

电子线路中的 EMC 标准与 EMC 设计

2008-07-30 嵌入式在线 收藏 | 打印

目前,电子产品越来越容易受到电磁干扰的威胁,本文分析电子线路中产生电磁感应的主要元器件,以及电磁干扰的基本原理;列出电磁兼容抗扰度实验的类型;提出电源电路中电磁兼容设计的基本方法,并用两个实例验证了其可行性。

引言

电磁兼容设计实际上就是针对电子产品中产生的电磁干扰 EMI(Electromagnetic Interference)进行优化设计,使之能成为符合各国或地区电磁兼容性 EMC(Electromagnetic Compatibility)标准的产品。随着电子产品越来越多地采用低功耗、高速度、高集成度的 LSI 电路,这些装置比以往任何时候都更容易受到电磁干扰的威胁;而与此同时,大功率家电及办公自动化设备的增多,以及移动通信、无线网络的广泛应用等,又大大增加了电磁干扰的发生源。这些变化迫使人们把电磁兼容作为重要的技术问题加以关注。

1 电磁兼容标准

为了适应国际商贸与技术发展的要求,国家技术监督局对声音和电视广播设备、信息技术设备、家用和电热、电动工具、电源、照明电器、火花点火发动机的驱动装置、金融及贸易结算电子设备、安保电子产品、低压电器 10 类进行强制性 EMC 认证。

目前对于电磁兼容的标准,不同的行业有不同等级标准要求。信息技术设备的无线电干扰要求如表 1、表 2 所列。

表 1 电源端口传导发射要求

实验项目和依据标准	实验条件和限值
信息技术设备的无线电骚扰限值和测量方法 GB 9254—1998	0.15MHz~0.50MHz: 准峰值限值 79dB(μ V), 平均值 66dB(μ V) 0.50MHz~30MHz: 准峰值限值 73dB(μ V), 平均值 60dB(μ V)

500)this.width=500" border

r=0>

表 2 机箱端口辐射发射要求

实验项目和依据标准	实验条件和限值
信息技术设备的无线电骚扰限值和测量方法 GB 9254—1998	30MHz~230MHz 准峰值限值: 10m 测试距离 40dB(μ V/m), 3m 测试距离 50dB(μ V/m) 230MHz~1000MHz 准峰值限值: 10m 测试距离 47dB(μ V/m), 3m 测试距离 57dB(μ V/m)

500)this.width=500" bord

er=0>

为了达到电磁兼容标准，电子产品在使用前需进行电磁兼容的抗扰度实验，如表 3 所列。

表 3 电磁兼容的抗扰度实验

环境现象	基础标准	实验要求	性能判据
静电放电	IEC61000-4-2	严酷等级: 4 实验电压: 8kV 放电次数: 10	A
高频电磁场	IEC61000-4-3	频率范围: (80~100)MHz 严酷等级: 3 实验场强: 10V/m	A
电快速瞬变脉冲群	IEC61000-4-4	严酷度等级: 4 实验电压: 4kV 实验时间: 60s 波形: 5/50ns 实验次数: 正、负极性各 5 次 重复率: 5kHz	A
浪涌	IEC61000-4-5	严酷等级: 4 实验电压: 4kV 波形: 1.2/50 μ s 极性: 正/负 实验次数: 正负极性各 5 次 重复率: 1 次/min	A
无线电干扰		见表 1 和表 2	A
谐波影响	IEC61000-4-13		A

500)this.width=500" borde

r=0>

2 电磁感应与电磁干扰

一般电子线路都是由电阻器、电容器、电感器、变压器、有源器件和导线组成。当电路中有电压存在时，在所有带电的元器件周围都会产生电场；当电路中有电流流过时，在所有载流体的周围都存在磁场。

在电子线路中只要有电场或磁场存在，就会产生电磁干扰。两者是相辅相成的，电场会产生位移电流，电流又会产生磁场。在高速 PCB 及系统设计中，高频信号线、集成电路的引脚、各类接插件等都可能成为具有天线特性的辐射干扰源，能发射电磁波，并影响其他系统或本系统内其他子系统的正常工作。

