

电源 EMI 滤波器的技术特性及其选用

陈训龙

(浙江中控技术有限公司, 浙江, 杭州, 310053)

Email: chenxunlong@supcon.com

摘要: 讨论了电源滤波器技术, 重点介绍了电磁干扰EMI(Electromagnetic Interference)滤波器的特性参数、技术原理以及选用时注意事项; 典型滤波器的应用分析。

关键词: 电磁干扰 电磁兼容 插入损耗 阻抗搭配 测试

0 引言

近几年来, 随着电磁兼容工作的开展, 滤波器技术应用得越来越广泛。为了对电源 EMI 滤波器技术有更深入的理解, 尤其其它的技术原理、选用时关注的技术参数和注意事项, 以及滤波效果分析等。结合工作, 对电源 EMI 滤波器技术进行深一步探讨。

1 概述

在电子设备供电电源上, 存在有各种各样的外来干扰信号。很多电子设备本身, 在完成其功能同时, 也产生了形形色色的 EMI 信号, 以及人为和大自然的 EMI 信号。这些 EMI 信号, 通过传导和辐射的方式, 影响着该环境里运行的电子设备。如图 1.0 是用示波器在 220V/50Hz 供电线上观测到的随机 EMI 信号。

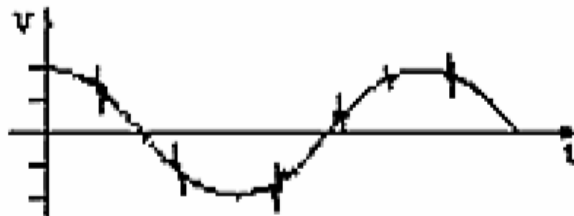


图 1.0 220V/50Hz 上的 EMI 信号

1.1 电源 EMI 电磁干扰

(美)IBM 公司的一项研究表明: 一台普通计算机装置每月都会遭受 120 多次电源干扰。且电源问题是造成美国 45% 以上的计算机装置丢失数据和发生故障的根本原因, 对电源干扰的统计分析, 如图 1.1。其中脉冲干扰占 39.5%。振荡瞬变占 49%, 这两项共占 88.5%, 是电源干扰的主要成分。电网中的负载切换、电网切换或其它各种故障都会使电网发生瞬变过程产生脉冲噪声, 它通常也称瞬变噪声, 其波形是一系列的单个脉冲或脉冲束。

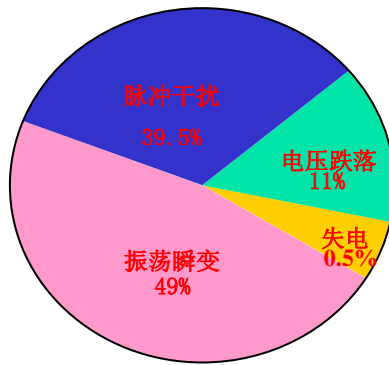


图 1.1 电源干扰分析图

针对以上电网瞬变电压的干扰，如何提高设备（产品）对 EMI 的抗扰度，采取有效可靠的措施之一就是 EMI 滤波器。众所周知，屏蔽是控制 EMI 信号辐射危害的最好帮手。在对付 EMI 信号的传导干扰和某些辐射传导干扰方面，电源 EMI 滤波器是极有效的器件。几乎所有的电子设备都要求助于它来控制其运行时产生的 EMI 信号，因而得到非常广泛的应用。

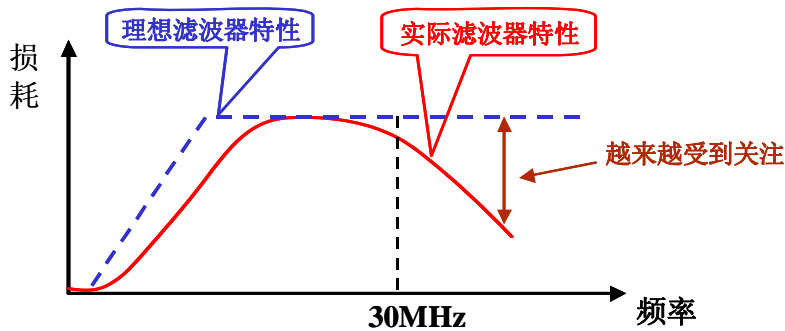


图 1.2 典型的电源 EMI 滤波器滤波曲线

电源 EMI 滤波器，又称为电磁干扰滤波器、电网滤波器、电网噪声滤波器等，或统称为 EMI 滤波器。它是一种低通滤波器，把直流、50Hz 或 400Hz 的电源功率毫无衰减地传输到设备上，大大衰减经电源传入的 EMI 信号，保护设备免受其害。同时，又能有效地控制设备本身产生的 EMI 信号，防止它进入电网，污染电磁环境，危害其它设备。电源 EMI 滤波器是帮助电磁设备和系统满足有关电磁兼容性标准不可少的器件，如 IEC、FCC、VDE、MIL-STD-461、GB9254 和 GB6833 等。如图 1.2 典型电源 EMI 滤波器的滤波曲线。在谈及电源 EMI 滤波器之前，让我们先来讨论共模（也叫作不对称）干扰信号和差模（也叫作对称）干扰信号。

1.2 共模和差模干扰信号

关于上述各式各样的 EMI 信号对电子设备的影响，可用图 1.3 所示的单相供电系统模型来说明。其中把相线（L）与地（E）和中线（N）与地（E）之间存在的 EMI 信号称之为共模干扰信号，即图 1.3

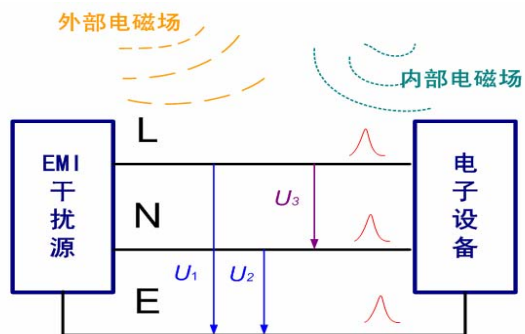


图 1.3 供电系统产生的 CM 和 DM 干扰信号

的电压 U_1 和 U_2 。对于 L、N 线而言，共模干扰信号可视为在 L 和 N 线上传输的电位相等相位相同的信号。把 L 和 N 之间存在的干扰信号 U_3 称为差模干扰信号，也可把它视为在 L 和 N 线上有 180 度相位差的干扰信号。对于供电系统的传导干扰信号，都可以用共模和差模干扰信号来表示。并且也可把 L-E 和 N-E 上的共模干扰和

