

高频、宽带放大器整机电磁兼容性设计

付有余

(中国科学院长春光学精密机械研究所 长春 130022)

摘 要 从电磁兼容性理论出发,论述了宽带放大器设计时如何接地、屏蔽、滤波的电磁兼容设计方法。

关键词 放大器 电磁兼容 干扰源 传感器 电磁耦合

1 引 言

在高频、宽带、低噪声、放大器设计时,除放大器本身要求技术指标以外,电磁兼容性设计是非常关键的。因为,此类放大器一般都与传感器直接相连,将相应的物理量转换成电信号,是系统的眼睛。它一般都有很高的灵敏度和增益,很宽的频带宽度,是系统最易受干扰的部分。因而对系统电磁兼容性设计提出了较高的要求。

电器设备、电子仪器所产生的杂波,彼此之间不干扰其正常性能时,称这些装置具有了电磁兼容性(EMC)。干扰源产生的杂波经两条路径传送到受干扰体上:它们是传导性路径和辐射性路径。

传导性路径是由金属导体传送。其发射与接收的度量,由电场强度 E 、磁场强度 H 表示。其单位为 V/m , A/m 。

在传导性路径中,电磁干扰耦合到其它装置上有以下3种方式:

(1) 传导性耦合(欧姆方式),由两个零件间的欧姆接触耦合到其它用电器上。

(2) 电容性耦合(电场方式),由两个零件间的杂散电容耦合到其它用电器上。

(3) 电感性耦合(磁场方式),由导体间互感而耦合到其它用电器上。以上三种耦合方式,可由转移阻抗表示,即:转移阻抗=感受体电压/发射体电流。

2 放大器电磁兼容性设计

在放大器设计过程中,主要有三种方法进行电磁兼容性设计:接地、屏蔽、滤波。其中正确地接地是重要的,没有正确地接地,屏蔽和滤波几乎无法达到预期的效果。所以下面首先讨论

接地方法。

2.1 接地

接地就是一个放大器单元之间、传感器、屏蔽盒至大地或公共参考点之间所建立的电传输路径。

一般系统有三种地:

交流地: 给放大器供电的电源接地点(交流变压器输入端)。一般指大地,用符号 \perp 表示。

信号地: 检测仪器线路中的公共回路。严格讲这仅是一个零电位的基准点,用符号 \perp 表示。它可以与大地或机壳连接,也可绝缘(浮空技术)。

机壳地: 也可称屏蔽地,指仪器的机壳、屏蔽罩,它可根据需要与大地、信号地相接或不接,用符号 \perp 表示。

下面讨论接地的方法。无论是大型仪器各分系统之间还是单块线路板内部,接地方法均有三种:浮点接地、单点接地和多点接地。

如图 1 所示。

(1)浮点接地:浮点接地的目的是将电路或机壳之间一个共同的接地平面相隔离,或者与一个可能引入环流的共同配线隔离。浮点接地一般在低频($< 1\text{MHz}$)时才能使用,使得电容耦合可以忽略。例如:

光电隔离,如图 2 所示。

变压器隔离,如图 3 所示。

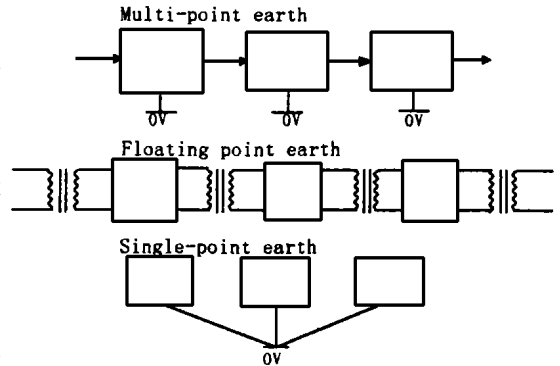


Fig. 1 Three kinds of earth method

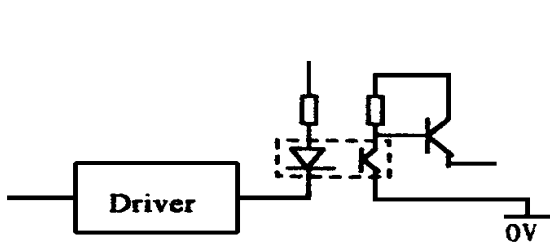


Fig. 2 Photoelectric isolation

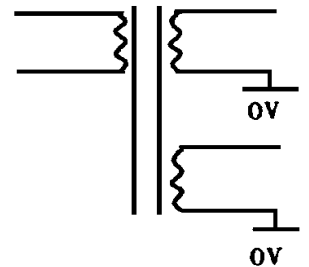


Fig. 3 The transformer isolation

传感器与检测放大器的连接,往往采用浮地技术。一般传感器与放大器之间有一定的距离,通过屏蔽线连接在一起,如图 4 所示。

若传感器与放大器分别与机壳相连接,二者间有一定的电位差 e ,产生了一个地环流。将在电缆线外皮造成一个干扰电压 e_n :

$$e_n = eR_c / (R_c + R_q)$$

要消除这种干扰,需采用浮地技术。由电容 C 与屏蔽线串联后,接机壳地。适当调整电容 C ,可消除地线环流,如图 5 所示。

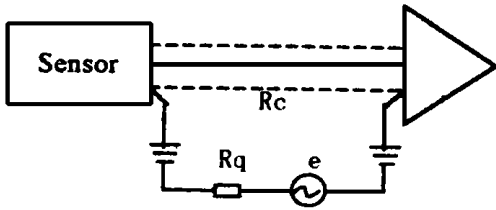


Fig. 4 Wire to wire ring current in multipoint earth

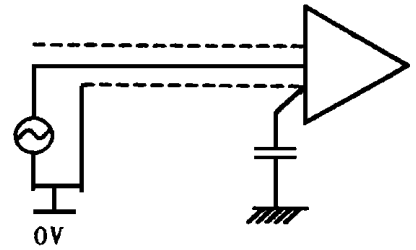


Fig. 5 To eliminate interference by flating point earth

(2) 单点接地:

检测系统中存在着各种电平信号, 且差异相当大, 信号通过公共地线时会产生寄生耦合, 如数字信号、功率级信号与低噪声的弱信号共用地线时, 会对低噪声的弱信号产生较大的干扰, 这时最好采用单点接地。这样可避开对弱信号的干扰。如图 6 所示。

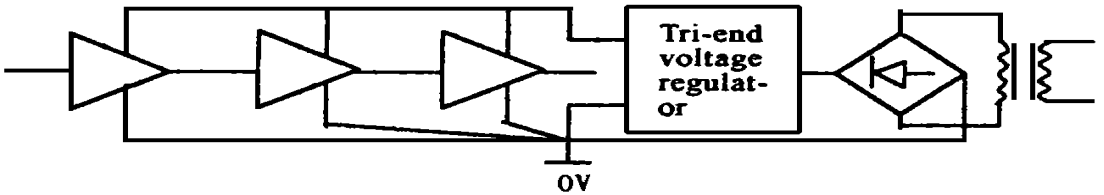


Fig. 6 Single point earth

(3) 多点接地:

在干扰源的频带与接收系统频带足够宽时, 单点接地是不可取的。因为波长 $\lambda = C/f$, C —— 电磁波传播速度, f —— 系统的上限频率, 频率越高 λ 越小。当接地的导线长度与波长相当时, 就不能视为地线, 而是一根发射天线或接收天线。所以在设计放大器时, 导线的长度要特别考虑, 应尽量缩短, 并采用多点接地。

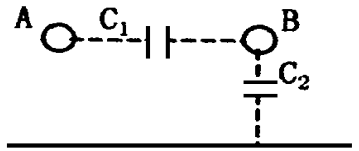


Fig. 7 The electromagnetic coupling inter conductor

2.2 屏蔽

对于灵敏度高的放大器, 必须用屏蔽来消除空间电磁场的干扰。若在强干扰源条件下需要多层屏蔽, 但屏蔽效果的好坏取决于接地的正确性, 否则会带来更大的干扰。

屏蔽从本质上讲是利用电容分压原理, 将干扰电压减小或旁路, 如图 7 所示。

干扰源 A 到导体 B 间, B 对地分别存在电容 C_1 、 C_2 , 干扰源 A 上的电压 V_A 经电容分压, 耦合到导体 B, 则:

$$V_B = V_A [C_1 / (C_2 + C_1)]$$

若在导体 A 与 B 之间插入一个如图 8 所示的金属板, 且此金属板足够大, 则 A、B 间分布电容 C_1 可忽略, 此时感应电压:

$$V'_B = V_A [C_3 / (C_3 + C_s)] [C_4 / (C_2 + C_4)]$$

由平行板电容器公式:

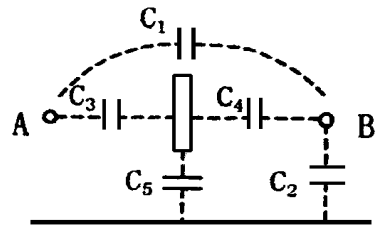


Fig. 8 The principle of electromagnetic shroud

$$C = \epsilon S / r$$

ϵ ——介电常数; S ——平行板面积; r ——两平行板之间距离。

可知 S 越大, 电容越大; r 越小, 电容越大, $C_5 \ll C_3$, 则: $V_B = C_4 / (C_2 + C_4)$, 由于金属板距 B 比 A 近, 且面积大, 所以 $C_4 \gg C_1$, 此时耦合比未加金属板要大, 所以只有改变 C_5 , 使 $C_5 \rightarrow \infty$, 即金属板良好接地, 则 $V_B \approx 0$, 起到屏蔽效果。否则干扰将比不加屏蔽时更为严重。

因此静电屏蔽要注意以下三点:

- (1) 屏蔽体良好接地。
- (2) 为减小电容 C_1 的影响, 屏蔽体应将干扰源或被干扰体包围封闭。
- (3) 若屏蔽不便包围, 则将屏蔽体尽可能远离干扰源。

屏蔽盒内部的接地是一个重要问题, 假如地线不与屏蔽盒连接, 如图 9 所示。等效电路如图 10 所示。

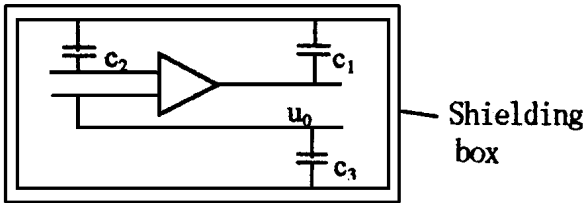


Fig. 9 Distributed capacitance introduced by non earth in shielding box

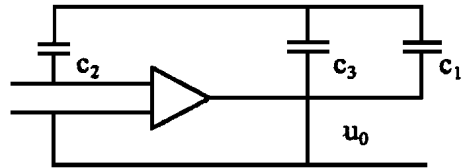


Fig. 10 The equivalent circuit in the shielding box

则输出电压 U_0 将通过 C_1, C_2, C_3 耦合到输入端, 使放大器受到干扰。如果将信号地在进线端与屏蔽盒相连接, 则 C_3 相当于短路, 可以消除干扰。即屏蔽盒最好的接地方法是在进线端与信号地相接。其等效电路如图 11 所示。

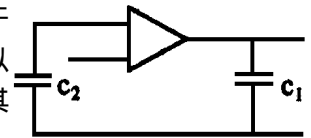


Fig. 11 The equivalent circuit after eliminating interference

2.3 滤波

在有良好的地线情况下, 高频滤波是非常必要的。尤其应该注意在高频状态下电解电容的电感效应使其滤波效果失效。最好用无感电容。

设计高频宽带放大器线路时, 电源端所用的三端稳压器的输出引线一定要短, 且输出端用无感电容滤波, 以消除在高频情况下, 电解电容的电感效应。 C_2 为无感电容。如图 12 所示。要求更高时应采用电池供电。

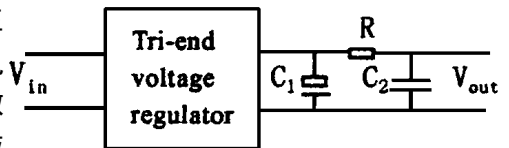


Fig. 12 To eliminate interference by tri-end voltage regulator

3 单元电路的抗干扰设计

使用宽带线性放大器或分立元件制作前置放大器时, 在指标允许的情况下, 应尽量降低输入阻抗, 以减少空间辐射带来的干扰。使用运算放大器制作前置放大器时, 主要考虑共模干扰问题。前置放大器一般采用单端输入方式, 这时要求运算放大器的另一个输入端与信号输入端阻抗平衡, 否则在相位相同的电磁干扰情况下, 将产生共模信号输出。

