

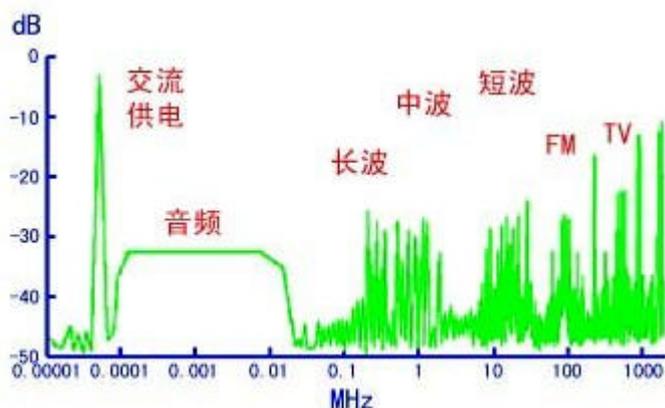
## EMC 设计技术-经典文章推荐

### 频谱利用及潜在的干扰

图 14 给出了日常生活中常用的频率范围，包括交流电源频率、音频、长、中、短波收音机占有的频段、调频及电视广播、蜂窝电话常用的 900MHz 及 1.8GHz。但实际的频谱远比这拥挤得多，9KHz 以上的频段几乎都被用于特定的场合。随着微波技术广泛应用于日常生活，该图中所示的频率也很快将扩展至 10GHz（甚至 100GHz）。

图 15 在图 14 上覆盖了一些大家不太熟悉的频谱，这些频谱是普通电气及电子设备所发射的。

 此主题相关图片如下：



 此主题相关图片如下：

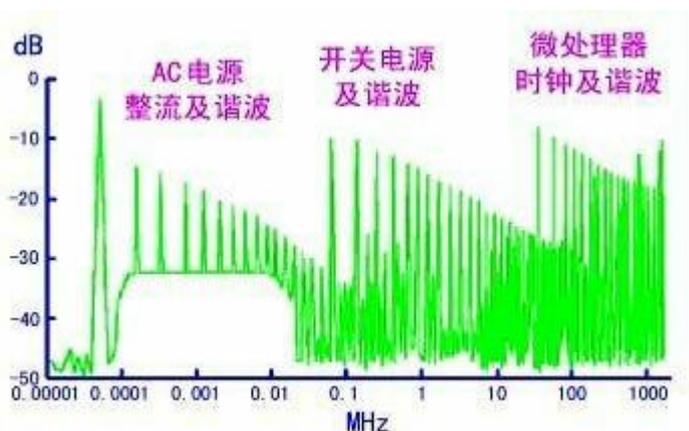


图 15 叠加我们产生的干扰后的频谱

交流电源整流器件在基频至相当高的谐波频率范围内均可发射开关噪声，具体情况取决于这些器件的功率。5 千伏安左右的电源（线性或开关模式）由于其 50 或 60Hz 桥式整流所产生的开关噪声，通常在数 MHz 频率以下不能满足传导发射的限制要求。可控硅直流电机驱动装置及交流移相控制系统所产生的噪声也大致如此。这些噪声极易干扰中长波和部分短波广播。

开关电源的工作基频一般在 2kHz 至 500kHz 之间。开关电源在其工作频率 1000 倍的频率处仍具有很强的发射是常见的。图 15 给出了个人计算机中常用的频率为 70kHz 的开关电源的发射频谱。这将干扰包括调频广播在内的广播通信。图 15 中还给出了由 16MHz 时钟微处理器或微控制器产生的典型发射频谱。这些器件的发射通常会在 200MHz 甚至更高的频率超过发射极限值。目前，由于个人计算机采用 400MHz 甚至 1GHz 以上的时钟频率，因此数字技术必然会对高端频谱产生干扰。