3 电源电路中的电磁兼容设计

在电子产品中，各种干扰往往会通过电源传输给电子设备，从而对这些设备造成危害。通过对微机系统的失效概率统计可知：微机系统 100 次故障，其中 90 次来自电源，10 次是微机本身，可见电源的可靠性最重要。具有良好抗干扰设计的电源，能使用户在产品设计中无需考虑由电源引起的抗干扰问题，大大缩短用户的产品开发周期，节约开发成本。

3.1 电源干扰的类型

电源干扰可以以“共模”或“差模”方式存在。干扰类型可以从持续期很短的尖峰干扰到完全失电之间进行变化。其中也包括电压变化（如电压的跌落、浪涌与中断）、频率变化、波形失真（电压的或电流的）、持续噪声或杂波，以及瞬变等。表 4 中的几种干扰，能够通过电源进行传输并造成设备的破坏或影响其工作的主要是电快速瞬变脉冲群和浪涌冲击波，而静电放电等干扰只要电源设备本身不产生停振、输出电压跌落等现象，就不会造成由电源引起的对用电设备的影响。

表 4 电源干扰的类型

干扰类型	典型的起因
跌落	雷击;重载接通;电网电压低下
失电	恶劣的气候;变压器故障;其他原因的故障
频率偏移	发电机不稳定;区域性电网故障
电气噪声	雷达;无线电信号;电力公司和工业设备的飞弧;转换器和逆变器
浪涌	突然减轻负载;变压器的抽头不适当
谐波失真	整流;开关负载;开关型电源;调速驱动
瞬变	雷击;电源线负载设备的切换;功率因素补偿电容的切换;空载电动机的断开

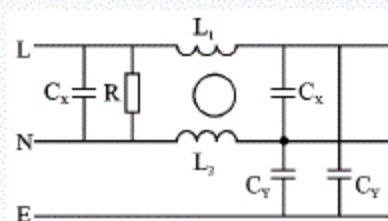
500)this.width=500" border=

er=0>

3.2 抑制干扰的方法

3.2.1 在电源输入端加入线路滤波器

典型的电源线路滤波器如图 1 所示。其中， L_1 和 L_2 的线圈同方向绕在同一磁芯上，这两个电感对于差模电流和主电流所产生的磁通是互相抵消的，因此不会引起磁芯的饱和；而对于共模电流则可以反映为很大的电感，以便获得最大的滤波效果，所以又称为“共模电感”。



500)this.width=500" border=0>

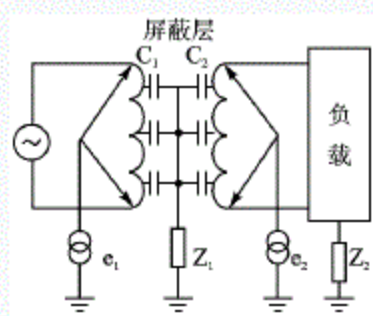
图 1 典型的电源线路滤波器

C_X 电容用来衰减差模干扰， C_Y 电容用于衰减共模干扰， R 用于消除滤波器中可能出现的静电积累。

电源滤波器主要用于抑制 30 MHz 以下频率范围的噪声，而对于脉冲干扰，其谐波频率往往高达上百 MHz，实际使用效果往往并不明显。某研究机构对 20 种电源滤波器的抑制浪涌波的能力进行了测试，超过 20 dB 的仅有 4 种，甚至有的会在输出端产生振荡。

3.2.2 采用带屏蔽层的变压器

由于共模干扰是一种相对大地的干扰，所以它主要通过变压器绕组间的耦合电容来传递。如果在初、次级之间插入屏蔽层，并使之良好接地，便能使干扰电压通过屏蔽层旁路掉，从而减小输出端的干扰电压。屏蔽层对变压器的能量传输并无不良影响，但影响了绕组间的耦合电容。图 2 画出了带屏蔽层的隔离变压器的共模干扰通路。其中， C_1 为初级绕组与屏蔽层之间的分布电容； C_2 为次级绕组与屏蔽层之间的分布电容； Z_1 为屏蔽层接地阻抗； Z_2 为负载对地阻抗； e_1 为初级干扰（共模型）电压； e_2 为次级干扰（共模型）电压。



