

介绍

噪声是电气设备设计人员担忧的一个重要问题，因意外的或不明的噪声源所引起的电子设计故障并不罕见。美国联邦通信委员会（FCC）和其他管理机构严格执行其噪声要求，这就使噪声成为决定一台电子设备最终成败的关键因素。此文件将论述与电气和电子设备有关的噪声的一些重要属性，特别是低信号数据线设备，数字设备就是其中一种。此外还会对一些简单的滤波方法进行讨论。

噪声源

功率转换器是众所周知的噪声源；它们通常产生共模（相对于地线，出现在所有信号和共用线上）和差模噪声（出现在信号和回路之间）。来自功率转换器的噪声在开关频率的谐波中往往占据了大部分，但也会有一些宽带噪声。由于功率转换器都在低信号电路的附近，它将是决定数据线系统总体可靠性的一个主要因素。由于温度（热噪声）、不同材料的接触（接触噪声）和接线装置的电子空穴移动（散料噪声），半导体装置可以成为噪声源。数据线系统模块的磁性元件（例如，功率转换器的变压器或其他高 Q 元件）可以通过振铃产生噪声。

设备的逻辑电路是另一个重要的噪声源。逻辑电路开关时，局域电源可短暂间对地短路，直接对地面和直流电源产生噪声，影响整个电气系统。

内部噪声有很多来源，位于数据线电路的附近，如相邻的电路板或周围的磁性元件（变压器、混频器等等）。半导体噪声也可扩散到临界敏感的逻辑线，进入或来自于数字系统时钟和进入到数据线。

外部噪声可产生于设计控制范围外的许多来源。高频噪声可发生在输电线上，重叠在 60 Hz 的信号而通常不影响电力线路，但对数据线传输而言很危险。

辐射噪声会冲击一台电子设备的许多部件，特别是通过无屏蔽的电缆或没有有效接地的外壳。电缆是产生电磁干扰的一个重要因素。电缆通常是电路元件和模块之间最长的线路，这就为形成一个环形天线来辐射和接收外部产生的噪声场提供了有利的条件。

噪声信号

图 1 所示的是一个典型的适于工厂情形的 60 Hz 线路电压（110 Vrms）的实际正弦波。波形包含

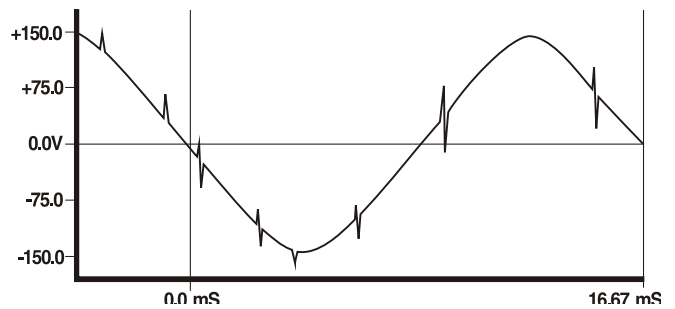


图 1. 工厂线路源

远远高于线路频率的随机噪声电压。图 2 所示的是 60 Hz 波形的 2 ms 部分，噪声脉冲短于 5 μ s，达到 50 V 的峰值。在波形图的析象范围外还可能

存在更高频率的噪声。受污染的线路电流直接传导至与该噪声源机器连接着相同线路的其他机器和装置；噪声电压也可以透过从这些机器周围的空气辐射来测量到。

线路滤波器一般置于敏感设备的前端以改善上面提到的 50 V 高频工厂噪声情形。通常，一个线路滤波器由一个低频共模磁体构成，它允许（差分）线路电流自由通过而不会使磁性材料饱和（差分模式

