距离的平行走线, 并尽可能拉开线间距离, 信号线与地线及电源线尽可能不交叉, 走线以直线为主, 转折角度尽量为钝角。

导线间距与长度设计参考下表:

导线间距 (mm)	最大线长 (mm)	
	大面积接地	非大面积接地
0.5	50	25
1.0	60	30
3.0	150	40

2) 采用隔离地线和电源线进行电场屏蔽。例如图 4 所示:

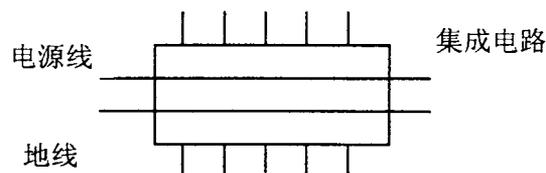


图 4

因为对于一个交流信号来说, 电源线和地线都具有地电位, 排版时让电源线和地线平行穿过集成块的两排引出脚之间, 可有效地减小信号间的串扰。

同理, 在一些对干扰十分敏感的信号线之间设置地线, 如图 5 所示:

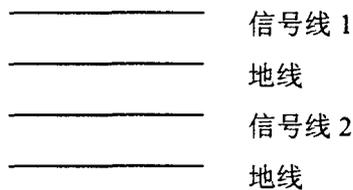


图 5

3) 控制板各集成电路的电源引脚处就近接入滤波电容, 信号线上串入 π 型滤波网络。

2.4 接地设计

据统计, 大约有 90% 的电磁兼容问题是由于布线和接地不当造成的, 因此在电路设计的一开始就要考虑接地设计, 这是解决电磁兼容问题最廉价和有效的方法。

接地的目的有两个, 一是为伤害电流提供一个通路, 即安全地, 通常在电源设计中要考虑安全地的设计。接地的另一个目的是为输入系统的信号提供一个参考。古典的地线定义是“作为电路或系统参考的等电位点或面”, 然而, 当地线上有电流流过时, 这个定义是没有意义的。即使信号电流能够忽略, 外界电场或磁场在地线上感应的地电流也会引起电位的变化。设计良好的接地系统能使这种电位差最小, 但不能消除它, 因此定义地线为“电流能够流回源的一条低阻抗路径”较为合适, 此定义强调了电流的流动和对低阻抗的要求, 是高频功放中接地设计的指导思想。

接地可分为单点接地、多点接地和混合接地三种, 对于射频功放, 由于工作于高频、大电流状态, 我们采用就近接地(多点并联接地), 各放大模块直接安装于散热器上。由于多点接地时易产生公共阻抗耦合问题, 因此要减小接地阻抗和地线阻抗。功放中放大电路通常工作于共射形式, 也就是要减小功率管的底座的接地阻抗, 因此要求安装底板光洁平整, 且增加固定螺钉以保证它与散热器(功放中的公共地)可靠接触。由于高频电流的趋肤效应, 地电流仅在散热器表面流动, 我们采取对模块底板和散热器进行导电氧化的方法来减小地线阻抗。另外, 为抑制多级级联时的公共地线耦合, 把输入电源的接地位置置于靠近末级功放处, 这样末级功放较大的地线电流就不流过前级的地线了。输入电源接地线的选择原则是短、宽、直。在功放中我们常选用多股电刷线并联接地。

3 结束语

电磁兼容设计是十分复杂的一个技术领域, 虽有一些理论上的指导, 但更多的是依靠平时经验的积累, 本文是作者在解决在功放设计中常遇到的自激、它激、杂散超标、控制受干扰等问题中的一些心得, 不当之处, 欢迎各位专家指正。

参考文献

- [1] 杨继深 《实践电磁兼容技术》