

电磁兼容基本知识

一、术语定义

1. 额定电压

EMI 滤波器用在指定电源频率的工作电压（中国：250V, 50Hz，欧洲：230V, 50Hz；美国：115V, 60Hz）

2. 额定电流

在额定电压和指定温度条件下（常为环境温度 40℃），EMI 滤波器所允许的最大连续工作电流（ I_{max} ）。在其他环境温度下的最大允许工作电流是环境温度的函数，可用如下公式

得出：
$$I_{op} = I_{max} \sqrt{(85 - \theta) / 45}$$

3. 试验电压

在 EMI 滤波器的指定端子之间和规定时间内施加的电压。试验电压分为两种，一种是加载在电源（或负载）端子之间，称为线-线试验电压；另一种是加载在电源（或负载）任一端与接地端（或滤波器金属外壳）之间，称为线-地试验电压。

4. 泄漏电流

EMI 滤波器加载额定电压后，断开滤波器的接地端与电源安全地线的条件下，测得接地端到电源（或负载）任一端间的电流，该值直接与接地电容的容量有关，可由如下公式得出：

$$I_{LC} = 2 \times \pi \times F \times C \times V$$

其中，F 为工作频率，

C 为接地电容的容量，

V 为线-地电压

5. 插入损耗

是衡量滤波器效果的指标。指的是在一定条件下，EMI 滤波器对干扰信号的衰减能力。它用滤波器插入前信号源直接传送给负载的功率和插入后传送给负载的功率的对数来描述。在 50Ω 系统内测试时，可用下式来表示：

$$IL = 20 \lg(E_0/E_1)$$

其中，IL-插入损耗（单位：dB）；

E₀-负载直接接到信号源上的电压；

E₁-插入滤波器后负载上的电压

6. 气候等级

指 EMI 滤波器的工作环境等级，按 IEC 规定应按以下方式标注：XX/XXX/XX

前 2 位数字代表滤波器的最低工作温度

中间数字代表滤波器的最高工作温度

后 2 位数字代表质量认定时在规定稳态湿热条件下的试验天数

7. 绝缘电阻

绝缘电阻是指滤波器相线，中线对地之间的阻值。通常用专用绝缘电阻表测试。

8. 电磁干扰 (EMI)

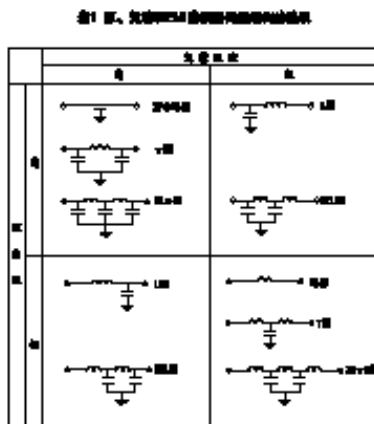
电磁干扰经常与无线电频率干扰 (RFI) 交替使用。从技术上来说, EMI 指的是能量形式 (电磁), 然而 RFI 指的是噪声频率的范围。滤波器用以消除 EMI 和 RFI 中的多余电磁能。

9. 频率范围

电磁能量的频率带宽常用赫兹 (Hz, 每秒循环次数), 千赫 (KHz, 每秒循环千次数) 表示。电源滤波器的典型频率范围在 150kHz to 30MHz (超过 30MHz, 即为辐射)

10. 阻抗失配

为了达到更好的滤波效果, 要使滤波器与它的源阻抗和负载阻抗失配。如图所示。



11. 工作频率

电源滤波器的工作频率标称值为 50/60Hz (中国、欧洲等为 50Hz; 北美为 60Hz)。然而, 电源滤波器在直流或 400Hz 的情况下工作, 并不会损害其效力。

二、滤波器的作用

1. 什么是射频干扰 (RFI) ?

RFI 是指产生在无线电通讯时, 所用频率范围内的一种多余的电磁能。传导现象的频率范围介于 10kHz 到 30MHz 间; 辐射现象的频率范围介于 30MHz 到 1GHz 间。

2. 为何要关注 RFI?

