



智能家居 电磁兼容问题及解决方案

恩宁安全技术（上海）有限公司 徐强华

目 录

1 电磁兼容性实质

1.1 电磁兼容定义

1.2 电磁兼容要素

1.3 电磁兼容实质

2 智能家居的电磁兼容环境

2.1 智能家居的电磁兼容标准

2.2 电磁兼容内环境

2.3 电磁兼容外环境

3 智能家居电磁兼容性特点

3.1 智能家居产品电磁兼容分析方法

3.1.1 部件

3.1.2 布局

3.1.3 线束

3.2 智能家居的电磁兼容性特点

4 开关电源电磁兼容特点

4.1 开关电源在电磁兼容中的位置

4.2 开关电源电磁兼容设计原则

4.3 开关电源电磁发射源分析

5 智能控制器电磁兼容特点

5.1 控制器电磁兼容共性

5.2 控制器电磁兼容设计原则

5.3 控制器电磁兼容发展趋势

6 电磁兼容技术对策与实现

6.1 电磁兼容技术对策的选择

6.2 如何实现电磁兼容

6.3 如何实现家用电器产品的电磁兼容

7 现场问题解答

1 电磁兼容性实质

1.1 电磁兼容定义

1.2 电磁兼容要素

1.3 电磁兼容实质

1.1 电磁兼容定义

电磁兼容定义： 电磁兼容Electromagnetic Compatibility
(简称**EMC**)，国际电工委员会（**IEC**）名词术语标准**IEC60050（161）**
《电磁兼容术语》的解释为：