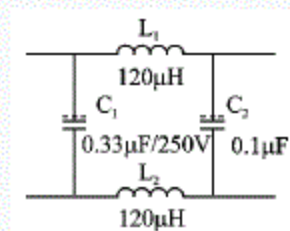
500)this.width=500" border=0>

图 2 带屏蔽层的隔离变压器

图 2 中，要使共模衰减量增大，只需使变压器屏蔽层接地阻抗变小。理论上带屏蔽层的变压器能使衰减量达到 60 dB 左右，但实际使用后发现，对于尖峰干扰有抑制，其效果也不十分明显。

3.2.3 在电源的输入端加入多级线路滤波器

一般情况下，在图 1 所示的电路中再加一级差模滤波器，用于衰减差模干扰。通常，差模滤波器的设计如图 3 所示。



500)this.width=500" border=0>

图 3 差模滤波器

3.2.4 采用吸波器件

压敏电阻器、瞬态电压抑制管（Transient Voltage Suppressor, TVS 管）等吸波器件有共同的特点，即在阈值电压以下呈现高阻抗，而一旦超过阈值电压，阻抗便急剧下降，因此对尖峰电压有一定的抑制作用，但也有各自的局限性。例如压敏电阻的电流吸收能力不够大，TVS 管的阈值电压一般仅为 300~400 V。压敏电阻器、TVS 管在电路中应并联使用。

3.3 参数选择

对于不同的电路，电源线路滤波器参数的选择应根据电流、电压、频率范围等因素综合考虑，有时应通过实验来确定。本节只对压敏电阻、TVS 管的参数选择进行说明。

3.3.1 压敏电阻器

（1）压敏电阻器的作用

压敏电阻器是一种金属氧化物变阻器，其电压与电流不遵守欧姆定律，而成特殊的非线性关系。当两端所加电压低于标称额定电压值时，压敏电阻器的电阻值接近无穷大，内部几乎无电流流过；略高于标称额定电压值时，压敏电阻器将迅速击穿导通，并由高阻状态变为低阻状态，工作电流也急剧增大；低于标称额定电压值时，压敏电阻器又恢复为高阻状态；超过最大限制电压值时，压敏电阻器将完全击穿损坏，无法再自行恢复。

压敏电阻器广泛应用于家用电器以及其他电子产品中，起到过电压保护、防雷、抑制浪涌电流、吸收尖峰脉冲、限幅、高压灭弧、消噪、保护半导体元器件等作用。

（2）压敏电阻器的选取计算

一般来说，压敏电阻器与被保护器件或装置并联使用。在正常情况下，压敏电阻器两端的直流或交流电压应低于标称电压，即使在电源波动情况最坏时，也不应高于额定值中选择的最大连续工作电压，该最大连续工作电压值所对应的标称电压值即为选用值。对于过压保护方面的应用，压敏电压值 V_{mA} 应大于实际电路的电压值，一般使用下式进行选择：

$$V_{mA} = (a \times v) / (b \times c)$$

500)this.width=500" border=0>

式中： a 为电路电压波动系数，一般取 1.2； v 为电路直流工作电压（交流时为有效值）； b 为压敏电压误差，一般取 0.85； c 为元件的老化系数，一般取 0.9；