之所以必须考虑 RFI, 基于两点原因: (1) 他们的产品必须在其工作环境下正常运行, 然而该工作环境常常伴随有严重的 RFI。(2) 他们的产品不能辐射 RFI, 以确保不干扰对健康及安全都至关重要的射频 (RF) 通讯。法律已对可靠的 RF 通讯做出了规定, 以确保电子设备的 RFI 控制。

3. 什么是 RFI 的传播模式?

RFI 是通过辐射 (电磁波在自由空间里) 进行传播的, 并经信号线及 AC 电源系统进行传导。

辐射—将 RFI 从电子设备辐射出去的一种最主要的媒介是 AC 电源线。由于 AC 电源线的长度达到了数字设备中及开关电源的频率对应波长的 1/4, 这正好构成了一支有效的天线。

传导—RFI 在 AC 电源系统上是以两种模式进行传导的。共模（不对称）RFI 是在线-地（L-G）及中性线-地（N-G）两种路径中出现，而差模（对称）RFI 则以电压形式出现在线-中性线（L-N）上。

4. 什么是电源线干扰滤波器？

随着当今世界的迅速发展，越来越多的高功率电能产生了，与此同时越来越多的低功率电能被用于数据的传输与处理，以致于产生了更多的影响，甚至破坏电子设备的噪声干扰。

电源线干扰滤波器是一种主要的滤波手段，用以控制从电子设备进入（潜在的设备误动作）和出来（对其他系统或 RF 通讯潜在的干扰）的 RFI。通过控制 RFI 导入电源插头，电源线滤波器还大大抑制了 RFI 的辐射。

电源线滤波器是一种以双低通道滤波结构排列的、多通道网络无源元件。一种网络用于共模衰减，另一种用于差模衰减。网络在滤波器的“止频带”（通常在 10kHz 以上）内提供 RF 能量衰减，而对通过的电流（50-60Hz）基本上不进行衰减。

5. 电源线干扰滤波器是如何进行工作的？

作为无源、双边的网络，电源线干扰滤波器具有复合的转换特性，这种特性极大地取决于源及负载阻抗。转换特性的量值说明了滤波器的衰减性能。然而，在电源线环境中，源和负载阻抗是不确定的。因此工业上已有了验证滤波器一致性的标准做法：用 50 欧姆的阻性源及负载端测量衰减程度。该测量值定义为滤波器的插入损耗（I.L.）

$$I.L. = 10 \log * (P(I)(Ref)/P(I))$$

这里 $P(I)(Ref)$ 是从源转化到负载的功率（不带滤波器）；

$P(I)$ 是在源与负载间插入一个滤波器后的转换功率。

插入损耗还可用如下电压或电流比的形式表示：

$$I.L. = 20 \log *(V(I)(Ref)/V(I)) \quad I.L. = 20 \log *(I(I)(Ref)/I(I))$$

这里 $V(I)(Ref)$ 及 $I(I)(Ref)$ 是无滤波器时的测得值，

$V(I)$ 及 $I(I)$ 是带滤波器时的测得值。

值得引起重视的插入损耗并不代表在电源线环境中，由滤波器提供的 RFI 衰减性能。在电源线环境中，源及负载阻抗的相对量值必须进行估计，并选择适当的滤波结构，使在每个终端出现最大可能的阻抗不匹配。滤波器取决于终端阻抗的这种性能，是“不匹配网络”概念的基础。

6. 如何进行传导试验？

传导试验需要一个安静的 RF 环境--一个屏蔽罩壳-一个线阻抗稳定网络，和一个 RF 电压仪器（如调频接收器或频谱分析仪）。试验的 RF 环境应至少低于所需规范限制的 20dB，以便得出精确试验结果。需要线阻抗稳定网络（LISN）来为电源线输入建立一个所要的源阻抗，由于该阻抗直接影响到测得的辐射等级，因此是试验程序的一个非常重要的部分。此外，测量接收器正确的宽带也是试验的一个关键参数。