**设备或系统在其电磁环境中能正常工作
且不对该环境中任何事物构成不能承受的电
磁骚扰能力。**

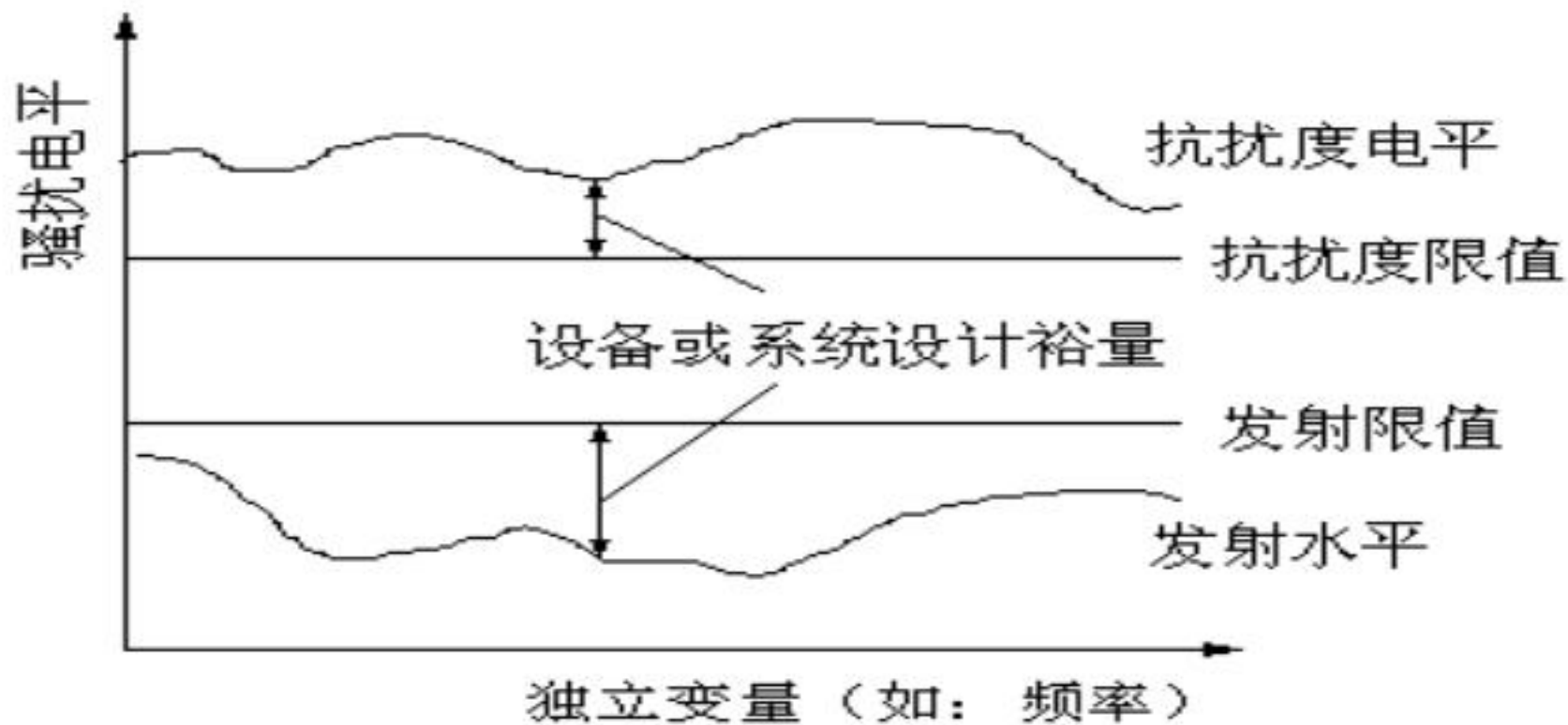
1.2 电磁兼容问题三要素

- **EMC系统可理解为：由骚扰源、耦合路径以及接收器（敏感电路）组成：**



- **1、骚扰源抑制**
- **2、在耦合路径抑制骚扰**
- **3、提高接收电路抗干扰能力**

1.3 电磁兼容实质



电子电器产品在时域、频域范围内各自正常工作、互不干扰。

2 智能家居的电磁兼容环境

2.1 智能家居的电磁兼容标准

2.2 电磁兼容外环境

2.3 电磁兼容外环境解决方案

2.4 电磁兼容内环境

2.5 电磁兼容环境分类

2.1 智能家居的电磁兼容标准

2.1.1.1 布局

- 1) 产品设计
- 2) 产品结构（电器种类）
- 3) 电路布局（机械、电器）
- 4) PCB布线（元器件布置、端口布置、晶振布置）
- 5) 接地（产品的接地架构）