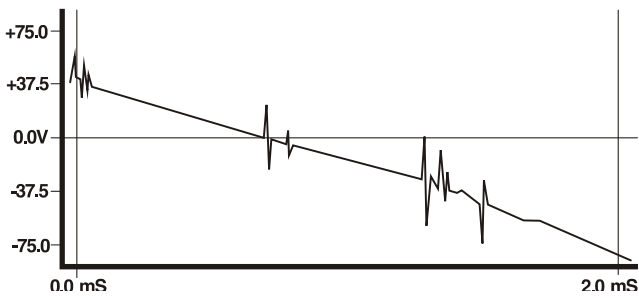


图2. 线路的2 mS 部分

产生的磁通线路相互抵消；这是共模电磁设计的一个主要方面)。然而，线路源和回线的共同噪声会被衰减。

线路滤波器是通过大幅削减约达 10 MHz 的频率来清理进来的 60 Hz 线路信号，超过此频率，衰减有效性就变得越来越差（图 3）。高频线路偏差的情

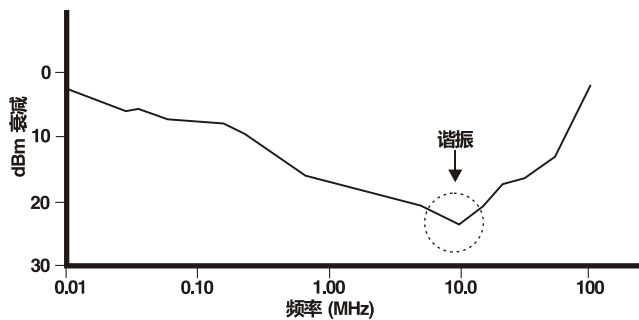


图3. 典型的线路滤波器响应

况的确存在，经常会避开线路滤波，影响数据线设备低压数据传输的完整性。特别易受影响的是设备间的数据传输。另一个问题是，事实上工厂使用的设备所需符合的噪声要求相对没有那么严格，尽管这些机器有可能影响其他较为敏感的机器（图4）。

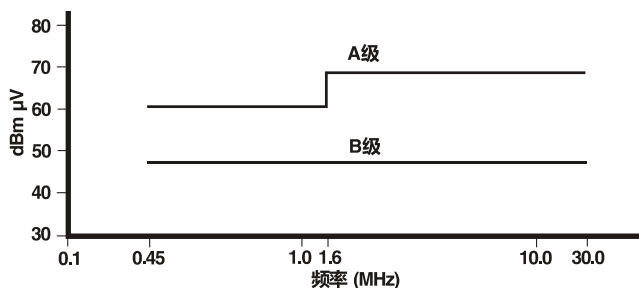


图4. FCC 噪声极限

当然，许多数据线装置和设备并不用于工厂的恶劣环境。例如，要求符合 FCC 的 B 级极限的设备通常不需要应付电线上所发生的 50 V 噪声；然而，B 级装置对当前数据线设备环境的低强度/很高频率的噪声越来越敏感（图 4）。对在高时钟速率和波特率下运转的设备噪声尤其敏感。

数据线设备的系统时钟是设计工程师关注的一个问题。图 5a 显示的是一个有寄生高频成分和潜在问题区域的 20 MHz 时钟信号。图 5b 显示的是一个没有噪声的 20 MHz 时钟信号。

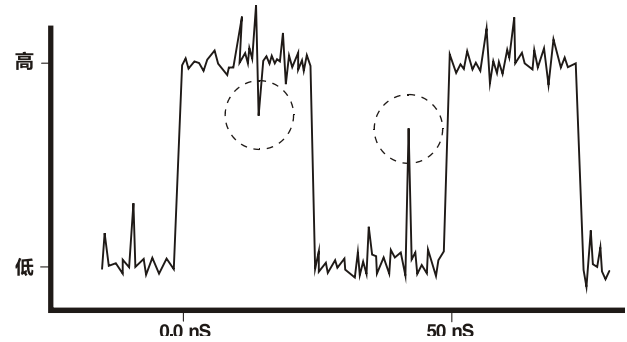


图5a. 有高频噪声的20 MHz 时钟

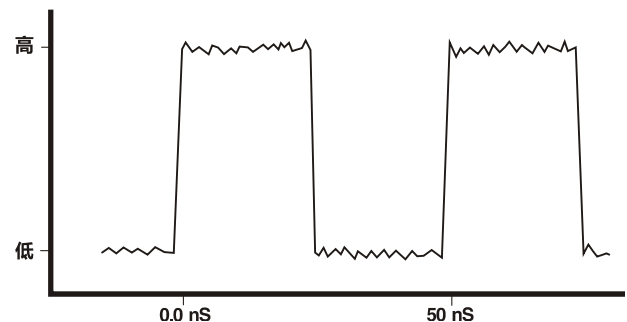


图5b. 干净的20 MHz 时钟信号

无论是在局域网络内或是通过外部设备如调制解调器来实现的机器对机器的通信，设备间的数据传输都可能被未加抑制的噪声所中断和污染。

滤波概述

对于噪声问题，明显的解决方法是消除来源，但这通常是不可能的。设备内发出的噪声几乎是设计关键模块的附带效应。其次的方法是在尽可能靠近源

头处消除噪声。噪声源有时候很明显。例如电源，此处产生大量噪声是符合逻辑的。有时候噪声源根本不能够预见；此外，噪声源的确切影响通常是虚幻的，并且只是偶尔明显而已。解决噪声问题的方法是防止其对易受影响的系统和子系统造成影响。在确定和滤除明显的噪声源后（如，电源输出），下一步是保护敏感设备和元件的输入。除了设备可以持续忍受的噪声外，不允许更多的噪声进入到敏感设备。通过滤除敏感元件的输入，难以捉摸和控制的噪声源对于设备的运作来说就变得没那么重要了。