三、滤波器参数和测试方法

1. 什么是电源滤波器的重要规格参数？

对供方或客户来讲，为了保证合格元件的使用不受干扰，采用同样的技术来验证电气参数是相当重要的。必须清楚理解的三种参数是：高压测试、泄漏电流和插入损耗。

2. 如何测量插入损耗？

最常见的设置是使电源和阻性负载阻抗均为 50Ω 。插入损耗的测量最重要的一点是一致性，具体测试方法如下：

使用频谱分析仪，或调频接收器或跟踪发生器，在不带滤波器时建立一个零 dB 参考点。然后插入滤波器，记录在所需频率范围内提供的衰减。

对于电源线滤波器，我们感兴趣的是两种不同模式的衰减：

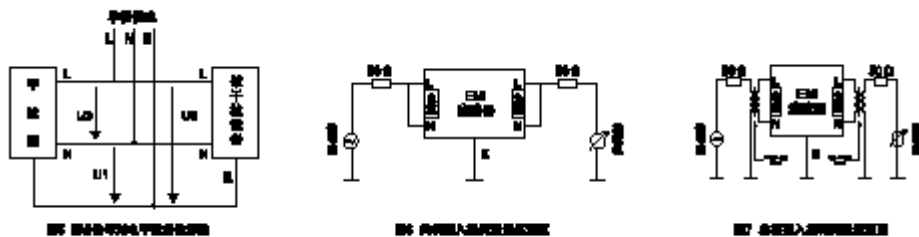
共模 (CM) 干扰信号--相线 (L) 与地 (E) 和中线 (N) 与地 (E) 间的信号。即图 5 中的 U1 和 U2。

差模 (DM) 干扰信号--相线 (L) 与中线 (N) 间的信号。即图 5 中的 U3。

由于电源滤波器既能抑制共模 EMI 信号，又能抑制差模 EMI 信号，所以插入损耗也应有共模插入损耗和差模插入损耗。

在测量共模插入损耗时，将滤波器电源端的 L 和 N 并在一起，信号源接在电源端和接地端之间。同时滤波器负载端的 L 和 N 也并在一起，接收机接在电源端和接地端之间，如图 6 所示。

在测量差模插入损耗时，要分别在信号源和接收机端接入不平衡-平衡变换器和平衡-不平衡变换器，如图 7 所示。



本手册给出的共模和差模插入损耗是按上述规定测得的。还有其他插入损耗的测量方法，请参见相关资料。

需要说明的是，本手册提供的 EMI 滤波器的插入损耗与实际使用的滤波器的对干扰信号的衰减不会等同，有时还会相差甚远。这是因为本手册给出的插入损耗是在 50Ω 系统内测得的，而实际应用时 EMI 滤波器端接的阻抗不是 50Ω ，这是产生差别的根本原因。

3. 插入损耗有何作用？

标准插入损耗数据不能精确地得出滤波器在设备中的性能，但是可以作为进料检验时验证产品吻合性的重要手段。

判断标准为：以标准方式所测得的插入损耗必须满足或超过样本上的数据。也就是说，“典型”插入损耗数据是无意义的。您所测得的数据应为最小值。样本上的大多数插入损耗数据是其能保证的最小值，可以测试此值，以说明元件的符合性。

4. 什么是高压测试

高压测试针对的是滤波器的电容组件及绝缘部分，它通过施加一个比正常运行电压高许多的电压来测试。高压测试的目的在于确保该滤波器的安全及可靠性。

所有主要的安全机构都需要对电源线滤波器进行高压测试，另外还要求每个产品在生产时要进行高压测试，以验证线对地元件及绝缘体的整体性。每个滤波器都经过两次高压测试：一次是在组装过程中，一次是在装成成品后。将高压测试作为一种进料检验程序，需要全面地了解其使用及限制。

高压测试时电压施加于每根线（对 VDE，两根线绑到一起）到地和线到线、线到地电压通常要高些。试验电压可以为 AC 或 DC，DC 电压至少是 AC 电压的 1.414 倍。

对进料检验试验，我们建议使用每种滤波器说明页上的“试验电压”一栏所规定的值。

根据国际安全标准的规定，试验电压的测试步骤为：

- 1) EMI 滤波器的负载端不接负载
- 2) 施加到滤波器规定端子之间的试验电压应按一定的速率，逐步升高并达到规定幅值；
- 3) 在规定时间内保持该电压不变。在此过程中，滤波器不应该被击穿。