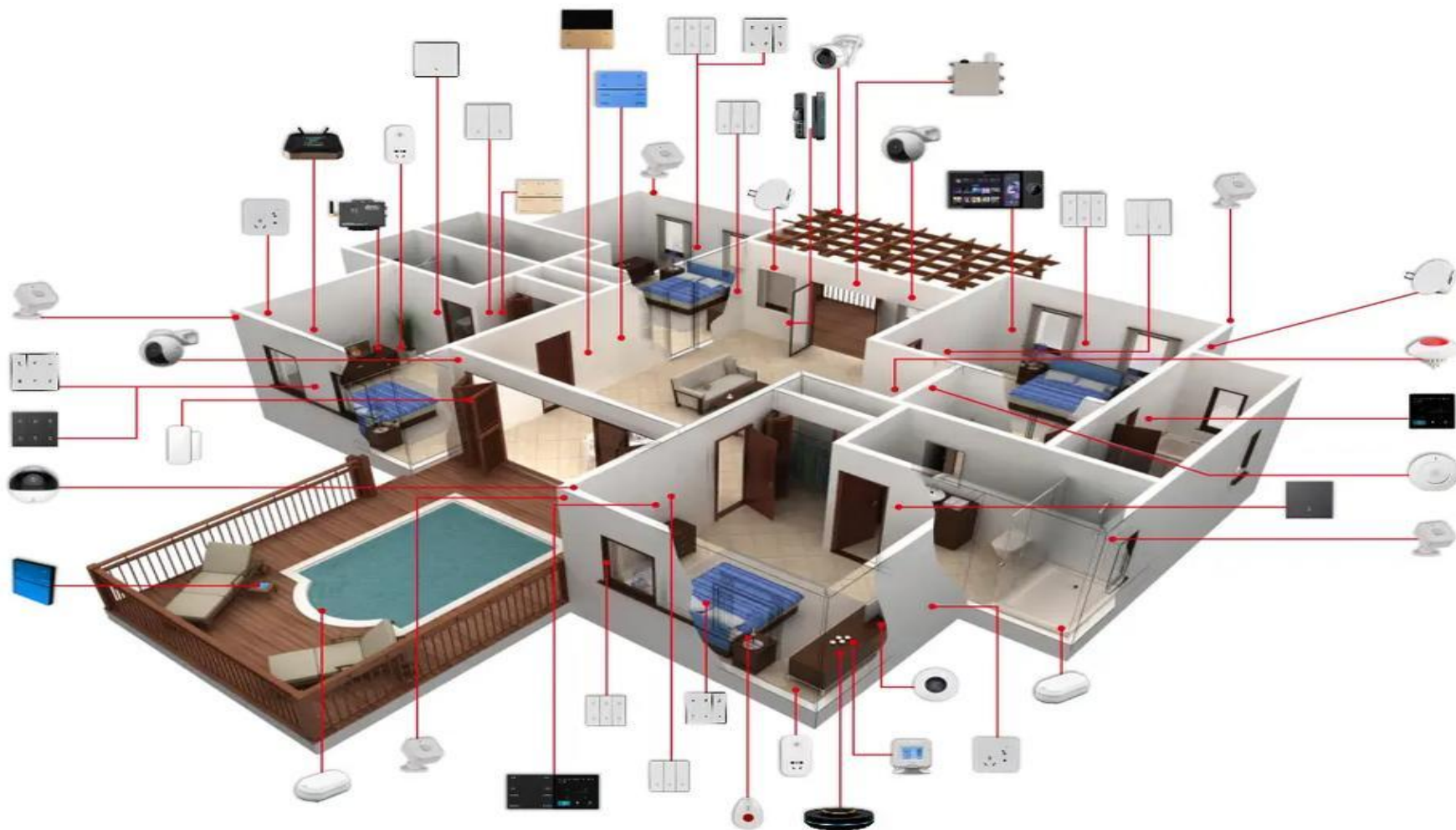
2.2 电磁兼容外环境

设备间的相互干扰：智能家居设备包括智能照明、智能插座、安防系统等，它们工作时会发出电磁波，可能对其他设备造成干扰。例如，无线网络信号可能会干扰蓝牙设备的使用。

对外界电磁场的敏感性：智能家居设备通常使用无线通信技术，如Wi-Fi和蓝牙，这些技术对外界电磁场非常敏感。强大的外界电磁场可能导致设备信号中断或数据丢失。

电源干扰：智能家居设备通常通过家庭电源供电，电源线上的噪声和波动可能会对设备产生干扰，影响其正常工作。

2.2 电磁兼容外环境