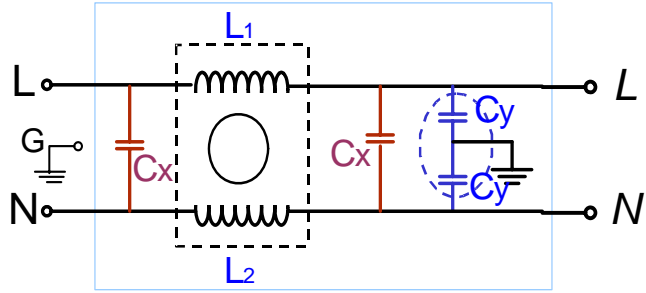


图 1.4 单相电源滤波器电路基本结构

L-N 上的差模干扰看作独立的 EMI 源，把 L-E、N-E 和 L-N 看作独立的网络端口，来分析 EMI 信号的特性和设计抑制 EMI 信号的滤波网络。

如图 1.4 是单相电源 EMI 滤波器的基本结构。它是由集中参数元件组成的无源网络，最大的网虚线表示滤波器的金属屏蔽外壳。图 1.4 的电路中，有两只电感 L_1 和 L_2 ，四只电容器 C_x 和 C_y 。如果把这个 EMI 滤波器插入到图 1.3 被干扰设备的供电电源入口处，即把滤波器的（电源）端接到被干扰设备的电源进线，滤波器的（负载）端接被干扰的设备。这样 L_1 和 C_y 、 L_2 和 C_y 分别构成 L-E 和 N-E 两对独立端口间的 L 型（反 Γ ）低通滤波器，如图 1.5 等效共模电路，用来抑制供电系统存在的共模 EMI 信号，使之无法进入设备。其中， L_1 和 L_2 可以构成共模扼流圈，由于实际应用中电感 L_1 和 L_2 的电感量是不一定相等的。于是， L_1 和 L_2 之差便是差模电感，它和 C_x 又构成 L-N 独立端口间的一个 Π 型低通滤波器，如图 1.6 等效差模电路，用来抑制电源上存在的差模 EMI 信号。从而实现供电系统 EMI 信号的抑制，保护供电系统内的设备不受其影响。

实际应用中，在电源线中往往同时存在共模和差模干扰，一般在 EMI 干扰中，低于 1MHz 频率的干扰以差模为主，高于 1MHz 频率的干扰以共模为主。因此电源 EMI 滤波器是由共模滤波电路和差模滤波电路综合构成。

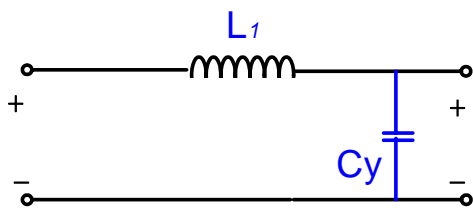


图 1.5 等效的共模电路

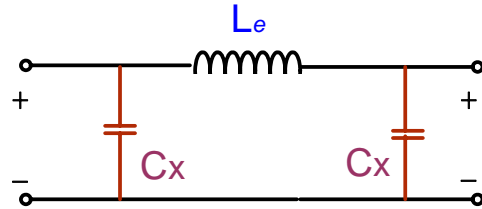


图 1.6 等效的差模电路

2 电源 EMI 滤波器网络结构特性

2.1 电源滤波器网络结构

由于图 1.4 的电路是无源网络，它具有互易性。把负载接到滤波器的电源端，或接到负载端，原则上都是可以的，特别是在电源内阻（源阻抗）与负载电阻（负载阻抗）相等时，

这种互换性测的插入损耗也是相等的，如几乎所有电源滤波器给出的插入损耗，都是在 $50\ \Omega$ 系统下测试的，即源阻抗和负载阻抗都为 $50\ \Omega$ 。根据抑制干扰的程度又分为一般性能（图 1.4）和高性能（图 2.0）两种电源滤波器。

2.2 电源 EMI 滤波器中的滤波电感

EMI 滤波器中常见的滤波电感有，共模扼流圈、差模扼流圈和纹波滤波电感。前两种主要用于各种电源滤波器，工作在交流或直流条件。后一种用来滤除整流

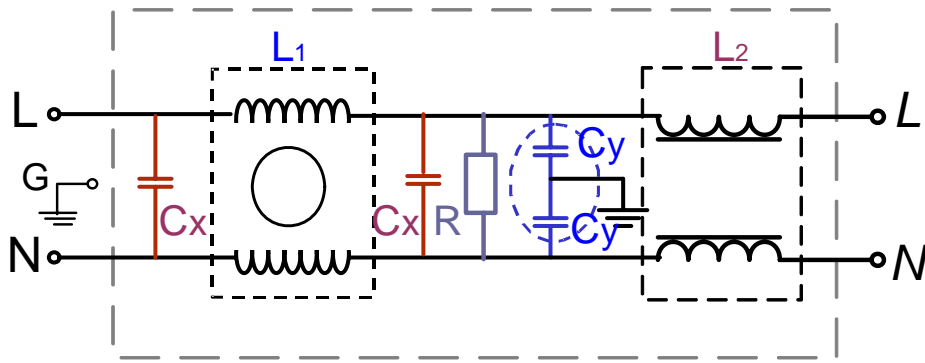


图 2.0 高性能单相电源滤波器电路基本结构

后的开关噪声。工作在直流条件时，要考虑直流磁化对电感的影响。由于滤波器电感要涉及软磁材料，它不像电阻、电容元件那样只需要正确选择即可。下面对共模扼流圈、差模扼流圈原理和结构作一介绍。如图 2.0 为一个高性能单相电源滤波器电路基本结构示意图。L1 为共模扼流圈；L2 为差模扼流圈；Cx 为差模工作电容；Cy 为共模工作电容；R 为泄放电阻（阻值较高），是为了在不工作时迅速泄放存储在 Cx 中的电量，以免电击操作人员。另外还有三相三线或三相四线制电源 EMI 滤波器，如图 2.1 为三相三线电源 EMI 滤波电路基本结构。

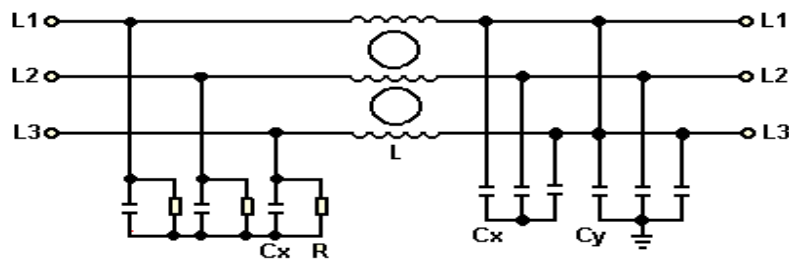


图 2.1 三相三线电源 EMI 滤波电路基本结构

2.2.1 共模扼流圈

共模扼流圈是共模插入损耗中起主导作用的电感元件。共模扼流圈是在一个磁环（闭合磁路）的上下两个半环上，分别绕制相同匝数但绕向相反的线圈。此结构对相线（L）或零线（N）对地所形成的共模干扰具有电感抑制作用。因为共模干扰是同相的，所以在磁环中所形成的磁力线是互相叠加的，而对相线和零线间所形成的差模干扰和工频供电电流无电感抑制作用，因此差模干扰和供电电流是反相的，所以在磁环中所形成的磁力线是相互抵消的，