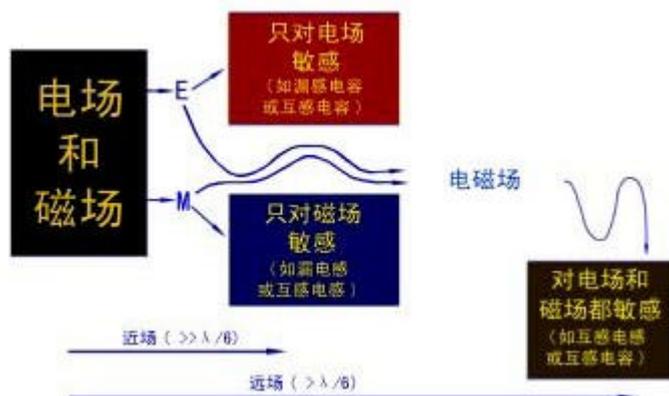
之所以会发生以上各种现象，是因为所有导体都是天线。它们把传输的电场转变成电磁场，然后泄漏到广阔的环境中。同时，它们也能把其周围的电磁场转变成传导信号。这是放之四海而皆准的真理。因此，导体是信号产生辐射发射的主要原因，也是外来场使信号受到污染的原因（敏感度和抗扰度）。

### 2.2 导体的泄漏与天线效应

电场（E）由导体上的电压产生，磁场（M）由环路中流动的电流产生。导体上的各种电信号均可产生磁场和电场，因此，所有导体都可将其上的电信号泄漏至外部环境中，同时也将外部场导入信号中。

在远大于所关心频率的波长 ( ) 的  $1/6$  处, 电场和磁场汇合成包含电场和磁场的完整电磁场 (平面波)。例如: 对于 30MHz, 平面波的转折点在 1.5m; 对于 300MHz, 平面波的转折点在 150m; 对于 900MHz, 平面波的转折点在 50m。因此随着频率的增加, 仅仅把导体视为电场或磁场的发射和接收器是不够的, 如图 16 示。

此主题相关图片如下:



随频率增加的另一个效应是: 当波长 ( ) 与导体的长度比拟时, 会发生谐振。这时信号几乎可以 100% 转换成电磁场 (或反之)。例如, 标准的振子天线仅是一段导线, 但当其长度为信号波长的  $1/4$  时, 便是一个将信号转变成场的极好的转换器。

虽然这是一个很简单的事实, 但对于使用电缆及连接器的技术人员而言, 认识到所有的导体都是谐振天线这一点很重要。显然, 我们希望它们都是效率很低的“天线”。如果假定导体是一个振子天线 (很适合我们的目的), 我们就可以利用图 17 来帮助我们分析。

此主题相关图片如下:

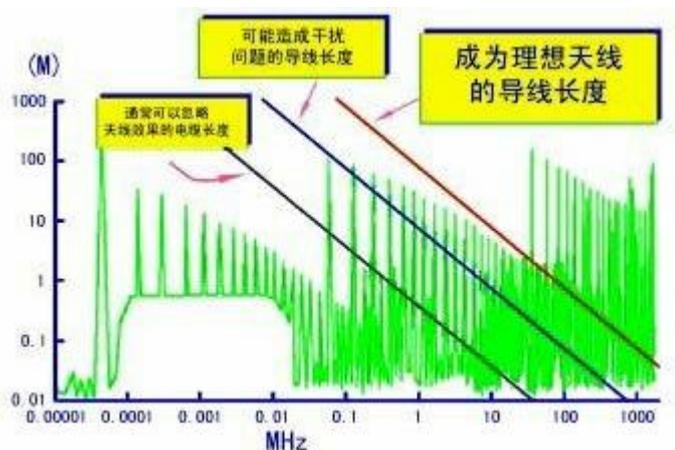


图 17 电缆长度与天线效率

图 17 的纵轴表示导体长度 (单位: 米), 为了便于观察, 将图 15 的频谱复制出来。最右边的斜线给出了导体成为理想天线时导体的长度与频率的关系。

很明显, 在常用的频段内, 即使很短的导体也能产生发射和抗扰度问题。可以看到, 在 100MHz 处, 1 米长的导体就是很有效的天线, 在 1GHz 处, 100mm 的导体就成为很好的天线。这个简单的事实就是使 EMC 被称为“黑色艺术”的主要原因。

前几年, 日常生活中广泛使用的频率都较低, 典型的电缆不能成为很有效的天线, 这就是为什么电气配线“惯例”趋于过时的原因。

图 17 中, 中间的斜线表示虽然导体没有成为高效的“天线”, 但仍有可能引起问题的导体长度。左边的斜线表示导体的长度极短, 其天线效应可忽略的情况 (特别严格的产品除外)。有人说: “没问题, 我已经接地了”, 你听这话多少次了? 在 EMC 业界人士中, 射频是色盲是经常的笑话。因此不能将传输射频信号的黄/绿色导线 (美国标准中规定安全地线为黄/绿色) 想象成很好的地, 并且, 所有用于接地的导体也都是天线。

