

电源 EMI 滤波器的设计方法

1. 确定 f_{cn} 的一般方法

扼流圈截止频率 f_{cn} 要根据电磁兼容性设计要求确定。对于骚扰源,要求将骚扰电平降低到规定的范围;对于接收器,其接收品质体现在对噪声容限的要求上。对于一阶低通滤波器截止频率可按下式确定:

骚扰源: $f_{cn} = kT \times (\text{系统中最低骚扰频率})$;

接收机: $f_{cn} = kR \times (\text{电磁环境中最低骚扰频率})$ 。

式中, kT 、 kR 根据电磁兼容性要求确定,一般情况下取 $1/3$ 或 $1/5$ 。例如:电源噪声扼流圈或电源输出滤波器截止频率取 $f_{cn} = 20 \sim 30\text{kHz}$ (当开关电源频率 $f=100\text{kHz}$ 时);信号噪声扼流圈截止频率取 $f_{cn} = 10 \sim 30\text{MHz}$ (对传输速率为 100Mbps 的信息技术设备)。此外,对于输入电流有特殊波形的设备,例如接有直接整流 - 电容滤波的电源输入电路(未作功率因数校正(PFC)的开关电源和电子镇流器之类电器通常如此),要滤除 $2 \sim 40$ 次电流谐波传导干扰,噪声扼流圈截止频率 f_{cn} 可能取得更低一些。例如,美国联邦通信委员会(FCC)规定电磁干扰起始频率为 300kHz ;国际无线电干扰特别委员会(CISPR)规定为 150kHz ;美国军标规定为 10kHz 。

2. 噪声滤波器电路

当扼流圈插入电路后,其提供的噪声抑制效果,不但取决于扼流圈阻抗 Z_F 大小,也与扼流圈所在电路前后阻抗(即源阻抗和负载阻抗)有关。网络分析指出:在工作频率范围内,传输线输入输出阻抗匹配,可以最大限度传输信号功率;对于噪声,我们自然会想到插入噪声滤波器,使其输入输出阻抗在噪声频率范围内失配,以最大限度抑制噪声。因此,噪声滤波器结构和构成元件的选择要由噪声滤波器所在电路的源阻抗和负载阻抗而定。从这个意义上说抗 EMI 滤波器实际上是噪声失配滤波器。这里,我们特别提出噪声失配概念有利于对噪声与噪声滤波器相互作用的分析(见后面应用原理部分)。

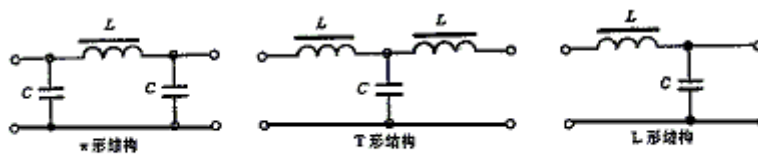


图1 噪声滤波器基本电路

噪声滤波器电路通常采用 π 形、T 形、L 形电路结构及他们的组合等,作成低通滤波器,基本电路结构形式如图 1 所示。一般来说,对于高频噪声, π 形结构可以提供低的输入输出阻抗,适于所在电路源阻抗和负载阻抗高的场合;T 形结构可以提供高的输入输出阻抗,适于所在电路源阻抗和负载阻抗低的场合;L 形结构可以提供高输入阻抗和低输出阻抗(或者相反),适于所在电路低源阻抗和高负载阻抗(或者相反)场合。滤波器构成元件 L 、 C 值的确定要满足电路对噪声频率插入损耗要求,可按下式近似计算:

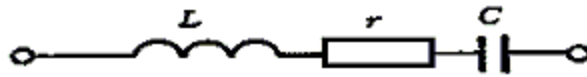
$$L = Z / (2 \times f_c), C = 1 / (2 \times f_c \times Z)$$