滤波是噪声问题的现成解决方法。数字设备和敏感元件可以抵挡从设备的子系统及其外部环境所发出的细微噪声。传导噪声通常会产生外源场，将噪声辐射到设备和元件，进而将传导噪声引导入这些设备和元件。同时，频率越高，中断所需的能量就越少。用于传输数据线信号的电缆对外部噪声特别敏感，包括传导噪声和辐射噪声。因为数据线信号实质上是有预定转换幅度的方波（如，0.8V 和 2.0V 的 TTL，图 6），如果噪声脉冲突然发生在电缆的近电场或在电缆附近辐射，在电缆的接收端会造成数据错误。

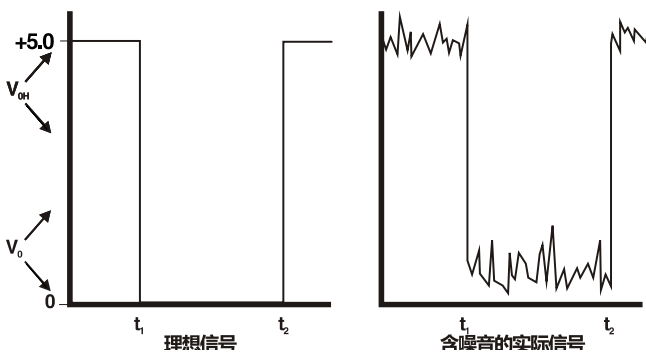


图6. TTL信号

滤波技术

噪声脉冲是由高频成分的瞬时能量造成的。由于噪声脉冲由高频能量组成，在接收逻辑信号之前所有高频噪声的彻底衰减将能保持原始信号的完整性。

同样地，削减传输电缆前端的所有高频成分信号，将能清除任何传输前数据线系统内受噪声影响的信号。同时，数字时钟的逻辑幅度必须准确和纯正。时钟信号能够受益于高频噪声衰减，使数据线系统不会处于假态和免于逻辑转换。

磁性滤波

通常在电缆中发生的电磁干扰问题的解决方法根本在于磁性方面。电缆是由电缆的信号线和回线电流失谐产生的环形天线。如果电缆方案中的信号线和回线是处在相同的位置，信号线中传导电流产生的电场将完全抵消回线的传导电流产生的电场；当然， 180° 的理想电流倒向是不可能实现的，因此对于任何电缆布线我们必须有一个限定的辐射量。

绞合电缆的信号线和回线可将环形天线结构拆分成多个小的环形天线，得到两种有用的结果：1) 产生/接收的电场的谐振频率大幅增加，2) 允许相邻和反向电场相互抵消。增加噪声频率有时候有用，但不是一个彻底的解决办法，因为适用的噪声频率范围在几百兆赫内。

带状电缆一般不适合上述的绞合方法，除非使用特殊的预先绞合的带状电缆（带状线是成对绞合的），但是要减少辐射/接收的噪声就有必要把回线和各信号线安置在直接相邻的位置上。电磁干扰工程师未必会允许任意决定实际的带状电缆线布置；通常是在事后才解决噪声问题，基本配线在设备的设计中就已被确定。

数据线系统的滤波，特别是当电缆和其他信号线是保护对象时，通常是通过外部磁场来成功地实现。在电线周围建立一个磁场可通过电线转移信号传播中的高频能量。沿着传导途径适当地增加电线或电缆的电感就能够建立和扩大磁场。增加电感最简单的方法是将电缆或电线组成许多回路。然而，要获取有效的电感（从而实现噪声频率的适当衰减），需要数十甚至数百个回路。需要大量的回路来获取有效的磁场，是因为只利用了空气来维持磁场。幸好可以使用磁性材料，其导磁率是空气导磁率的几

千甚至几万倍。磁性材料能够在电线和电缆回路极少的情况下大大地增加电感。

磁珠通常用于滤波，经常用于平衡-不平衡变压器的双孔磁芯也用于共模滤波。一条铜线穿过平衡-不平衡变压器中的一个孔就能有效地形成一圈（图7）。使用平衡-不平衡变压器的优势在于它的简便：