因而命名为共模扼流圈，如图 2.2 接负载的共模扼流圈结构图。共模扼流圈使用中与负载并联。通常两个线圈的电感量约为 0.3mH~38mH。

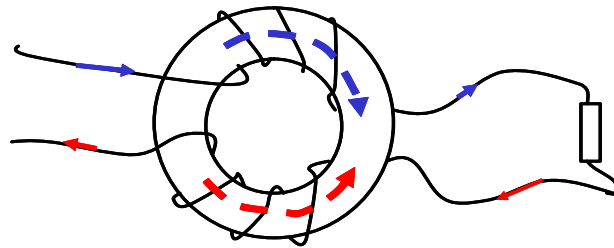


图 2.2 共模扼流圈结构图

由于共模电感中的干扰信号比较弱，在低频时，它在工作在初始磁导率附近，所以共模电感的推导表达式为：

$$L = \frac{4 \times 10^{-9} N^2 \mu_i A}{D} \quad (2.0)$$

式 2.0 中，D 为磁环平均直径 (cm)；A 为磁环截面积 (cm²)； μ_i 为磁环初始磁导率；N 为线圈匝数。由式 (2.0) 可以看出提高电感值的有效途径有三个，即提高匝数 N、初始磁导率 μ_i 和磁环截面积 A，其中以提高匝数最有效，因为它与 N² 成正比。

2.2.2 差模扼流圈

在高性能 EMI 滤波器，为了提高差模噪声的抑制性能，往往采取差模扼流圈

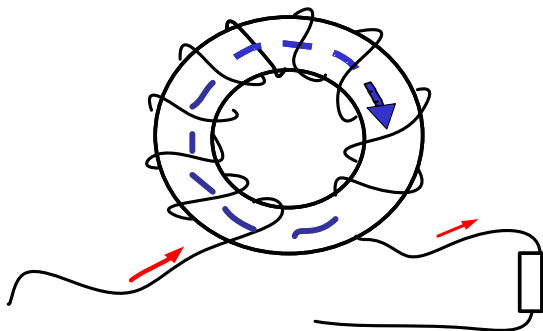


图 2.3 差模扼流圈结构图

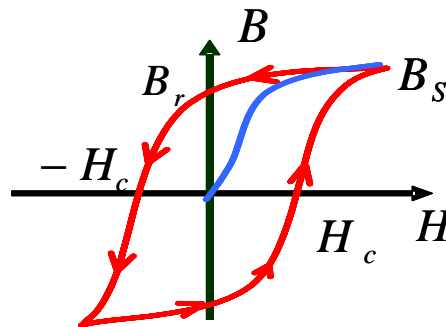


图 2.4 B(H) 和 $\mu(H)$ 特性曲线

与 Cx 电容组成 L、T、 π 等滤波电路。差模扼流圈与共模扼流圈的最大区别在于差模扼流圈与负载直接串接，如图 2.3 模扼流圈结构图，它采用单个绕组结构绕制而不像共模扼流圈那样在一个磁芯上采用两个相同绕组的结构。因此，当通过差模扼流圈的电流过大时，会产生磁饱和现象，电感量随之逐渐下降，下降的速度取决软磁材料的 B(H) 和 $\mu(H)$ 特性曲线，如图 2.4 所示。

$$\mu_i = \frac{B}{H} \quad (2.1)$$

式 2.1 中 B 为磁感应强度，H 为磁场强度， μ_i 为磁导率。为了避免差模磁芯因饱和失去滤波作用，所以磁材的选择尤为重要。

关于整流滤波电感，其原理是工作在直流电路的差模电感一种。由于目前电源向更低电压、更大电流的方向发展，所以更需要注意直流磁化对电感的影响，希望工作电流的变化所引起电感值的变化越小越好，即希望磁芯具有某种恒磁导率。电感器设计主要是在满足给定的性能指标情况下，确定最好的磁芯材料，最小的几何尺寸，以及恰当的绕组匝数、绕法、导线截面积。

2.3 电源 EMI 滤波器中的电容

在图 2.0 电源滤波器电路结构中，电容器用了两种不同的下标，“Cx”和“Cy”，下标“x”和“y”不仅说明了它们在滤波网络中的作用，还表明了它们在滤波网络中的安全等级。

2.3.1 Cx 电容器

Cx 电容器是指用于这样场合的电容器，即当该电容器失效后，不会导致工作人员遭到电击、不危及人身安全。在实际应用中，Cx 电容器接在单相电源线地 L 和 N 之间，它上面除加有额定电压外，还会叠加上 L 和 N 之间存在的各种 EMI 信号峰值电压。例如：因接通或断开电子设备的电源，会在其上叠加 $\leq 1200\text{V}$ 的峰值电压。因断开感性负载，产生过渡过程，会在接有 Cx 电容的设备上出现很高的峰值电压。电压的幅度取决于设备的种类和结构。根据 Cx 电容器应用的最坏情况和电源断开的条件，Cx 电容器的安全等级又分为 X_1 和 X_2 两类，

见表 2.0。根据应用场合和可能存在的 EMI 信号峰值，应选用合适安全等级的 Cx 电容器。

Cx 等级	用于设备的峰值电压 V_p	应用场合	在电强度试验期间所加的峰值电压 V_p
X_1	$V_p > 1.2\text{KV}$	出现高的峰值电压	$C \leq 0.33\mu\text{F}$, V_p 为 4kV ; $C > 0.33\mu\text{F}$, $V_p = 4^{-(0.33-C)} \text{kV}$ 。
X_2	$V_p < 1.2\text{KV}$	一般场合	1.4kV

表 2.0 Cx 电容器的安全等级

2.3.2 Cy 电容器

首先，要对 Cy 电容器的电容量进行限制，从而达到控制在规定频率电压作用下，流过它的电流（即漏电流）的大小。对于 220V、50Hz 的电源，它除符合 250V 峰值电压的耐压要求外，还要求这种电容器在电气和机械性能方面，具有足够的安全余量，以避免可能出现的击穿短路现象。因为这种电容器的耐压性能，对保护工作人员的人身安全有重要意义，一旦设备或装置的绝缘保护措施失效，可能导致有关人员遭受电击，甚至可能危及生命。

图 2.5 (a) 是规定的 1 级安全例子，所示为类似吸尘器、手持电钻类型设备。电源 EMI 滤波器中的 Cy 电容器安装在电源供电线 L、N 和外壳 (E) 之间，在使用时，操作人员有可能碰到设备外壳 (E)。