Z 为噪声扼流圈阻抗、滤波器输入或输出阻抗。应该指出，L、C 值计算只能是近似的。因为对于频率高到 100kHz 及其谐波，电路分布参数已经不能忽略，噪声滤波器对噪声的抑制效果实际上往往由实验确定。为方便设计计算，下面给出一个实际电容的阻抗频率特性和引线电感计算方法。考虑到电容损耗和引线电感影响，实际电容等效电路和阻抗频率特性如图 2 所示。引线电感由下式计算：

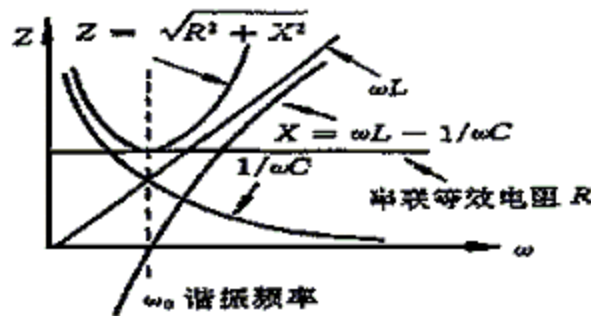
$$L = 0.002l[\ln(4l/d)-1]$$

式中，d 为导线直径(cm)，l 为导线长度(cm)，L 为电感量(μH)。

例如，长度 l=1cm 的 0.31mm 导线，L=0.0077 μH，当频率为 1MHz 时 Z=0.049；频率为 100MHz 时 Z=4.9。当 l=2cm 时，L=0.0182 μH，当频率为 100MHz 时，Z=11.44。



(a) 实际电容的串联等效电路



(b) 实际电容的阻抗频率特性

图2

3. 噪声滤波器应用原理

根据电磁兼容性要求选择、使用噪声滤波器的方法或程式不是唯一的。这要作为电磁兼容性设计过程的一部分，在电器设计、生产、调试中解决。尽管如此，在设计使用噪声滤波器之前，了解电磁骚扰传播方式、噪声频率范围和插入电路的电磁环境是有益的。

电磁骚扰的传播方式大致分两种：一种是传导干扰，另一种是辐射干扰。用于改善电路噪声容限的板上型噪声滤波器可设计在 9kHz ~ 1780MHz 频率范围内(根据电磁兼容有关标准)某一频段下工作。大体上可以认为：噪声频率低段表现为传导干扰(骚扰)，噪声滤波器主要靠扼流圈感抗提供噪声抑制；在噪声频率高端，传导噪声功率被扼流圈等效电阻吸收和分布电容旁路，这时，辐射骚扰成为干扰的主要形式。辐射骚扰在附近元件、引线上感生噪声电流，严重时会引起电路自激，这在小型高密度电路元件组装情况下变得更加突出。抗 EMI 器件大都作为低通滤波器插入电路中抑制或吸收噪声干扰。可根据需要抑制的噪声频率，设计

或选择滤波器截止频率 f_{cn} 。上面已经提及，噪声滤波器作为噪声失配器插入电路中。其作用是对高于信号频率的噪声严重失配。用噪声失配概念,滤波器的作用可以这样来理解：通过噪声滤波器，噪声或因分压(衰减)降低噪声输出电平；或因多次反射吸收噪声功率；或因通道相位改变破坏寄生振荡条件，从而改善了电路的噪声容限。此外，设计、使用抗 EMI 器件要注意以下几个问题：

- (1) 了解电磁环境,合理选择频率范围；
- (2) 噪声滤波器所在电路中是否存在直流或强交流,防止器件磁心饱和失效；
- (3) 了解插入电路前后阻抗大小和性质使达到噪声失配，扼流圈阻抗一般为 $30 \sim 500 \Omega$ ，宜在低源阻抗和负载阻抗下使用；
- (4) 注意分布电容和相邻元件、导线产生感性交扰；
- (5) 控制器件温升，一般不要超过 60°C 。