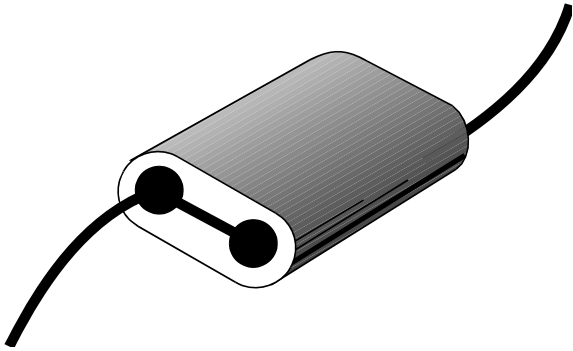


图7. 双孔滤波器

一条线，一粒珠。可惜一粒磁珠不能为众多数据线系统削减高频噪声。可以将几粒珠串在同一条线上以增加衰减。但是，在一条线上使用串珠，或在含多条线的一根电缆上使用多粒珠会使设计变得困难并且会对实现可重复的设计造成一些问题。而且，每粒磁珠与其他磁珠相绝缘，这些磁珠在支持差分信号的同时不能够削减宽带共模噪声。

共模噪声的问题是很真实的，并且有些难以捉摸。由于它出现在接地面的所有信号线上，只当接地测量时，它才会在电子系统中变得明显。

在一台设备中，虽然共模噪声很真实，却难以察觉。一台电子设备的每个子系统都有半绝缘的地面，可能会显示共模噪声、信号完整性受损和无效的电气参考征兆。同样地，当同时使用有独立的地面参考的绝缘设备时（如，通过公共信号线来通信），来自每台设备的共模噪声又成了问题。大磁环结构可

以用于电缆滤波，类似于磁珠的方式，将此结构置于整根电缆的周围（图8）。虽然使用一个大磁环

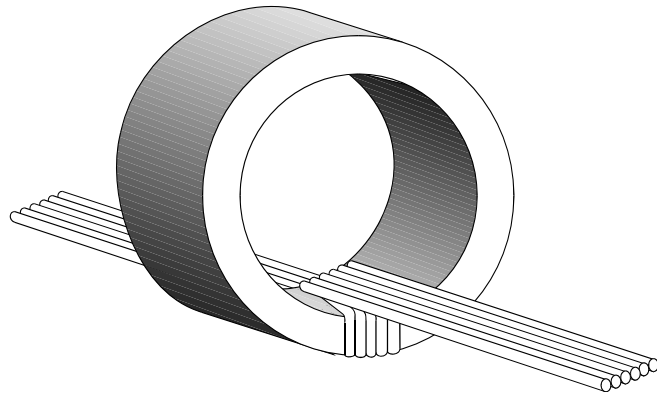


图8. 用大磁环结构来滤波

能够实现共模噪声衰减，但是它可能会缺乏磁性能力而需不止一次通过大磁环来形成电缆回路（来增加电感），存在物理局限性，从而无法为电缆提供有效的保护。

保护数据线系统免受噪声影响的另一个方法是使用特殊的电缆接头，它的设计具有电容性或磁性。因此提供的保护局限于外部连接。电容式接头通常比等效的磁性接头贵。磁性接头在设计上的一个优势是共模。而且还有多线共模元件。此类元件是磁性的，与带状电缆兼容，易于设计到电路中。这些多线共模“数据线”滤波器能够在标准的双列直插封装（DIP）和表贴结构中获取。

经验之谈

数据线系统的一个成功滤波设计应具备如下特点：

- 1) 滤波方法必须能够维护信号的完整性。
- 2) 滤波方法应能在任何关键的电路上明显增强磁场。
- 3) 滤波方法必须能够有效地削减所有高频噪声以及宽带共模噪声。

- 4) 滤波方法必须与标准的电缆布置相匹配，包括带状电缆和各种信号线。
- 5) 最理想的是，滤波方法应易于实施，容易取得和可重复。

结语

噪声源在很多环境中都普遍存在。特别严重的是在工厂环境中，瞬态高频/高强度噪声入侵到电力干线中。稍微好一点的情况，可在敏感设备的电源中找到此类噪声。在工厂以外的环境，功率转换器噪声也可以是很明显的，为此实施更为严格的管理机构噪声极限标准。

损害敏感设备特别是数据线设备的可重复性和完整性的各种噪声在本质上有两种：共模和差模。以共模噪声为主。要成功地滤除两种噪声，使用磁场方案最为适宜。当受影响的线路通过公共的磁结构耦合在一起时，能有效地减少共模噪声。磁珠只对差模噪声有效。

一套成功的滤波方案应该在传输前和接收敏感信号前安置滤波器（如，传输电缆前端和末端）。滤波器应能产生可重复的结果并且在高频带宽中产生效果。