这样计算得到的 V_{mA} 的实际数值是直流工作电压的 1.5 倍，在交流状态下还要考虑峰值，因此计算结果应扩大 1.414 倍。另外，选用时还必须注意：

① 必须保证在电压波动最大时，连续工作电压也不会超过最大允许值，否则将缩短压敏电阻器的使用寿命。

② 在电源线与大地间使用压敏电阻器时，有时由于接地不良而使线与地之间电压上升，所以通常采用比线与线间使用场合标称电压更高的压敏电阻器。

③ 压敏电阻所吸收的浪涌电流应小于产品的最大通流量。

3.3.2 TVS 管

(1) TVS 管的作用

TVS 管是一种二极管形式的高效能保护器件。当 TVS 二极管的两极受到反向瞬态高能量冲击时，它能以 10-12 秒量级的速度，将其两极间的高阻抗变为低阻抗，吸收高达数千瓦的浪涌功率，使两极间的电压箝位于一个预定值，有效地保护电子线路中的精密元器件免受各种浪涌脉冲的损坏。由于它具有响应时间快、瞬态功率大、漏电流低、击穿电压偏差小、箝位电压较易控制、无损坏极限、体积小等优点，目前已广泛应用于计算机系统、通信设备、交/直流电源、汽车、电子镇流器、家用电器、仪器仪表、RS232/422/423/485、I/O、LAN、ISDN、ADSL、USB、MP3、PDAS、GPS、CDMA、GSM、数字照相机的保护、共模/差模保护、RF 耦合/IC 驱动接收保护、电机电磁波干扰抑制、声频/视频输入、传感器/变速器、工控回路、继电器、接触器噪声的抑制等各个领域。

(2) TVS 管的选取

计算选取时应注意以下几点：

① TVS 额定反向关断电压 V_{WM} 应大于或等于被保护电路的最大工作电压。

② 最小击穿电压 $V_{BR}=V_{WM}/K_{BR}$ (其中， $K_{BR}=0.8\sim0.9$)。

③ TVS 的最大箝位电压 V_C 应小于被保护电路的损坏电压，即 $V_C=K_C\times V_{BR}$ (其中， $K_C=1.3$)。

④ 在规定的脉冲持续时间内，TVS 的最大峰值脉冲功耗 PM 必须大于被保护电路内可能出现的峰值脉冲功率。在确定了最大箝位电压后，其峰值脉冲电流应大于瞬态浪涌电流。

3.3.3 TVS 管与压敏电阻器的比较

目前，国内不少需进行浪涌保护的设备上使用的是压敏电阻器。TVS 管一般用于电快速瞬变脉冲群的防护，其特性比压敏电阻器优越得多，具体特性参数的比较表 5 所列。

表 5 TVS 管与压敏电阻器的比较

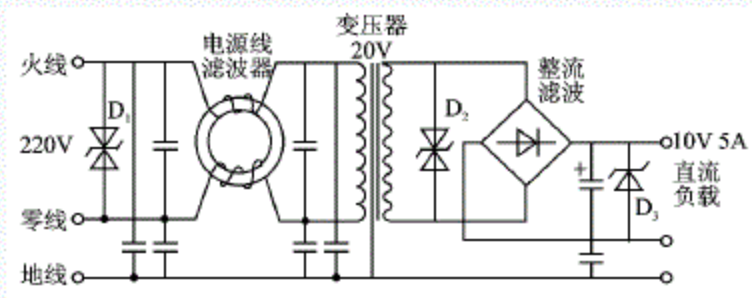
关键参数或极限值	TVS 管	压敏电阻
反应时间/s	10^{-12}	5×10^{-8}
有否老化现象	否	有
最高使用温度/℃	175	115
元件极性	单极性(直流) 双极性(交流)	单极性
反向漏电流典型值/ μA	5	200
箝位因子(V_c/V_{BR})	≤ 1.5	$\geq 7 \sim 8$
密封性质	密封不透气	透气
价格	较贵	便宜