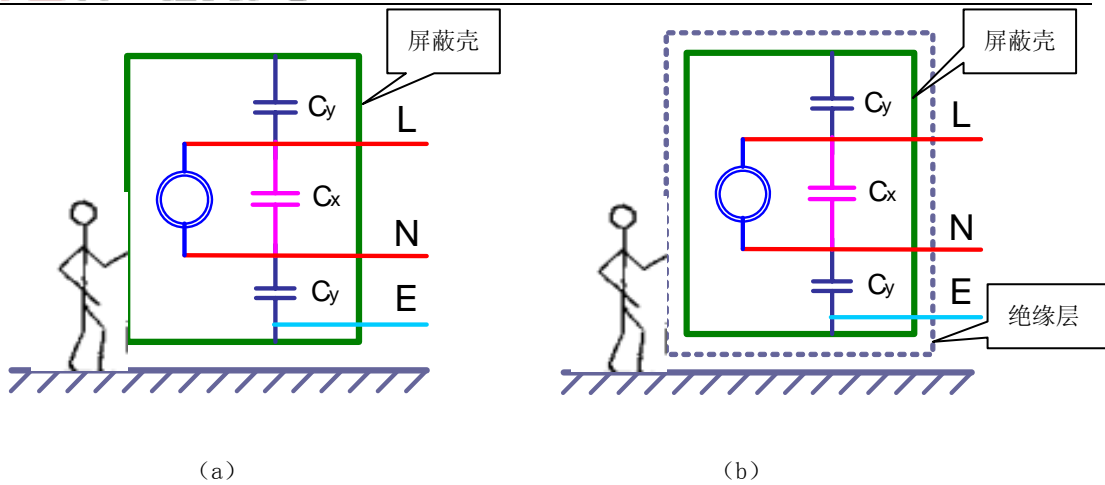


图 2.5 Cx 电容器的安全等级

图 2.5 (b) 是规定的 2 级安全例子，金属壳外部还有一层绝缘保护。在上述 1 级安全情况下，若 Cy 击穿短路，并同时发生电源系统的安全地线与机壳 E 断开，这时若有人触摸到图 2.5 (a) 的设备外壳，便会危及人身安全。同样，若图 (b) 设备外面绝缘被破坏，人触及设备的金属外壳，也同样危及到人身安全。由此可见，上述 Cx 和 Cy 安全性能具有十分重要的意义，是设计和选用电源 EMI 滤波器时必须考虑的问题，也是检验和考核 EMI 滤波器安全性能重要指标之一。

3 电源 EMI 滤波器的选用

选择和使用电源 EMI 滤波器时，考虑最主要的特性参数有额定电压、额定电流、插入损耗、阻抗搭配、工作环境条件（温度等），下面分别介绍，另外还要考虑体积、质量和可靠性等等。

3.1 额定电压

额定电压是电源 EMI 滤波器用在指定电源频率时的工作电压，也是滤波器最高允许的电压值。如用在 50Hz 单相电源的滤波器，额定电压为 250V；用在 50Hz 三相电源的滤波器，额定电压为 440V。若输入滤波器的电压过高，会使内部电容器损坏。

3.2 额定电流

额定电流 (Ir) 是在额定电压和指定环境温度条件下所允许的最大连续工作电流。

随着环境温度的升高，或由于电感导线的铜损，磁芯损耗以及周围环境温度等原因导致工作温度高于室温，这时候就难于确保插入损耗的性能。我们应该根据实际可能的最大工作电流和工作环境温度来选择滤波器的额定电流。

除特殊说明外，EMI 滤波器说明书给出的额定电流均为室温 +25℃（标称温度）的值，同样给定的典型插入损耗或曲线也均指 +25℃ 的值。最大工作电流 (Imax)、额定电流与温度之间的存在如下关系

$$I_{\max} = I_r \sqrt{\frac{T_{\max} - T_a}{T_{\max} - T_r}} \quad (3.0)$$

式 3.0 中: I_{max} 为最大工作电流

I_r 为室温下额定工作电流

T_{max} 为最高的工作温度+85℃

T_a 为实际工作温度

T_r 为室温+25℃

根据式 3.0, I_{max}/I_r 与 T_a 的关系举例说明: +25℃, $I_{max}=I_r$; +45℃, $I_{max}=0.816I_r$; +85℃, $I_{max}=0$ 。

另外, 在国外一些滤波器公司规定, +40℃ (标称温度) 为工作电流值 I_r 。

如图 3.0 是 IEC 气候等级为 25/085 时, 指定环境温度为 +40℃ (标称温度) 条件下, 查取其它环境温度所容许工作电流曲线。

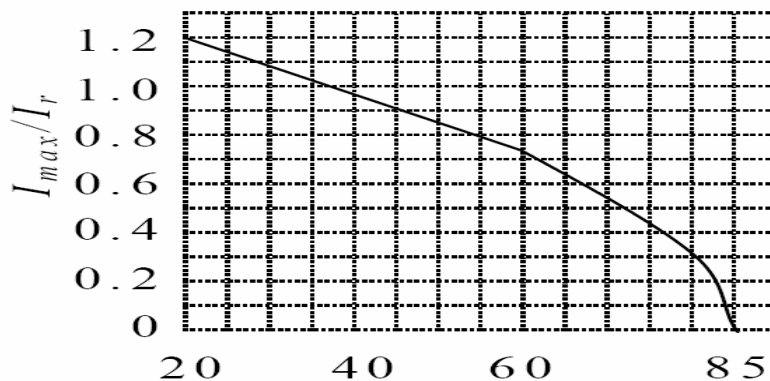


图 3.0 最大工作电流与环境温度的关系

影响工作电流和环境关系的主要原因之一就是滤波器中的软磁材料。EMI 滤波器一般采用高磁导率软磁材料锰锌铁氧体, 初始磁导率 $\mu_i = 7000 \sim 10000$, 但其居里点温度不高, 优质的仅为 130℃ 左右。磁导率越高, 居里点温度越低, 过居里点后磁导率迅速下降, 从而导致滤波器中的电感值下降, 严重影响滤波效果, 如图 3.1。

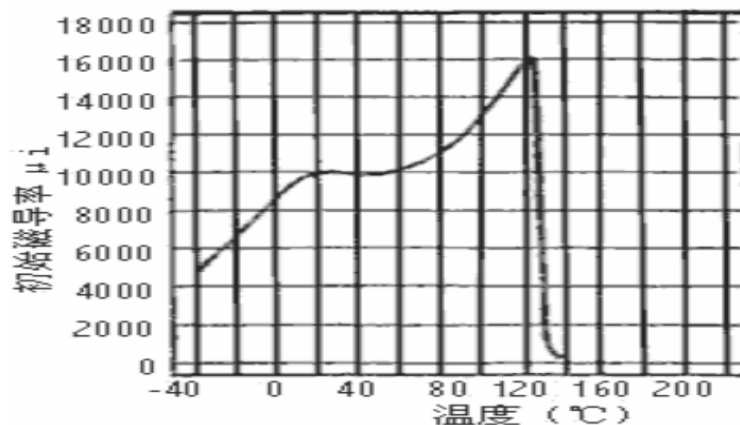


图 3.1 磁导率与温度的关系

因此要根据工作温度来正确选择电源滤波器的额定电流, 或者改善滤波器的散热条件 (工作环境) 来确保滤波器的安装使用。关于电源滤波器的安装将另文介绍。

3.3 插入损耗

3.3.1 插入损耗定义

插入损耗是电源 EMI 滤波器最重要的技术参数之一，设计人员和工程应用人员考虑的中心问题就是，在保证滤波器安全、环境、机械和可靠性能满足有关标准要求的前提下，实现尽可能高的插入损耗。如图 3.2。

