

# 共模骚扰的成因与对策

刘萍,沙斐

(北方交通大学抗电磁干扰研究中心,北京 100044)

**摘要:**共模骚扰往往是造成电子电气产品工作失灵或辐射发射测试超标的主要原因。它主要可以分为两种:一种是侵入设备的共模骚扰,另一种是从设备内部辐射出来的共模骚扰。侵入设备的共模骚扰主要由地环路引起,因此设计上采用平衡电路或设法切断地环路可以提高设备的抗干扰性能。设备内的共模骚扰通过连接线向外辐射,相当于一副不对称振子天线,可以采用共模滤波器或屏蔽电缆等措施。但最根本的应该是在印刷电路板设计、元器件布置和连接线的安排上下功夫,抑制共模骚扰源的产生。本文将理论与实例相结合,对这两种共模骚扰的成因、表现形式和抑制对策进行了系统的介绍。

**关键词:**共模骚扰; 地环路; 共模辐射; 共模滤波器

**中图分类号:** TN97 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2002)11-0041-07

## 1 引言

共模骚扰是让许多系统工程师头疼的问题,往往造成电子电气产品工作失灵或者辐射发射测试超标。本文将对共模骚扰的产生和抑制进行研究。

电流在导线上传输时有两种方式:共模方式和差模方式。一对导线上若流过差模电流,则两条线上的电流大小相等,方向相反。驱动源是线与线之间的差模源。一般有用信号都是差模电流。一对导线上若流过共模电流,则两条线上的电流方向相同。驱动源是线与地之间的共模源。骚扰在传输线上既可以以差模方式出现,也可以以共模方式出现。概括说来,共模骚扰可以分为两种,一种是设备外部的骚扰通过设备的互连线以共模电流的形式侵入设备内部产生干扰,另一种是设备内部产生的骚扰通过设备互连线以共模电流的形式向设备外部发射骚扰。共模骚扰通常指线与地之间的骚扰。下面就对这两种共模骚扰的成因、表现形式和抑制对策分别进行阐述。

## 2 共模电流的侵入

### 2.1 地环路中产生的共模电流骚扰

图1为地环路的示意图。

图中两设备用一对电缆传输线连接,图中设备(发送部分)、设备(接收部分)分别接各自的地,这是一个不平衡传输电路。在理想情况下,两设备的地电位相等,传输线对中仅存在有用信号  $U_{DM}$  的差模电流  $I_{DM}$ ,途经是  $+U_{DM} \rightarrow Z_S \rightarrow$  信号线阻抗  $Z_1 \rightarrow$  负载  $Z_L \rightarrow$  回流线阻抗  $Z_2 \rightarrow -U_{DM}$ 。

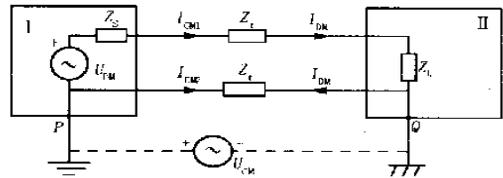


图1 共模电流与差模电流的转换

Fig. 1 Conversion of CM current into DM current

但是,实际情况往往没有这么理想,两个设备的接地点  $P$  和  $Q$  之间很可能会存在电位差  $U_{CM}$ 。例如,设备 I 处有高电流入地或瞬态强电流入地,使  $P$  点地电位弹升,或者电缆传输线处在较强的骚扰电磁场中,地环路中产生感应电动势,相当于在  $PQ$  间存在电位差  $U_{CM}$ 。此时,由  $U_{CM}$  产生的噪声电流将同时通过信号线和回流线,方向是相同的,因此是共模电流,途径如图2所示。

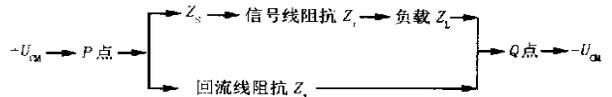


图2 共模电流途径

Fig. 2 Path of CM current

由于各条途经中的阻抗不一样,共模电流大小也不同,因此在  $Z_L$  两端产生了差模压降,从而对设备2的正常工作产生干扰。

传输线对上是否存在共模电流骚扰可以方便地用电流钳测出。将电流钳夹住传输线,差模电流不会在电流钳中产生感应电压,共模电流则可以。将该电压输入示波器或频谱仪就可以分析共模骚扰的波形和频谱特性<sup>[1]</sup>。