需要提请用户注意的是：

- 1) 这些电压可能是致命的，请采用最安全的措施来保护试验作业者。
- 2) 不能在滤波器上重复多次施加试验电压，否则会损坏滤波器。本公司生产的 EMI 滤波器在出厂时已全部进行了 2 次试验电压的加载测试，故根据中华人民共和国通信业标准 YD/T777-1999 中的第 5.5 款的规定，若用户验收滤波器要再次施加试验电压，应将电压幅值降低 25% 进行测试；
- 3) 试验电压必须按一定的速率逐步升高，最终达到规定幅值。不能用直接加试电压的方法来进行测试，即在很短的时间内把试验电压从零增加到规定幅值，会损坏滤波器。
- 4) EMI 滤波器在质量鉴定时，施加的试验电压时间为 1 分钟，而在生产检测时，施加的试验电压为 2-5 秒钟。
- 5) 对线到线高压测试：大多数滤波器具有一个泄漏电阻（典型值为 100KΩ 到 10MΩ）来对线到线电容放电。要保证高压测试仪跳闸点的设置高于泄漏电阻上流过的电流：10mA 通常是一个安全值。
- 6) 三相 EMI 滤波器的试验电压的试验方法同单相 EMI 滤波器。

5. 什么是泄漏电流

泄漏电流是电源线滤波器的一个重要参数。它虽不是产品品质的一个函数，但却是线对地电容值的一个直接函数。电容值越大，对共模电流的阻抗越小，共模干扰抑制越大。因此，泄漏电流是滤波器性能的一种指标，越高越好。

安全机构要指定最大允许泄漏电流是为了限制预期的接地返回电流值。线对地电容对 50Hz/60Hz 电流提供了流向机壳的通道。只要设备接地，这些电流将在接地回路中流动，并不会造成危险。但是大家要知道，接地回路再可靠，也存在概率极小的失效，此时接地回路的沟通可能经过人体。为避免这种情况的发生，最大泄漏电流参数必须有限制，将接地返回电流限制为一安全值，典型为 0.5 到 5.0mA。安全机构规定的限制是基于最终用户设备的参数，如下表所示：

国家	规范	对 1 级接地设备的限制
USA	UL1950	3.5mA,120V.60Hz
Canada	C22.2 No.950	3.5mA,120V.60Hz
Europe	EN60950	3.5mA,250V.60Hz

由于泄漏电流的最大来源通常是电源线滤波器，因此对滤波器本身，设置最大泄漏电流限制时要非常谨慎。在工业上有一种倾向，就是规定最小泄漏电流，以符合所有安规要求，通常为 0.5mA。这种规定不应随意决定，因为允许一个较大的泄漏电流可能使滤波器的成本降低、外形减小。

EMI 滤波器漏电流测量步骤如下：

- 1) EMI 滤波器的负载端不接负载。为了测试安全，建议在电源端插入隔离变压器。
- 2) 将单刀双掷开关 S 分别与滤波器的 L 和 N 端相连，在 S 和 E 端之间接毫安表。
- 3) 在 EMI 滤波器电源端加载额定电压，当 S 分别与 L 和 N 端接通时，从毫安表上可读到 2 个漏电流数值，这两个数值都必须小于规定的漏电流值。

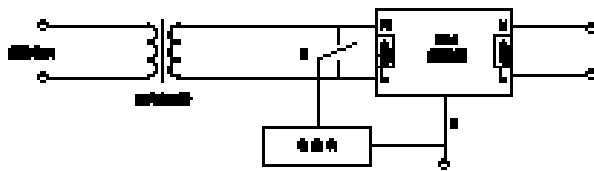


图4 滤波器漏电流测量

四、滤波器选择和使用注意事项

1. 如何选择电源线干扰滤波器？

有的顾客以为 EMI 滤波器的插入损耗越高越好，滤波网络的级数越多越好。其实这并不是选择滤波器的正确方法。此外，级数越多的滤波网络，价格越贵，体积和重量也越大。其实选择和评估电源线滤波器的唯一办法是将其装到设备上进行试验。正如上面所提到的滤波器，性能很大程度上取决于设备负载阻抗。而不能单一从阻抗（50Ω）插入损耗数据来推导，它是一项滤波元件阻抗与设备阻抗的复杂函数，其量值及相位在频率范围内有变化。滤波器选择试验所要求的传导辐射控制（FCC，VDE）及灵敏性控制的不同性能等级在设备上进行。