2.2 电磁兼容外环境



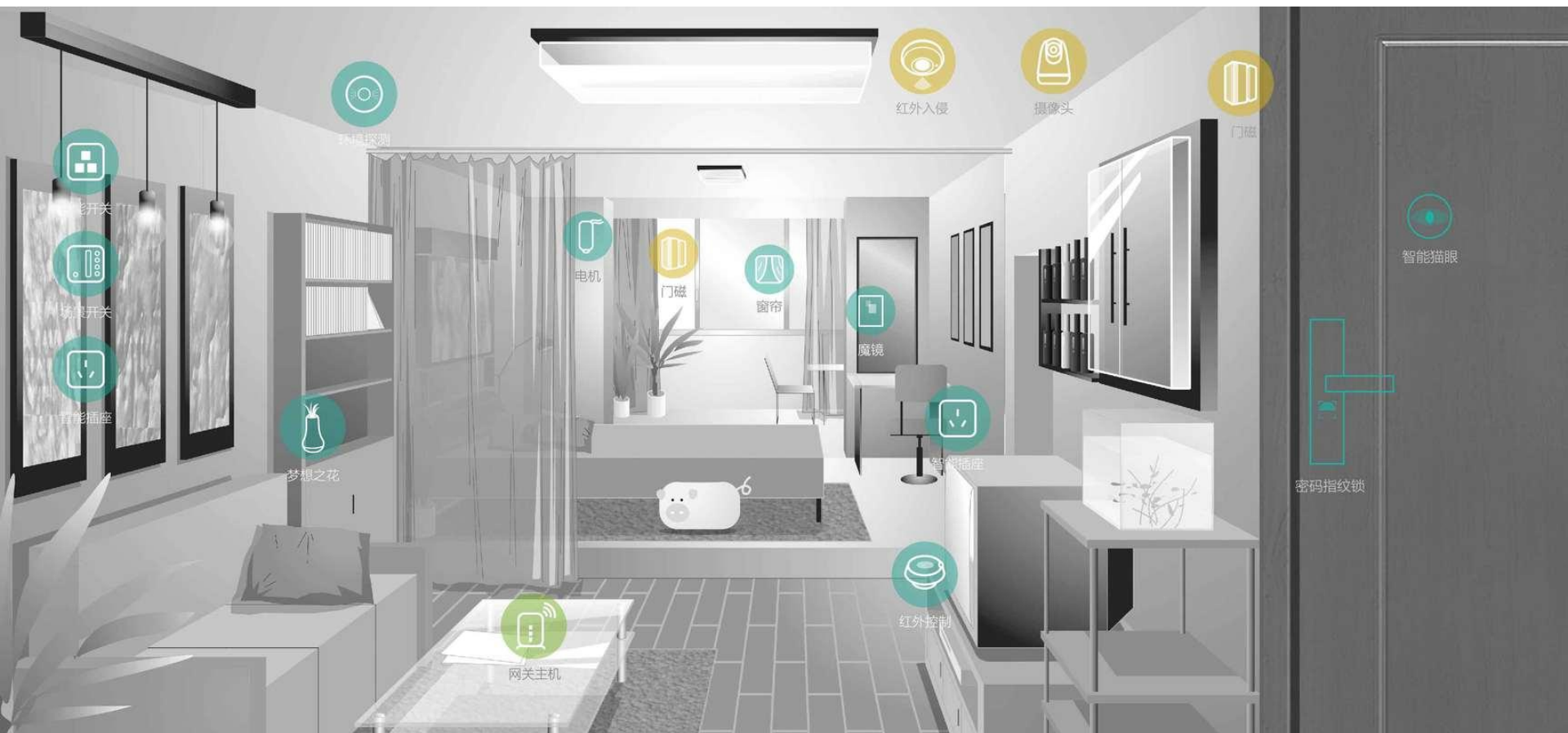
2.2 电磁兼容外环境



2.2 电磁兼容外环境



2.2 电磁兼容外环境



2.3 电磁兼容外环境解决方案

电磁隔离：通过使用屏蔽材料或设备，将敏感的电子设备隔离开来，防止电磁波的干扰。例如，可以使用金属罩或导电涂层来屏蔽无线信号发射器和接收器，减少它们之间的干扰。

滤波器：在电源线和信号线中使用滤波器，可以有效抑制电磁干扰。选择适当的滤波器电路，将不需要的频率信号滤波掉，从而提高设备的抗干扰能力。例如，在智能插座中安装低通滤波器，以减少电源线上的噪声。