### 2.2 抑制共模电流传导骚扰的对策

#### 2.2.1 采用平衡电路

如果用图 3 的平衡电路来代替图 1 的不平衡电路,则情况可以大大改善。图中信号线和回流线对地阻抗是平衡的,由  $U_{CM}$  驱动的共模电流在两条线中是相等的,因而在  $Z_L$  两端没有差模噪声压降,所以用平衡电路可以避免从共模到差模的转换。例如,计算机的 RS-422 串行接口采用这种平衡传输方式,因此可提高传输线的抗干扰能力。

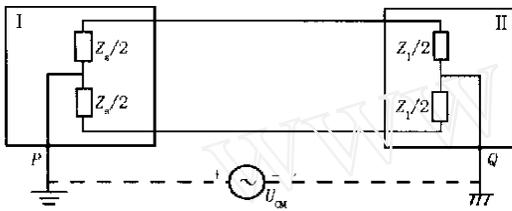


图 3 平衡电路传输

Fig. 3 Balanced circuit transmission

#### 2.2.2 切断地环路

由于产生共模电流的根本原因是地电位差的存在,所以切断地环路是抑制共模电流骚扰最直接的方法。这种方法常用的措施有以下几种:

##### (1) 隔离变压器

在电路 1 和 2 之间插入隔离变压器,如图 4(a) 所示。电路 1 的有用信号可以通过变压器的磁场耦合传输到电路 2 去,而地环路产生的共模电流由于方向相同在变压器初级绕组中相互抵消,起到了隔离作用。但是一般变压器并非理想的,初级绕组和次级绕组间存在着分布电容,所以共模电流可能通过这些分布电容从初级流到次级去,并进一步流向负载。为了减小分布电容,提高变压器的隔离效果,应该在初、次级间加一层金属屏蔽层,其结构是用一层铜箔绕一匝,但在交接处必须垫上绝缘层,不能让其变成短路环,否则差模电流也被隔离了,见图 4(b)。该铜箔起到了初级与次级间的电场屏蔽作用,即减小了两者之间的分布电容。该铜箔应接地,而且要接在负载端,否则不起作用,这可用图 4(c) 解释。屏蔽体如接在 A 端的地上,则共模噪声仍可通过  $C_2$  耦合到负载上去,所以在 B 端接地。隔离变压器的缺点是不能传输直流信号和频率很低的信号。

##### (2) 共模扼流圈

在电路 1 与电路 2 之间插入共模扼流圈,如图 5 所示。共模扼流圈可以传输差模信号,直流和频率很低的差模信号都可以通过,而对于高频共模噪声

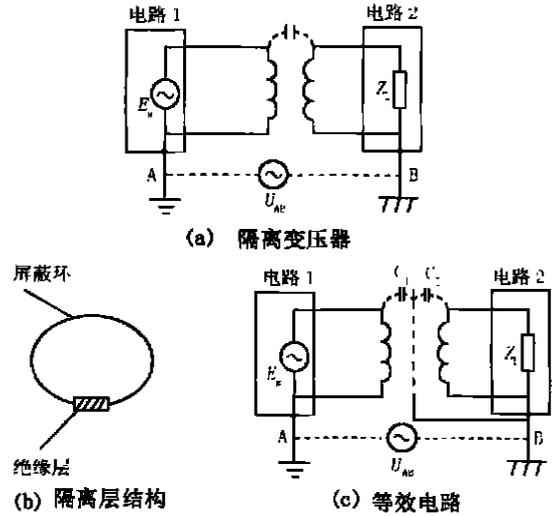


图 4 隔离变压器切断地环路

Fig. 4 Isolation transformer cutting ground-loop

则呈现很大的阻抗,所以它可以用来抑制共模电流骚扰。此外,用铁氧体磁环套在两根导线上也同样可以起到共模扼流圈的作用。

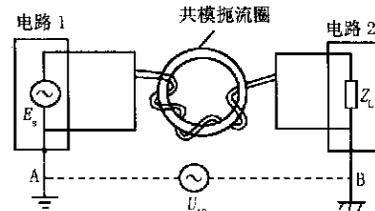


图 5 共模扼流圈

Fig. 5 CM RF choke

##### (3) 光电耦合器

在电路 1 与电路 2 之间插入光电耦合器,如图 6 所示。光电耦合器只能传输差模信号,不能传输共模信号,所以完全切断了两个电路之间的地环路。光电耦合器可以传输直流和低频信号,响应速度快,输入输出端的分布参数小,而且体积小,重量轻,便于安装,目前已广泛应用在数字电路中,频率高达