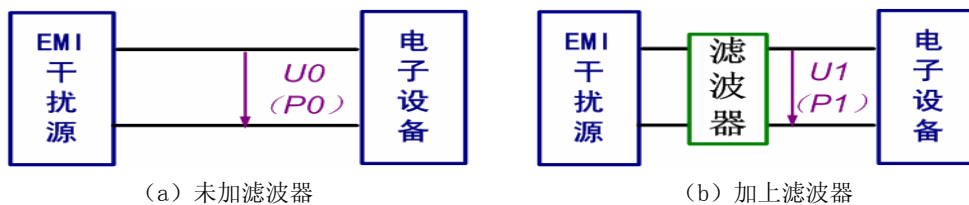


图 3.2 滤波器插入损耗定义

滤波器的插入损耗是频率的函数，用 dB（分贝）表示。电路未接滤波器时，信号源在接受电路端电压（功率）为 U_0 （ P_0 ），接入滤波器后在接受端输入电压（功率）为 U_1 （ P_1 ），定义插入损耗 $I.L$ （Insertion Loss）可以用下列方程推导出来：

$$I.L = 10 \lg \frac{P_0}{P_1} \quad (3.2)$$

假设实际负载阻抗在滤波器插入前后保持不变，故 3.2 式的各功率可以由其相应的负载电压和阻抗的表达式来代替

$$P_0 = \frac{U_0^2}{Z} \quad P_1 = \frac{U_1^2}{Z} \quad (3.3)$$

由式 3.2 和 3.3 得出

$$I.L = 10 \lg \frac{U_0^2 / Z}{U_1^2 / Z} = 10 \lg \frac{U_0^2}{U_1^2} = 20 \lg \frac{U_0}{U_1} \quad (\text{dB}) \quad (3.4)$$

方程中所表示的插入损耗，需要在任何频率下通过取下和插入滤波器来进行测量。

3.3.2 共模损耗与差模损耗

电源 EMI 滤波器的插入损耗包括共模（表示为 CM）插入损耗和差模（表示为 DM）插入损耗。关于它们的具体测试方法，在 CISPR 第 17 号出版物中有过说明，这里就不在说明。例如某个厂家生产的 DNF05-H-6AEMI 滤波器，按有关标准测得的插入损耗，如图 3.3。

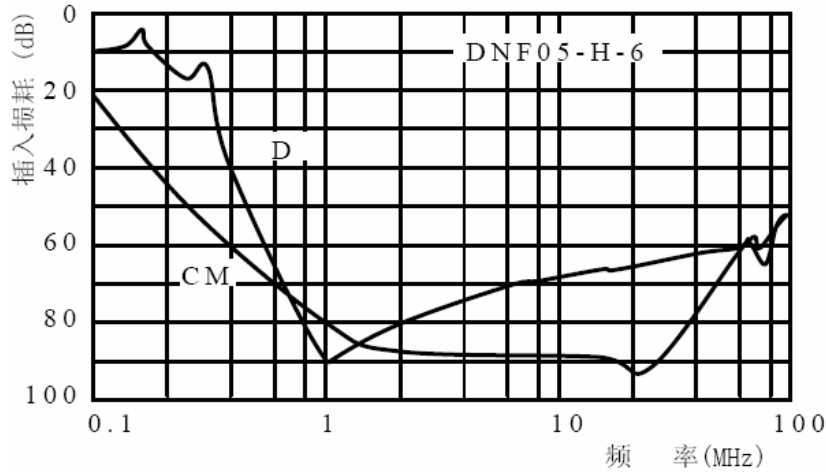


图 3.3 DM 和 CM 插入损耗曲线

3.3.3 影响插入损耗的因素

影响电源 EMI 滤波器插入损耗的因素包括阻抗搭配（见下文 3.4）和安装。实际应用中，EMI 滤波器输入和输出端的阻抗已不是测得图 3.3 曲线时的 50Ω ，所以它对干扰信号的衰减，不会等于产品标准或说明书中的给出的插入损耗。如果选用 EMI 滤波器的网络结构和参数合理，加上安装得当，则有可能实现优于标准中的规定的插入损耗。反之，如果网络搭配和参数的选择不当（就是 3.4 中介绍的阻抗搭配），安装又有问题，则有可能得不到好的应用效果，反而，会得到相反的效果，如图 3.5 出现插入增益。为此，有的滤波器生产厂家还专门提供了 $0.1\Omega/100\Omega$ ，及 $100\Omega/0.1\Omega$ 的几组滤波特性曲线，以资参考，如图 3.4 和曲线 3.5 所示。

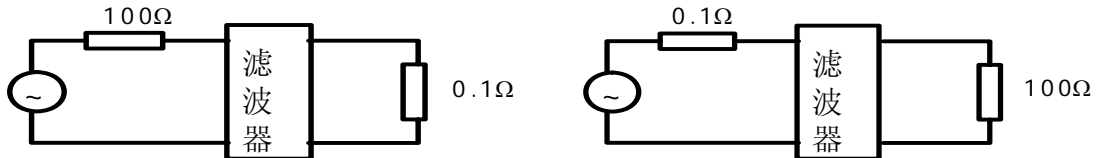


图 3.4 源阻抗和负载阻抗的区别

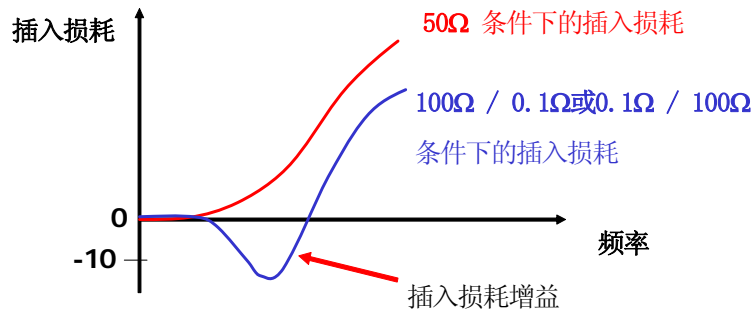


图 3.5 插入损耗比较曲线

另外一个影响因素，就是滤波器的工作温度和额定工作电流。EMI 滤波器的插入损耗测量标准，CISPR 第 17 号出版物，MIL-STD-220A 和 GB7343-87 所规定的测量方法中，都一致强调了要在加载额定电流条件下进行它的插入损耗的测量。前文已介绍，这是因为滤波器中的电感 L 用了铁氧体或其它磁性材料，大电流工作下，磁性饱和状态引起性能变坏。如图