2. 是不是所有具有相同电路及元件值的滤波网络,性能都相同？

所有具有相同电路及元件值的滤波网络,性能并不一样.元件值是在某一频率(通常为 1KHz)时指定和测得的,而滤波器的性能是在整个频率范围内都需要的,而不仅仅在元件测量时的频率。元件的结构形式及接入滤波器的方法，对滤波器的性能都是相当重要的。

3. 安装对滤波器的性能重要吗？

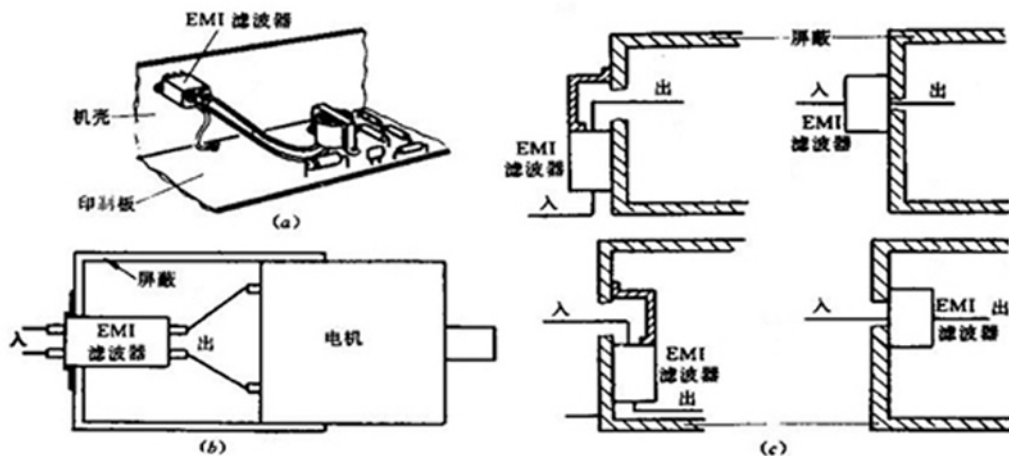
安装及接线对滤波器的性能影响较大。电源线滤波器最好安装在设备的电源线输入端。滤波器是高频信号的障碍，其作用决不能因离散电容耦合电源输入线与电源输出线或受保护设备的任何其它导体而失效。

在安装电源滤波器时，要注意以下几点：

- 1) 电源滤波器的外壳与设备地之间必须有良好的电气连接。不要把滤波器安装在绝缘材料板或喷漆表面上，要安装在金属机壳上。还要避免使用长接地线，这样会大大增加接地电感和电阻，从而严重降低滤波器的共模抑制性能。比较好的方法是：用金属螺钉与弹簧（星行）垫圈将滤波器的金属屏蔽外壳牢牢固定在系统电源入口处的机壳上，或用铜编织麻花接地带与地点相连。
- 2) 在捆扎设备电缆时，严禁将滤波器的输入输出电缆捆扎在一起。因为这样加剧了滤波器输入输出之间的电磁耦合，严重破坏滤波器对 EMI 信号的抑制能力。
- 3) 不要将滤波器安装在设备屏蔽的内部。因为这样，设备内部电路及元件上的 EMI 信号会因辐射在滤波器的端引线上生成 EMI 信号而直接耦合到设备外面去，使设备屏蔽丧失对内部电路和元件产生的 EMI 辐射的抑制。
- 4) 建议利用设备原有的屏蔽，将滤波器的输入输出端有效的隔离开来，将滤波器输入输出端间可能存在的电磁耦合控制到最低程度。

一般滤波器的壳体是接到所保护设备的框架或机壳上，线侧导线应保持短小并与负载侧导线很好地隔离。理想的隔离系统是壁装滤波器，带有进线插座。

滤波器的建议安装方式和注意事项如下：（图）



推荐的 EMI 滤波器安装方法

(a) 滤波器固定在设备机壳上；(b) 控制滤波器输入与输出端间的电磁耦合；

(c) 利用设备屏蔽控制滤波器输入与输出端间的电磁耦合。

3. 安规认证的标记和对应的标准



UL 认证
UL 1283



CSA 认证
CSA C22.2 No.8



Semko 认证
EN60939



VDE 认证
EN60939