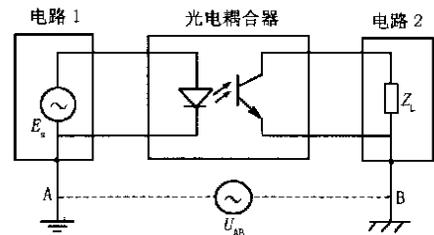


图 6 光电耦合器切断地环路

Fig. 6 Optical isolator cutting ground-loop

10 MHz。

### 3 共模电流的辐射

测量设备通过空间传播的辐射骚扰强度时常常遇到下述情况,如设备不接各种输入输出线或控制线时则辐射噪声较小,可能不超过标准规定的要求,但是接上这些线以后辐射噪声在某些频段会显著增加,有时可增 10~20 dB。实验证明噪声强度的增加与外接线终端是否接负载,即是否有差模的负载电流关系不大,因此这是共模电流辐射问题。一对紧贴着的导线如果流过差模电流则导线各自在空间产生的电磁场可以相互抵消,因为两根导线中的电流大小相等方向相反。当导线对上流过共模电流时各自产生的电磁场可以相互叠加。

#### 3.1 共模电流辐射的基本模式

##### 3.1.1 电流驱动模式

图 7 是电流驱动模式的示意图。图中  $U_{DM}$  是共模电压源,设备内部有很多这样的源,例如各种数字信号电路、高频振荡源等。 $Z_L$  为回路负载, $I_{DM}$  为回路的差模电流,该电流流过  $AB$  两点间的回流地(例如 PCB 的地线),回到差模源。如  $AB$  间存在一定电感  $L_P$ ,则会产生压降  $U_{CM}$ 。这里, $U_{CM}$  就是产生共模辐射的驱动源。要产生辐射,除了源以外还必须有天线。这里的天线由两部分组成,一部分是由  $A$  点向左看的地线部分,另一部分是由  $B$  点向右看的地线部分和外接电缆。其组成的辐射系统的等效原理图如图 7(b) 所示,这实际上是一副不对称振子天线。由于共模电流  $I_{CM}$  是由差模电流  $I_{DM}$  产生的,所以称这种模式为电流驱动模式。以下举二例说明电流驱动产生的共模辐射,其基本解决办法见文献[1]的 2.3 节。

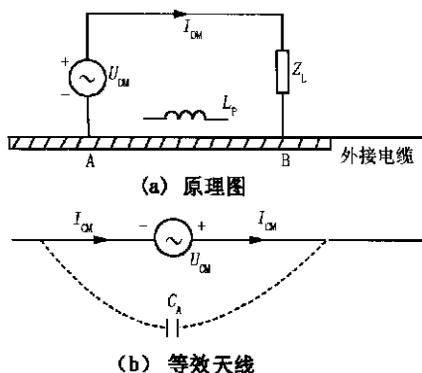


图 7 电流驱动产生共模辐射原理图

Fig. 7 Illustration of current driving CM radiation

例 1 在 PCB 上为了把数字部分和模拟部分隔离,常把地分割成数字地和模拟地。如果这两部分之间有信号联系,如图 8 所示,并且数字地和模拟地的连接部分  $AB$  比较细长存在一定电感,则差模电流  $I_{DM}$  将在  $AB$  连接线的电感上产生共模驱动电压源,从而引起共模辐射。天线一部分是数字地,另一部分是模拟地和外接地线。