3.6 是某有问题的 EMI 滤波器测试情况，曲线①是正常 50 Ω 系统下测试的插入损耗曲线，曲线②是 50 Ω 系统和 30A 额定电流下测试的插入损耗曲线，两者比较差别相当大。

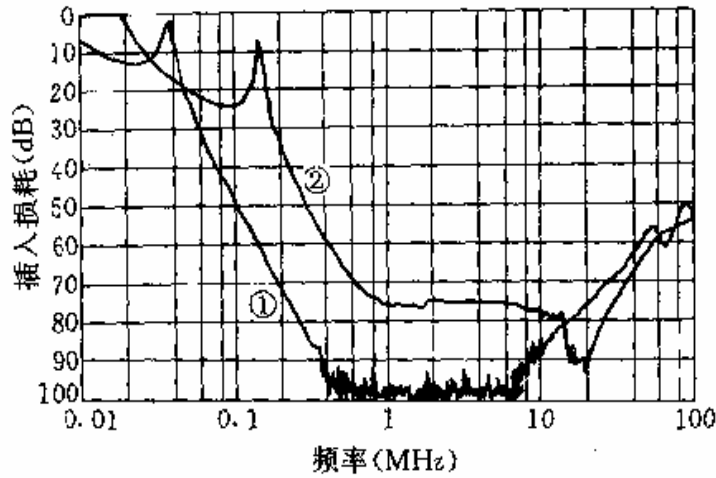


图 3.6 插入损耗与额定电流之间影响

3.4 阻抗搭配

3.4.1 阻抗搭配的原因

选择滤波器时，首先应选择合适你所用的滤波电路和插入损耗性能。首先选择滤波电路的原因是与滤波器要在匹配条件下工作的传统概念不同，所谓匹配意味滤波器需在保持输入/输出信号幅度不变（或某一固定比例）的前提下，将其中部分频谱做预期的处理或变换，而 EMI 电源滤波器不同，它是个以工频为导通对象的低通滤波器，是在不匹配的条件下工作，因为在实际应用中无法实现匹配，如滤波器输入端阻抗 R_i —电网源阻抗是随着用电量的大小变化的，滤波器输出端的阻抗 R_l （负载阻抗）—电源阻抗是随着电源负载的大小变化的，要想获得理想的抑制效果，应遵循正确的阻抗搭配。

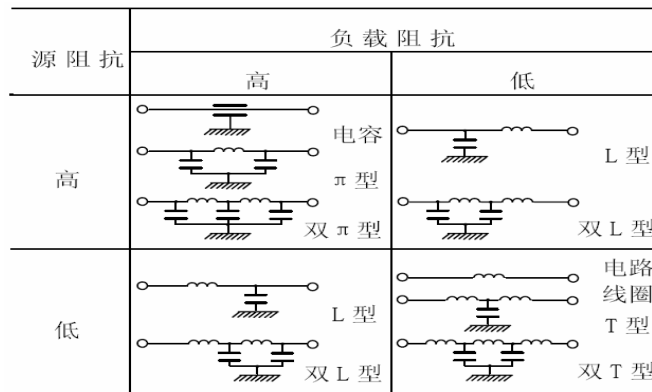


图 3.7 低通滤波器搭配

无论怎样复杂的电源 EMI 滤波器，都可以把它的共模和差模滤波网络抽象出来，简化为图 3.7 中所示的低通滤波网络。从图 3.7 中可以总结表 3.0 中源阻抗与负载阻抗搭配。

源阻抗	电路结构	负载阻抗
高	C、 π 、多级 π	高
高	Γ 、多级 Γ	低

低	反Γ、多级反Γ	高
低	L、多级L	低

表 3.0 源阻抗与负载阻抗搭配关系

3.4.2 阻抗失配分析

从图 3.7 和表 3.0 中，可以分析出，一般在电源 EMI 滤波器电路网络中，电感 L 看作高阻元件，电容 C 看作低阻元件。为了达到滤波更好的效果，按照滤波器的不匹配原则：如果实际负载为感性高阻，则选择输出负载为容性低阻的滤波器；如果实际负载为容性低阻，则选择输出负载为感性高阻的滤波器。同样，对于滤波器的输入阻抗和电网源阻抗，也应该按照阻抗失配原则来选择滤波器。

当滤波器的输出阻抗 Z_o 和与它端接的负载阻抗 R_l 不相等时，在这个端口上会产生反射。反射的系数 ρ 定义为

$$\rho = \frac{Z_o - R_l}{Z_o + R_l} \quad (3.5)$$

由式 3.5 可知， Z_o 与 R_l 相差越大， ρ 就越大，端口产生的反射也就越大。对被控制的干扰信号，当 EMI 滤波器两端阻抗都处于失配状态时，EMI 信号会在它的输入和输出端口产生很强的反射。这样一来，滤波器对 EMI 信号的衰减，等于滤波器的固有插入损耗加上反射损耗。在 EMI 滤波器的实际使用中，可用阻抗失配来实现对 EMI 信号更加有效抑制。这就是为什么选用 EMI 滤波器时，一定要仔细分析其端口阻抗的正确搭配，使产生尽可能大的反射，达到对 EMI 信号的有效控制的原因。

为说明上述滤波器阻抗失配搭配效果，对图 1.3 所示单相电源网络结构的滤波器，做以下试验，供测试用的负载可以是电阻性或电感和电容性的，依次根据测试要求可变。图 3.8 的曲线①是滤波器接 50Ω 电阻负载时所测得插入损耗曲线；曲线②是滤波器接容性负载时所测得的插入损耗曲线。比较这两条曲线看出，端接容性负载时的滤波器对 EMI 信号的抑制能力低于电阻负载时的抑制能力，这是因为端接容性负载与滤波器的输出阻抗同是容性的，没有正确的阻抗搭配，更没有按阻抗失配原则。图 3.9 中的曲线②插入损耗曲线是端接感性负载时的情况，与端接电阻负载的插入损耗曲线①相比，滤波器端接感性负载的插入损耗特性比端接电阻时要好的，这种阻抗端接会使滤波器在很宽的频率范围内造成严重失配，从而得到了比端接电阻时好得多的抑制性能。