### 2.3 所有电缆受其固有电阻、电容、电感影响

暂时不考虑场和天线的作用，先看下面几个简单的例子。这些例子可以说明：在常用的频率范围内，与理想状态微小的偏差也会导致导体上所传输的信号出现问题。

\* 直径 1mm 的导线，在 160MHz 时，其电阻是直流状态时的 50 倍还要多，这是趋肤效应的结果，迫使 67% 的电流在该频率处流动于导体最外层 5 微米厚度范围内。

\* 长度为 25 mm，直径为 1 mm 的导线具有大约 1pF 左右的寄生电容。这听起来似乎微不足道，但在 176MHz 时呈现大约 1kΩ 的负载作用。若这根 25 mm 长的导线在自由空间中，由理想的峰-峰电压为 5V、频率为 16MHz 的方波信号驱动，则在 16MHz 的十一次谐波处，仅驱动这根导线就要 0.45mA 的电流。

\* 连接器中的引脚长度大约为 10mm，直径为 1 mm，这根导体具有大约 10nH 左右的自感。这听起来也是微不足道的，但当通过它向母线总线传输 16MHz 的方波信号时，若驱动电流为 40mA，则连接器针上的电压跌落大约在 40mV 左右，足以引起严重的信号完整性和/或 EMC 方面的问题。

\* 1 米长的导线具有大约 1μH 左右的电感，当把它用于建筑物的接地网络时，便会阻碍浪涌保护装置的正常工作。

\* 滤波器的 100 mm 长的地线的自感可达 100nH，当频率超过 5MHz 时，会导致滤波器失效。

\* 4 米长的屏蔽电缆，如果其屏蔽层以长度为 25mm“小辫”方式端接，则在 30MHz 以上的频率就会使电缆屏蔽层失去作用。

经验数据：对于直径 2 mm 以下的导线，其寄生电容和电感分别是：1pF/英寸和 1 nH/毫米（对不起没有统一单位，但这更容易记忆）。其简单的算术关系式如下：

 此主题相关图片如下：

$$Z_C = \frac{1}{\sqrt{2\pi f C}} \quad Z_L = 2\pi f L$$

### 2.4 避免使用导体

以上的种种分析表明：随着频率升高，电缆的问题越来越多。用它来完整地传输信号和防止它产生泄漏越来越困难。

即使对诸如音频之类的低频信号，电缆也开始呈现越来越多的问题。由于所有的半导体器件在直到数百 MHz 的频段（即使象 LM324 之类的低速运放）内都具有晶体检波器的特性，所以电缆天线效应会使音频信号不知不觉地受到污染。

因此，从以最经济的手段满足 EMC 要求的角度来说，最好彻底避免金属电缆和连接器。可以使用非金属导线进行通信，目前已经有许多类似的产品出现，包括：

- \* 光纤（更适宜非金属导线场合）
- \* 无线通信（例如：Bluetooth；局域网）
- \* 红外（例如：IrDA）
- \* 自由空间微波和激光通信（例如：两建筑物之间）

#### 2.4.1 非导体产品的成本/效益分析

许多设计人员认为：只有采用传统的电缆和导线才能压缩成本。但当考虑到一个完整项目的成本、产品或系统的可靠性和电磁兼容性、安装等诸多因素时，经常可以发现，光纤或无线通信的总成本较低。当然，这时一切都晚了。

对于信号电缆及连接器而言，除了最简单的电子产品以外，原材料价格与销售价格没有什么必然的联系。对信号完整性、EMC 兼容性、过充电的危险、高返修率的风险、质量投诉、产品滞销等方面进行正确的成本/效益分析是十分必要的。

设计工程师们不愿考虑他们设计出的产品所具有的商业风险，但他们是唯一决定产品是否具有竞争力的人（通常需求是由市场人员提出）。但是，如果电子工程师们一味地只考虑产品的功能参数和原材料价格，那么，他们将失去竞争优势，同时还会承受不可预测的商业风险。