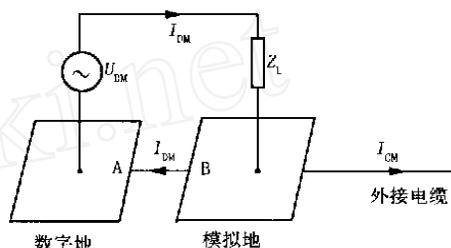


图 8 分地引起的共模辐射

Fig. 8 CM radiation caused by dividing ground

例 2 PCB 的地通过  $AB$  线与机壳相连接,如图 9 所示。PCB 上有扁平信号线与机壳贴近,于是差模源通过分布电容耦合到机壳上,引起差模电流  $I_{DM}$ 。 $I_{DM}$  通过  $AB$  线回到 PCB 的差模源。如果  $AB$  线存在一定电感  $L_P$ ,则  $I_{DM}$  在  $L_P$  上产生电压降  $U_{CM}$ ,成为共模驱动电压,从而引起共模辐射。这时的天线一部分是外接地线,另一部分是机壳。这种辐射常发生在以下情况,例如设备内部的地址线、数据线等扁平电缆贴近机壳,分布电容较大,PCB 和机壳之间的连接线细长或接触不良等等。

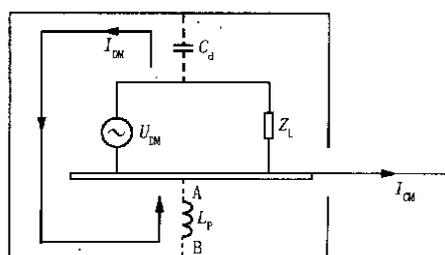


图 9 电流驱动方式实例

Fig. 9 Example for current driving CM radiation

##### 3.1.2 电压驱动模式

电压驱动模式的原理如图 10 所示,图中差模电压源  $U_{DM}$  直接驱动天线的两个部分,即上金属部分和下金属部分,从而产生共模辐射。共模辐射电流  $I_{CM}$  为

$$I_{CM} = j C_A U_{DM}$$

式中: $C_A$  为上下两部分金属之间的分布电容。

下述例子说明了电压驱动产生的共模辐射。

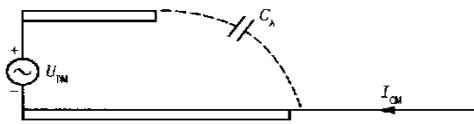


图 10 电压驱动产生共模辐射原理图

Fig. 10 Illustration of voltage driving CM radiation

例3 图 11 示出的是开关电源的一部分。其中, Q 是大功率的开关管, 它可以看成是差模电压源  $U_{DM}$ 。共模电流  $I_{CM}$  的途径是由 Q 通过开关管和散热片之间的分布电容  $C_d$  到达散热片, 散热片是共模天线的一个极, 然后以空间位移电流的形式即通过  $C_A$  到达外部接线, 外部接线是天线的另一个极, 共模电流再由 PCB 地回到 Q。

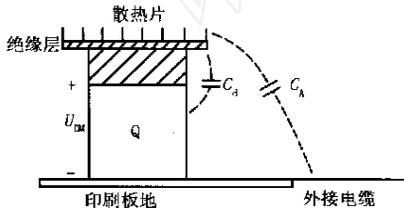


图 11 电压驱动方式实例

Fig. 11 Example for voltage driving CM radiation

### 3.2 产生共模辐射的条件

产生共模辐射的条件一是要有共模驱动源, 二是要有共模天线。任何两个金属体之间只要存在 RF 电位差就构成一副不对称振子天线, 两个金属体分别是它的两个极, RF 电位差即为共模驱动源, 它通过不对称振子天线间的空间辐射电磁能量。当频率达到 MHz 级时, nH 级的小电感和 pF 级的小电容都将产生重要的影响。两个导体连接处的小电感会产生 RF 电位差。如例 1 中数字地模拟地连接线的小电感, 例 2 中 PCB 与机壳之间连接线的小电感等都是产生共模驱动源的根源。没有物理连接点的金属体也可能通过小电容变成天线的一部分。如例 3 中散热片与开关管物理上是绝缘的, 但可以通过它们之间的小电容在 RF 频率上连接起来, 构成共模天线的一部分。

共模天线的一个极必定是设备的外部接线, 另一个极可以是设备内部 PCB 的地线、电源面、机壳、散热片、金属支撑架等等。当天线的两个极总长度大于  $\lambda/20$  时, 天线的辐射才可能有效。当天线长度与驱动源谐波的波长符合  $l = n \lambda/20$  ( $n = 1, 2, 3, \dots$ ) 时天线发生谐振, 辐射能量最大。