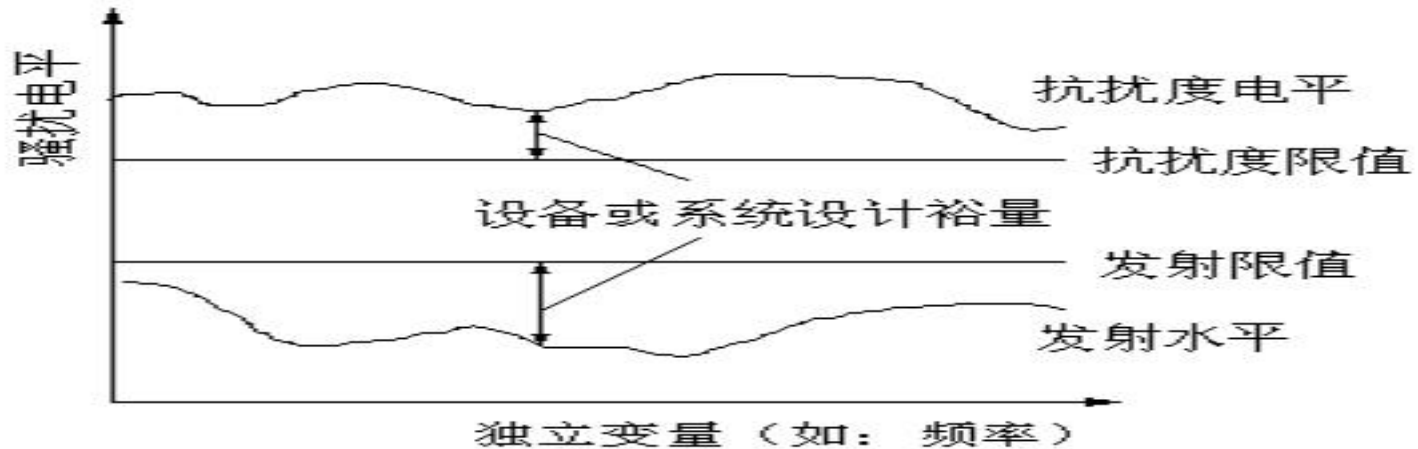
接地技术：良好的接地可以为电子设备提供一个稳定的参考电平，减少信号干扰。在智能家居系统中，合理布置地线，确保所有设备都有良好的接地，可以有效减少电磁干扰。

设计规范：在设计智能家居系统时，遵循相关的EMC设计规范非常重要。例如，国际电工委员会（IEC）发布的IEC61000系列标准和美国联邦通讯委员会（FCC）发布的FCC Part 15规定，提供了电子设备的布局、线路走向和信号屏蔽等方面的具体要求。

2.4 电磁兼容内环境

EMC内环境由产品的各电气部件以及线束组成。

- 1) 产品EMC水平
- 2) 系统EMC水平



EMC内环境的研究和设计对于确保电子电器产品的可靠性和安全性至关重要。在设计阶段，需要考虑如何减少设备内部的EMI产生，同时增强设备对EMS的抵抗能力。这通常涉及到电路设计、屏蔽技术、接地和滤波等措施。

多变的电磁环境

开关电源使用的电磁环境分析

- 1、近场电磁耦合，电磁能量密集度高，电磁环境复杂、恶劣；
- 2、产品电源端口首当其冲，传导骚扰、谐波、浪涌、电压跌落及电压变化；
- 3、来自产品的传导骚扰等箱体内电磁耦合的传导分量；
- 4、安装位置不确定，容易引起输入与输出线的耦合。

2.5 电磁兼容环境分类

- 1) 商住环境 (GB/T17799.1 电磁兼容 通用标准 居住、商业和轻工业环境中的抗扰度试验, GB/T17799.3 电磁兼容 通用标准 居住、商业和轻工业环境中的发射标准)
- 2) 工业环境 (GB/T17799.2 电磁兼容 通用标准 工业环境中的抗扰度试验, GB/T17799.4 电磁兼容 通用标准 工业环境中的发射标准)
- 3) 道路车辆环境 (GB14023车辆、机动船和由火花点火发动机驱动装置的无线电干扰特性的测量方法及允许值, GB-T 18655 车辆、船和内燃机 无线电骚扰特性 用于保护车载接收机的限值和测量方法)
- 4) 军用环境 (GJB 151B 军用设备和分系统 电磁发射和敏感度要求与测量)
- 5) 航空航天环境 (GJB 181B 飞机供电特性及对用电设备的要求, GJB 5433 无人机系统通用要求, GJB 2079 无线电系统间干扰的测量方法, GJB 1389A 系统电磁兼容性要求)