500)this.width=500" border=0>

3.4 应用实例

3.4.1 交流电路

图 4 为微机电源采用 TVS 管作线路保护的原理图。



500)this.width=500" bord

er=0>

图 4 微机电源部分原理图

下面就图 4 中的线路保护加以说明。

① 在进线的交流 220 V 处加双向 TVS 管 D1, 以抑制 220 V 交流电网中的尖峰干扰。双向 TVS 管 D1 的

$$V_{WM} = 220 \text{ V} \times 1.4 = 308 \text{ V}$$

$$V_{BR} = 308 \text{ V} / 0.8 = 385 \text{ V}$$

$$V_C = 1.3 \times 385 \text{ V} = 500.5 \text{ V}$$

选取 D1 时根据上述参数, 通过查表即可得到。

② 在变压器进线处加上抗干扰的电源线滤波器, 以消除小尖峰干扰。

③ 在变压器输出端交流 20 V 处加上双向 TVS 管 D2, 再一次抑制干扰。双向 TVS 管 D2 的

$$V_{WM} = 20 \text{ V} \times 1.4 = 28 \text{ V}$$

$$V_{BR} = 28 \text{ V} / 0.8 = 35 \text{ V}$$

$$V_C = 1.3 \times 35 \text{ V} = 45.5 \text{ V}$$

选取 D2 时根据上述参数, 通过查表即可得到。

④ 整流滤波输出直流 10 V 时, 加上单向 TVS 管 D3 抑制干扰。单向 TVS 管 D3 的

$$V_{WM} = 10 \text{ V}$$

$$V_{BR} = 10 \text{ V} / 0.8 = 12.5 \text{ V}$$

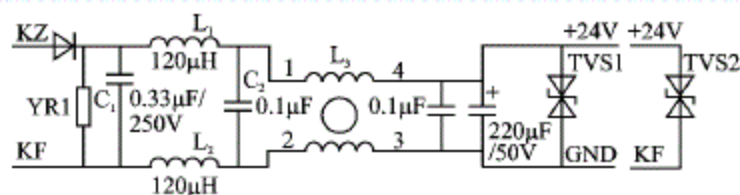
$$V_C = 1.3 \times 12.5 \text{ V} = 16.25 \text{ V}$$

选取 D3 时根据上述参数, 通过查表即可得到。

通过如上 4 次抑制, 得到了所谓的“净化电源”。为了防雷击等浪涌电压, 还可在交流 220 V 进线端加上压敏电阻器, 以便更有效地防止干扰进入计算机的 CPU 及存储器中, 从而进一步提高系统的可靠性。

3.4.2 DCDC 电路

图 5 是一个直流电源的前级抑制干扰原理图。



500)this.width=500" bord

er=0>

图 5 直流电源部分原理图

图 5 中, KZ、KF 外接 24 V 直流电源; YR1 为压敏电阻器, $V_{mA}=1.5 \times 24 = 36$ V, 用于抗浪涌冲击; L1、L2、C1 和 C2 构成平衡型 LC 滤波器, 抑制差模干扰; L3 为共模电感, 用于抑制共模干扰; TVS1 用于抑制电快速瞬变脉冲群干扰。注意, 如果 GND 不能通过机壳接地, 则必须要加 TVS2 接 KF, 目的是把瞬变脉冲干扰信号“导”向大地。

结语

国内外对电磁环境和干扰的研究工作, 多年来一直沿着两个方面并行推进: 一方面是研究器件的噪声物理特性, 探索克服元器件噪声的新方法, 其成果用于设计和开发具有更强功能的新型电子器件; 另一方面是研究影响电子电路和电子设备电磁兼容的各种因素, 总结增强电子设备电磁兼容性的各种方法, 其成果用于设计和开发更为理想的电路结构, 组装出符合预期应用环境的电子装置、设备和系统。对电子线路设计者来说, 主要考虑后者。电子线路中的 EMC 设计, 实际上主要是“堵”和“导”的方法; “堵”的方法是抑制干扰, 不让干扰进入系统; “导”的方法是把内部的干扰信号泄露出来。因此, 在实际应用中往往多种方法并用, 以提高整个系统的可靠性。

编者注: 本文为期刊缩略版, 全文见本刊网站 www.mesnet.com.cn。

参考文献

- [1] 陈淑凤. 电磁兼容试验技术[M], 北京: 北京邮电大学出版社, 2001.
- [2] 全国无线电干扰标准化技术委员会, 等. 电磁兼容标准实施指南[M], 北京: 中国标准出版社, 1999.
- [3] 米切尔·麦迪圭安. 电磁干扰排查及故障解决的电磁兼容技术[M]. 刘萍, 译.

北京：机械工业出版社，2002.

[4] 郑军奇. EMC(电磁兼容)设计与测试案例分析[M]. 北京：电子工业出版社2006.

[5] EN501214. 2000 Railway applicationsElectromagnetic compatibilityPart 4: Emission and immunity of the signalingand telecommunications apparatus, 2000.

[6] 钱振宇. 开关电源的电磁兼容性设计与测试[M]. 北京：电子工业出版社，2005.

陈建明（博士、副教授），主要研究方向为信号处理与识别、嵌入式系统等。

本文来源：单片机与嵌入式系统应用 作者：

[隐藏原文↑](#)