在天线总长度确定时, 源在天线上的位置是天

线辐射能量的决定因素。天线在源的同一侧时产生的共模辐射要比天线在两侧时小得多<sup>[1]</sup>。

### 3.3 抑制共模辐射骚扰的对策

通过分析共模辐射产生的条件, 我们可以很容易想到抑制共模辐射骚扰也是从这两方面入手, 一是对共模天线进行处理, 二是减小共模驱动源对外的输出功率。

#### 3.3.1 从共模天线入手

减小天线长度即设备外部电缆的长度可以减小辐射, 但实际应用中电缆长度往往是确定的, 无法缩短, 因此可用以下方法。

##### (1) 改变共模源在天线上的位置

3.2条已经讲过, 万一设备内部存在共模辐射源, 则电缆是很好的共模辐射天线, 而天线在源的同一侧时产生的共模辐射要比天线在两侧时小得多。所以, 在 PCB 设计时, 所有的连接器最好都放在 PCB 的一侧。所有的信号线、控制线、电源线也最好从机箱的一侧引出, 尽量避免从两侧引出电缆。

##### (2) 减小分布电容 $C_d$

对于电流驱动的共模辐射, 如例 2, 减小信号线与机壳之间的分布电容  $C_d$ , 就可以减小差模电流  $I_{DM}$ , 从而减小了  $I_{DM}$  在 AB 线电感  $L_p$  上的电压, 即共模驱动电压  $U_{CM}$ , 这样就减小了共模辐射。减小分布电容  $C_d$  的方法非常简单, 只要将该设备内部的地址线、数据线等扁平电缆远离机壳就可以了。对于电压驱动的共模辐射, 如例 3, 减小开关管和散热片之间的分布电容  $C_d$ , 则可以减小共模电流  $I_{CM}$ , 从而减小共模辐射。要减小  $C_d$ , 可以选用低介电常数的材料作绝缘垫, 增加垫片的厚度。也可以用静电屏蔽的方法, 如图 12 所示。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, 即绝缘物中间夹一层铜箔, 作为静电屏蔽层, 接在输入直流 0 V 地上, 散热片仍接机壳地, 这层静电屏蔽层将大大减小集电极和散热片之间的电场耦

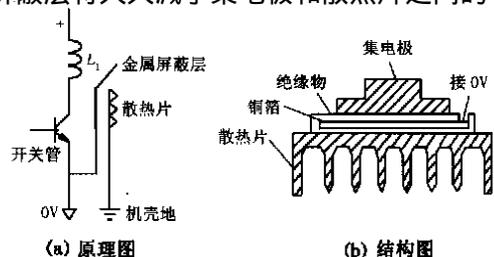


图 12 开关管和散热片之间的静电屏蔽

Fig. 12 Static shielding between switch transistor and heat-sink

合。

### (3) 电缆屏蔽层与机箱良好搭接

图 13 是一种典型共模辐射的简化图。屏蔽机箱内存在一个共模驱动源(可能是高速数字器件、时钟发生器、开关电源等)。很显然,共模驱动源产生的共模电流会沿着屏蔽电缆向外辐射。如果将电缆的屏蔽层与金属机箱完整搭接,那么共模电流就会迅速通过金属机箱流入地中,不会在空间产生辐射,这就等于抑制了共模辐射。在这个方法中,需要注意两个问题。一是电缆屏蔽层应与金属机箱 360° 完整搭接,并保证良好的电连续性。如果连接时屏蔽层的编织网被集中在一侧,扭成“猪尾巴”状的辫子,芯线有很长一段露出屏蔽层(见图 14),则会产生“猪尾巴效应”,很大程度上降低了屏蔽层的屏蔽效果,也不能很好地抑制共模辐射。二是屏蔽机箱应该具有良好的电连续性,接缝处要保证金属之间接触良好,这样才能达到较高的屏蔽效能,才能保证共模电流在金属机箱上的均匀流动。