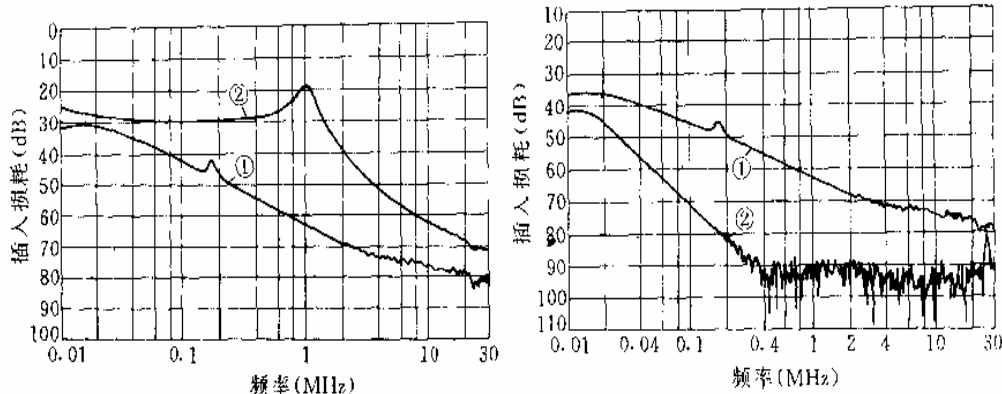


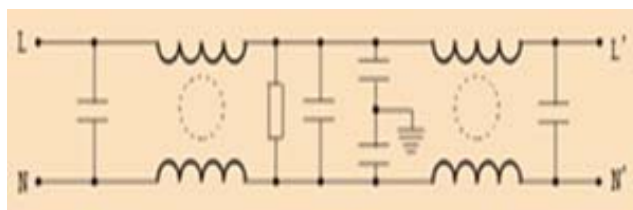
图 3.8 电阻负载与电容负载时
插入损耗特性比较

图 3.9 电阻负载与电感负载时
插入损耗特性比较

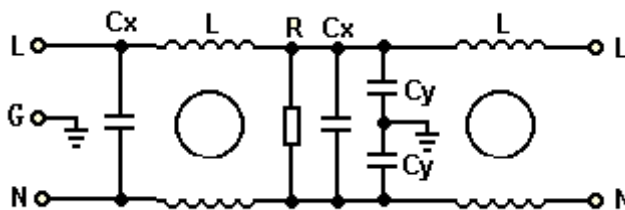
3.4.3 实际应用分析

在上文 3.3 章节中说到，阻抗搭配也是影响插入损耗的主要因素之一，如果阻抗搭配不当，还会出现插入增益出现。在电源滤波器选型时，根据我们控制系统 DCS 产品的要求，有两家滤波器生产厂家提供了样机并进行了测试，下面就我们实际测试应用中的情况给予分析和介绍。

如图 3.10 (a) 型号为 NF211B6/01 滤波器的电路框图，(b) 型号为 HT225-6-L8-HI 滤波器的电路框图。按照电源滤波器安装要求和规范，把两款滤波器分别接到控制系统配电箱的空气开关器之后，利用 EFT（电快速瞬变脉冲群）干扰信号发生器输出脉冲干扰加在电源线上；用双踪通道的示波器分别接在滤波器前后（用示波器代替频谱分析仪），观察记录滤波器的工作情况，如图 3.11 滤波器测试系统连接图。



(a) 型号 NF211B6/01 滤波器的电路框图



(b) 型号 HT225-6-L8-HI 滤波器的电路框图

图 3.10 两种滤波器的电路网络框图

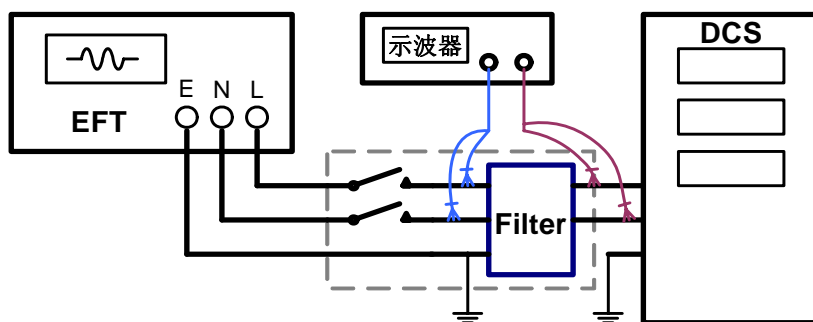
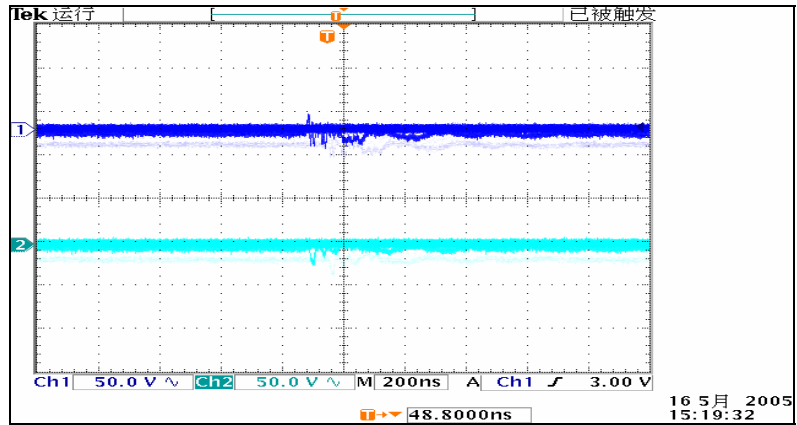
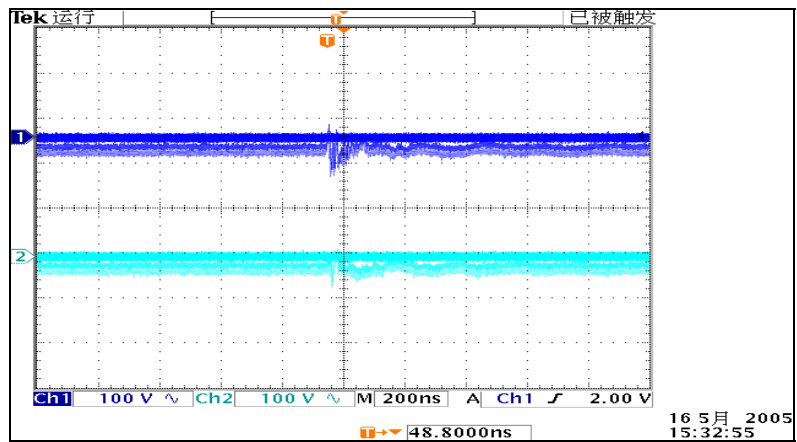