一般同相放大器, 反相放大器如图 13 所示:

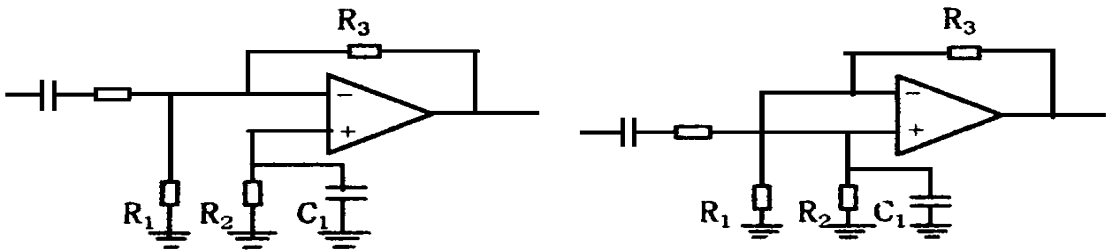


Fig. 13 The impedance balance in the input end of operational amplifier

R_2 可作为平衡电阻, 其值应等于: $R_2 = R_1 / R_3$ 。 C_1 为交流平衡电容, 调试中确定。 R_2 不仅使输入失调电压最小, 而且大大提高电路的抗干扰能力。

4 磁场干扰防护

电源变压器的磁平衡是重要的。在强磁场干扰下, 将变压器如下方法绕制, 即初次级分两组串联绕制。信号感应电势串联相加, 而干扰磁场同方向进入, 两绕组成反相串联, 故干扰电势互相抵消。如图 14 所示。

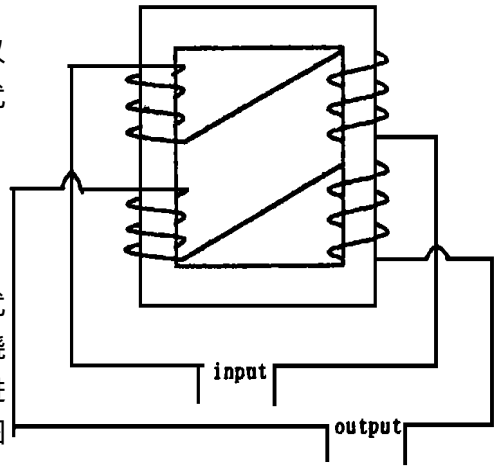


Fig. 14 The method of winding transformer to eliminating magnetic interference

5 结束语

以上对电磁干扰的防护方法进行的论述, 以及对传感器的接法、放大器机壳设计、放大器电源设计等进行的论述, 可以说是设计放大器时的外围设计。虽然可能花费很多时间, 但减少了很多在调试放大器时经常遇到的麻烦, 而且也保证了系统在强干扰情况下正常工作。

参 考 文 献

- 1 宋东安译. 宽带通信 EMC 分析系统研究. C³I 电磁兼容性译文集, 1992
- 2 [美] 英特钦巴尔 C D, 菲特钦 R C 合著. 低噪声电子设计. 尤农琪译. 北京: 国防工业出版社, 1973
- 3 戴逸松著. 电子系统噪声及低噪声设计方法. 长春: 吉林人民出版社, 1984

The Overall Electromagnetic Compatibility Design of High Frequency Wideband Amplifier

FU Your Yü

(*Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics,
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022*)

Abstract

The electromagnetic compatibility design methods of earth connection, shield, filter are described in this paper for the wideband amplifier design on the basis of the principle of electromagnetic compatibility.

Key words: Amplifier, Electromagnetic compatibility, Interference source, Sensor, Electromagnetic coupling

付有余 男, 1951年5月出生, 1989年毕业于长春光机学院夜大学, 工程师, 现从事高频弱信号处理方面的研究工作。