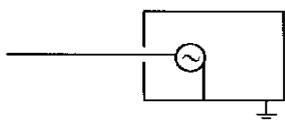


图 13 典型共模辐射简化图

Fig. 13 Typical CM radiation

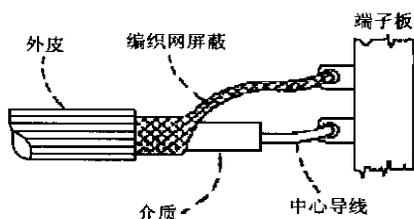


图 14 屏蔽电缆接头处的“猪尾巴效应”

Fig. 14 Pig-tail effect at connector of shielded cable

(4) 在 PCB 上或上方不允许有任何电气上没有连接并悬空的金属存在

PCB 上的集成电路芯片上有时有些闲置的门电路引脚,这些引脚相当于小天线,可以接收或发射干扰,所以应该把它们就近接回流地或电源线。悬空的金属,特别是大面积的金属分布电容大,容易产生电场耦合。任何金属构件如果存在电位差就可能产生共模辐射,所以必须把它们良好地就近接地。例如散热片、金属屏蔽罩、金属支架、PCB 上没被利用的金属面都应该接地。

### 3.3.2 从共模驱动源入手

#### (1) 改进印制板上的电路布置

印制板电路布线时应尽量减小供电回路和信号回路的面积,因为回路的面积越大,电感就越大,就越容易产生共模电流源。同时,还应尽量减小回流地线的阻抗。各种地线之间的连接不能用太细的轨线。例如,图 8 和图 9 中 AB 连接线应增加宽度,或者多加几根连接线。

#### (2) 在 PCB 上分割出专用的“EMC 地”

为了抑制共模干扰,建议在靠近连接器处把 PCB 的地层分割出一块,作为专用的“EMC 地”,如图 15 所示。EMC 地上必须不存在任何数字信号的回流,因此也称为“无噪声地”。EMC 地应与机壳良好搭接,搭接阻抗(主要是电感)要尽可能地减小,可采取多点搭接方法,以保证 EMC 地和机壳具有相等的电位。EMC 地和数字地之间仍保持电气连接。连接器处的每条 I/O 线包括信号线和回流线都应分别并联高频去耦电容至 EMC 地,去耦回路的电感越小越好,例如可用表面安装式电容。这样 I/O 线所携带的 PCB 的共模干扰电流在输出前通过去耦电容被旁路了。同时外部干扰例如静电、浪涌脉冲等如通过 I/O 线侵入,则还没有到达元器件区域时就被去耦电容旁路到设备的机壳上,从而保护了内部元器件的安全工作。

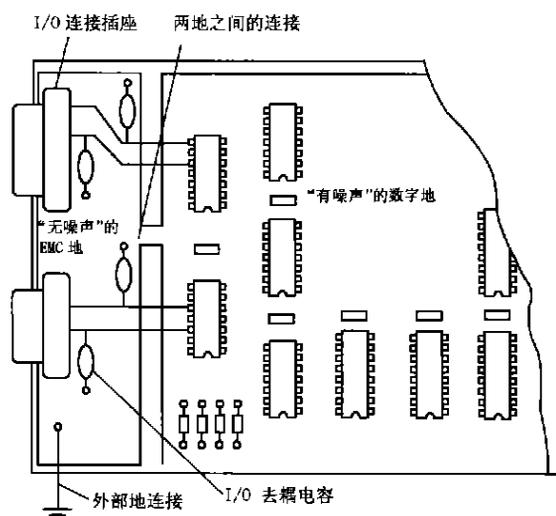


图 15 EMC 地和共模去耦电容

Fig. 15 EMC ground and CM decoupling capacitor

#### (3) 在传输线输出端口插入滤波器

在传输线的输出端口插入滤波器可以抑制高频共模骚扰沿着传输线向外传输。滤波器的种类有反射式的电容滤波器、电感滤波器、电源滤波器,以及吸收式的铁氧体滤波器等。下面分别进行阐述。

把电容器并接在导线和地之间就构成了电容共

模滤波器,它可以让高频共模噪声通过电容器流入地中,从而避免了影响后续电路的正常工作。穿芯电容也是一种共模电容滤波器,使用时穿芯电容用螺栓或焊接方法固定在金属板上,有用信号可以通过其芯线穿过金属板,而高频噪声则通过芯线与金属板之间的电容入地。