图 3.11 滤波器测试系统连接图

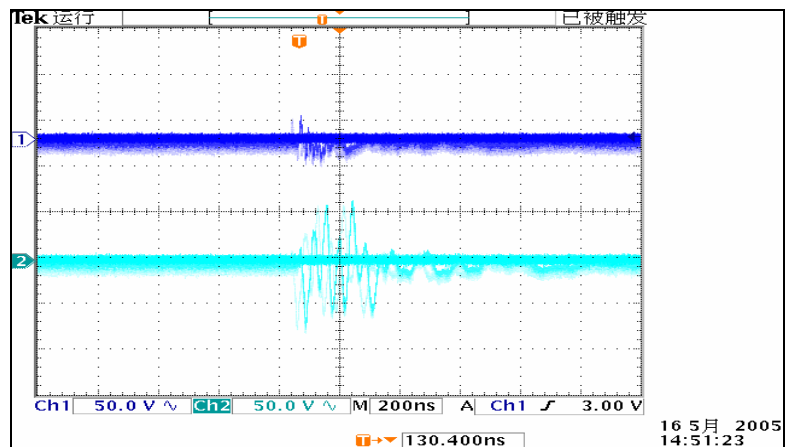
EFT 输出脉冲干扰的参数为，单个脉冲上升时间为 5ns，单个脉冲周期为 50ns，频率为 20MHz，单个脉冲串持续时间为 15ms，脉冲串周期为 300ms，电压峰值分别设置为 1000V 和 2000V。示波器设置的参数相同，且测量的接法也相同。两个型号的电源滤波器进行了测试比较，结果如图 3.12 所示。



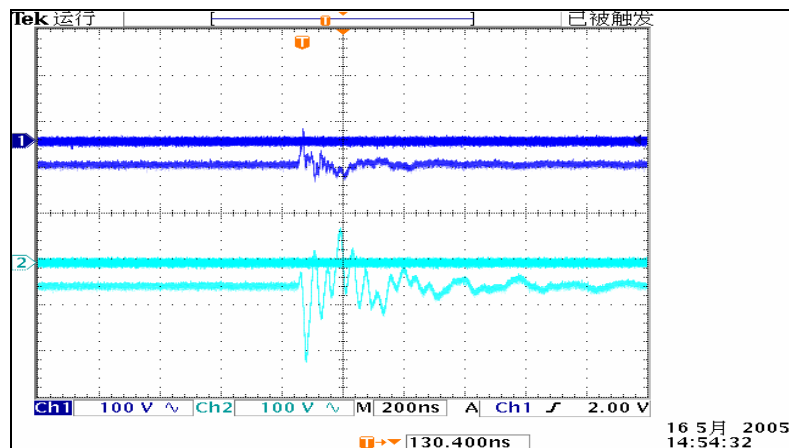
(A) 峰值 1000V 时，型号 NF211B6/01 滤波器的滤波效果



(B) 峰值 2000V 时，型号 NF211B6/01 滤波器的滤波效果



(C) 峰值 1000V 时，型号 HT225-6-L8-HI 滤波器的滤波效果



(D) 峰值 2000V 时, 型号 HT225-6-L8-HI 滤波器的滤波效果

图 3.12 (A) (B) (C) (D) 为两种滤波器在不同干扰电压下的滤波效果图

测试分析:

一、首先从两种滤波器的电路网络框图上分析, 两个电路网络构成的元器件基本相似, 且都是双级滤波网络, 两者对共模、差模干扰都有抑制。唯一不同点就是图 3.10 (a) NF211B6/01 滤波器网络输出负载是容性的; (b) HT225-6-L8-HI 滤波器网络输出负载是感性的。为了增强抑制, 按照上文阻抗失配原则, NF211B6/01 滤波器应该接感性负载, HT225-6-L8-HI 滤波器应该接容性负载。

二、从测试结果图 3.12 (A)、(B)、(C)、(D) 中可以看出, 示波器通道①显示曲线为滤波前干扰信号, 通道②显示曲线为通过滤波器的干扰信号。显然两种型号的滤波器对干扰信号的滤波效果差别很大: 型号 NF 的滤波器滤波效果明显优于 HT 型号滤波器。而且, HT 型号滤波器根本没有对干扰信号进行抑制, 反而出现增益。分析主要原因是阻抗搭配不当造成的, 从这个测试结果也可以间接得出我们的 DCS 系统(控制系统)属于感性负载。

要根据实际 EMI 信号源和负载的阻抗属性, 按照产生最大失配的原则来选择滤波器的网络结构和参数。但是, 在实际选用中, 要知道滤波器输出端接负载的确切属性也不是一件容易的事。

以上分析结果只是从滤波器输出负载 Z_o 和实际所接负载 R_l 分析的, 对于源阻抗 R_s (电网) 和滤波器输入阻抗 Z_i , 测试过程中, 分别都是相同的, 故不在展开分析。

从以上讨论看出, 电源 EMI 滤波器对 EMI 信号的抑制能力不仅取决于滤波器在 50Ω 系统内测得的插入损耗, 还取决于滤波网络与 EMI 信号源和负载的正确端接。所以, 在选用滤波器时, 要特别注意 EMI 滤波器上标牌内容, 看其是否准确标出滤波网络的参数和网络结构。显然, 那种既不提供网络参数, 又没有给出网络结构的 EMI 滤波器, 给正确端接和优化应用带来了麻烦。

另外, 有的 EMI 滤波器标牌标明电源和负载端接, 这可能是为了某特定电子设备所设置, 没有普遍意义, 最多也只能是制造厂商的建议端接方法之一。应用 EMI 滤波器, 要具体分析 EMI 滤波器的网络结构和接入电路的等效阻抗, 按照以上阻抗搭配原则进行端接才能正确达到预期目的。

4 结语

通过了解 EMI 滤波器技术原理, 在选用电源 EMI 滤波器时, 首先, 要估计干扰源或干扰类型, 是共模为主还是差模为主, 还是两者兼有, 继而再选择滤波器的网络结构, 如差模增强型或共模增强型等。其次, 要考核它的电气安全性能参数, 如泄漏电流和耐压等, 因为它关系到设备操作人员的人身安全。第三, 要考虑使用过程中的环境温度, 工作中的额定电流、额定电压, 它直接影响到滤波器的滤波性能。第四, 滤波器的插入损耗, 这是实际工程中选择滤波器必须考虑的问题。第五, 要使电源 EMI 滤波器实现对 EMI 信号的最佳抑制, 必须根据它要接入电路的阻抗, 以产生最大可能的失配损耗, 来选取电源 EMI 滤波器的网络结构和参数。为了实现设备和系统的电磁兼容性, 工程技术人员在着手进行设备或系统设计的初期, 就要周密考虑, 选择好用好电源 EMI 滤波器。

参考文献

- [1] 陈伟华. 电磁兼容实用手册. 北京: 机械工业出版社. 1998
- [2] 柳光福等. 电磁兼容性设计手册. 北京: 航空工业出版社. 1988
- [3] 区健昌. 电子设备的电磁兼容性设计. 北京: 电子工业出版社. 2003
- [4] 张林昌等. 电磁兼容高级技术培训资料. 上海. 2005

The Technique Parameter and Use of the Power Supply EMI Filter

Chen xunlong

Zhejiang SUPCON Co., Ltd. , Hangzhou , Zhejiang , 310053,

Abstract

This paper discusses technique of the power supply filter, introduces the characteristic parameter, the technique principle and regulation of choosing to use of the EMI filter; and in this paper, it applies analysis of the typical EMI filter.

Keyword: EMI EMC Insertion Loss The resistance match Test