用于抑制共模高频噪声的电感共模滤波器一般就是指共模扼流圈。将它插入传输导线对中,可以同时抑制每根导线对地的共模高频噪声,而对于传输线中的差模电流则没有影响,这在 2.2.2 条已经作过介绍。

差模和共模滤波器级联在一起可以组成多级滤波器,它可以同时抑制两种模式的高频噪声。阻带范围不同的滤波器级联可以扩展阻带的频率范围。多级滤波器的另一个优点是其滤波器性能受两端负载阻抗的影响较小。电源滤波器是多级低通滤波器级联的一个实例。它的作用往往是双向的,它不仅阻止电网中的噪声进入设备,也可以抑制设备产生的噪声污染电网。图 16 是电源滤波器的典型结构。上图包括二级电感共模滤波器串联。下图是一级电感共模滤波器和一级电感差模滤波器串联。图 17 是其典型安装图<sup>[2]</sup>。在安装电源滤波器的时候应该注意以下几点:

在交流电源线一进入机箱的地方就应该安装电源滤波器。不能让电源进线在机箱中走了相当长一段距离以后才进入滤波器。因为如果这样走线的话,电网中的各种噪声就会通过这段电源线在机箱内辐射,或者耦合到设备内部的敏感电路中去,构成干扰。同时设备内部一些高速数字器件或其信号线上的信号也会耦合到电源线上,沿着电源线向外发射,使该设备在电磁兼容达标测试中超过标准所规定的噪声辐射和传导限值。

电源线和数字信号线应该分别从不同处进入机箱,并且要相隔一定距离。

电源滤波器的金属外壳在电源进线处与机箱紧密联成一体。

最好能如图 17 所示,安装一个金属屏蔽盒。金属盒要用螺钉固定在机箱上,与机箱紧密联成一体。

进入电源滤波器的电源线和输出电源滤波器的电源线(金属屏蔽盒内)都要尽可能的短,并且滤波前和滤波后的电源线要尽量互相远离。

铁氧体吸收型滤波器(见图 18)是目前应用发展很快的一种低通滤波器,已广泛应用于各种电路

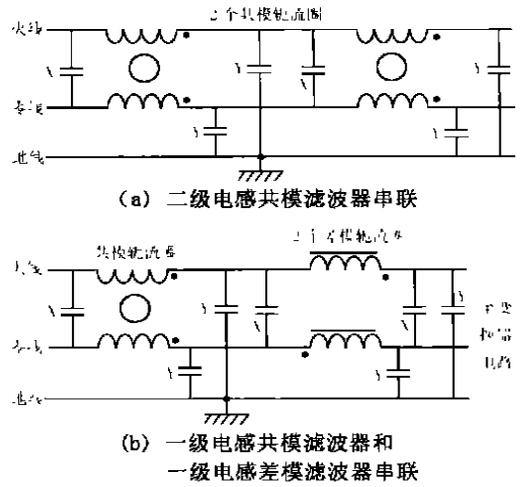


图 16 电源滤波器的典型结构

Fig. 16 Typical structure of power supply filter

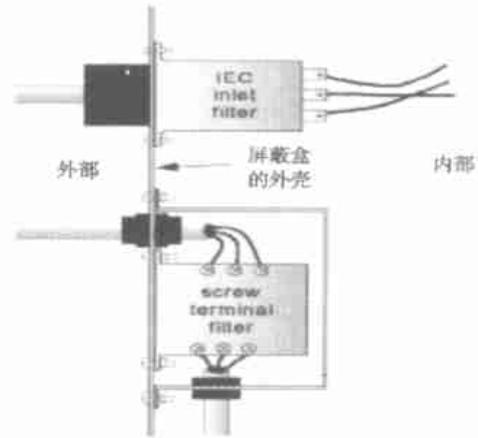


图 17 电源滤波器的正确安装

Fig. 17 Correct mounting of power supply filter

中。当导线中的电流穿过铁氧体时低频电流几乎可以无衰减地通过,但高频电流却会受到很大的损耗,转变成热量散发,所以铁氧体和穿过其中的导线即成为吸收式低通滤波器。铁氧体滤波器与电感器的功能是相同的。只是前者是吸收型的,后者是反射型的。铁氧体的高频滤波性能比电感器好,并且使用起来更加方便灵活。根据不同的使用场合铁氧体滤波器可以做成多种形式,最常用的是磁环和磁珠。它们可以用在以下场合。

磁环可套在交流电源线对、直流电源线对、信号线对上,也可套在电缆线把上用于抑制共模噪声;

磁环可套在高频元件引脚上,防止电路产生高频振荡;

磁珠可串接在电源的正负导线中,用于抑制差模噪声。

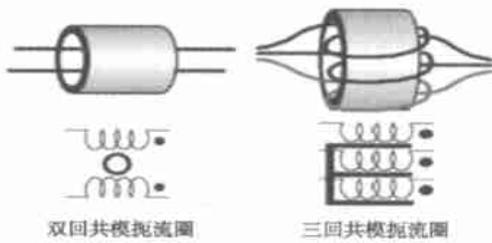


图 18 铁氧体滤波器及其等效电路

Fig. 18 Ferrite bead and its equivalent circuit

使用铁氧体磁环时应注意以下问题:

电缆或导线应与环内径密贴,不要留太大空隙。

磁环越长阻抗越大,如果一个不起作用可以多穿几个磁环。

有时为增加阻抗可以把导线在磁环上多绕几圈(如图 18 所示),增加匝数。但由于匝与匝之间存在分布电容,所以一般最多绕 2~3 匝。

磁环内的导线如流过直流或低频交流电流的强度较大则会使其滤波作用失效。

磁珠比较适用于低阻抗电路。但是,如果能在磁珠后面再再接一个电容组成类似 L - C 滤波器来降低负载阻抗,则磁珠的滤波效果会明显增加,也可用于负载阻抗稍高的电路了。

#### 4 结语

侵入设备的共模骚扰主要由地环路引起,因此在设计上采用平衡电路或设法切断地环路可以提高设备的抗干扰性能。设备内的共模骚扰通过连接线向外辐射,相当于一副不对称振子天线,可以使用共模滤波、加铁氧体磁环或电缆屏蔽等方法在“天线”上采取措施,但最根本的还是应该在印刷电路板设计、元器件布置和连接线的安排上下功夫,以抑制共模骚扰源的产生。在设备设计阶段就考虑共模骚扰问题并提前采取措施,才能达到事半功倍的效果。

#### 参考文献:

- [1] 沙斐. 机电一体化系统的电磁兼容技术 [M]. 北京: 中国电力出版社, 1999.
- [2] Keith Armstrong. Design Techniques for EMC Part 3: Filters and Surge Protection Devices [M/OL]. 1999. <http://www.compliance-club.com/archive1/990609.html>.
- [3] Franco Fioro. Electromagnetic Emissions of Integrated Circuits [M/OL]. <http://www.bolton.ac.uk/technology/mind/corep/emissions/emissions.html>.

收稿日期: 2002-06-11; 修回日期: 2002-06-27

#### 作者简介:

刘萍(1979-),女,硕士生,研究方向为电磁兼容;

沙斐(1946-),男,教授,博士生导师,研究方向为电磁兼容。

### Generation and suppression of common - mode disturbance

LIU Ping, SHA Fei

(EMC Research Section of Northern Jiaotong University, Beijing 100044, China)

**Abstract:** Common mode disturbance is always the chief criminal of the working failure of electronic and electric appliances. It can also make the radiated emission test of the appliances over limit. There are two categories of it: one is the common mode disturbance intruding into the equipment; the other is that radiating from the equipment. Applying the balance circuit and cutting the ground loop can choke the former one that mainly caused by ground loop. The latter is emitted through the connecting cables that are equivalent to the asymmetric element antennas. So common mode filters and shielding cables can be used on the “antennas” to reduce the radiation. But most attention should be put on the PCB design, elements position and line connection, which can suppress the source of the common mode disturbance. This paper deals with a comprehensive and detailed introduction about the classification, cause, behavior and suppression methods of the common mode disturbance combining theory with examples.

**Key words:** common mode disturbance; ground loop; common mode radiation; common mode choke

热烈祝贺中国高校电力系统及其自动化专业  
第十八届学术年会在武汉海军工程大学圆满召开