3 智能家居电磁兼容性特点

3.1 智能家居产品电磁兼容分析方法

3.1.1 硬件

3.1.2 软件

3.1.3 电磁兼容环境

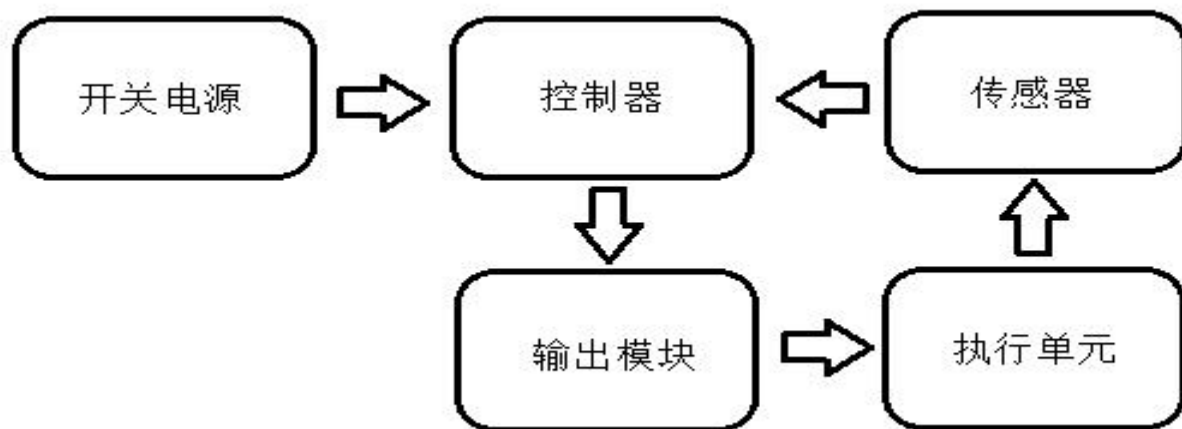
3.2 智能家居的电磁兼容性特点

3.1.1 硬件

2.1.1.1 布局

- 1) 产品设计
- 2) 产品结构（电器种类）
- 3) 电路布局（机械、电器）
- 4) PCB布线（元器件布置、端口布置、晶振布置）
- 5) 接地（产品的接地架构）

产品设计-基本结构



- 1) 开关电源 (AC-DC、DC-DC)
- 2) 控制器 (CPU处理器、)
- 3) 传感器 (温度、位置、气体、速度)
- 4) 输出模块 (变频器、放大器)
- 5) 执行单元 (电磁阀、电机、继电器、灯、负载)

3.1.1.2线束

- 1) 供电（内外传导骚扰耦合）
- 2) 控制（弱小信号瞬态骚扰）
- 3) 通讯（高频信号骚扰）
- 4) 执行（功率型骚扰）

线束-EMC基本要求

- 1) 强弱电分开（电场、磁场耦合）
- 2) 稳态瞬态分开（干扰）
- 3) 频率高低分开（调制）
- 4) 共模、差模布线（执行回路、供电回路）
- 5) 地线布置（减小地电流）

3.1.2 软件

- 1) 实现产品基本功能（分离骚扰时间）
- 2) 安全防护（机械防护、电气防护、EMC防护）
- 3) 人工智能（识别、交互）
- 4) 通讯（传导、射频、验证）

3.2 家用电器的电磁兼容性特点

电磁干扰源分析：

开关电源的开关脉冲及高次谐波；

同步信号方波及高频谐波；

数字电路工作需要的各种时钟信号及高频谐波、以及它们的组合，各种时钟如CPU芯片工作时钟；

数字信号方波及高频谐波，晶振产生的高次谐波，非线性电路现象（非线性失真、互调、饱和失真、截止失真）等引起的无用信号、杂散信号；

非正弦波波形，波形毛刺、过冲、振铃，电路设计存在的寄生频率点；

4 开关电源电磁兼容特点

4.1 开关电源在电磁兼容中的位置

4.2 开关电源电磁兼容设计原则

4.3 开关电源电磁发射源分析

4.4 开关电源在产品EMC设计中的位置

4.5 开关电源设计风险评估

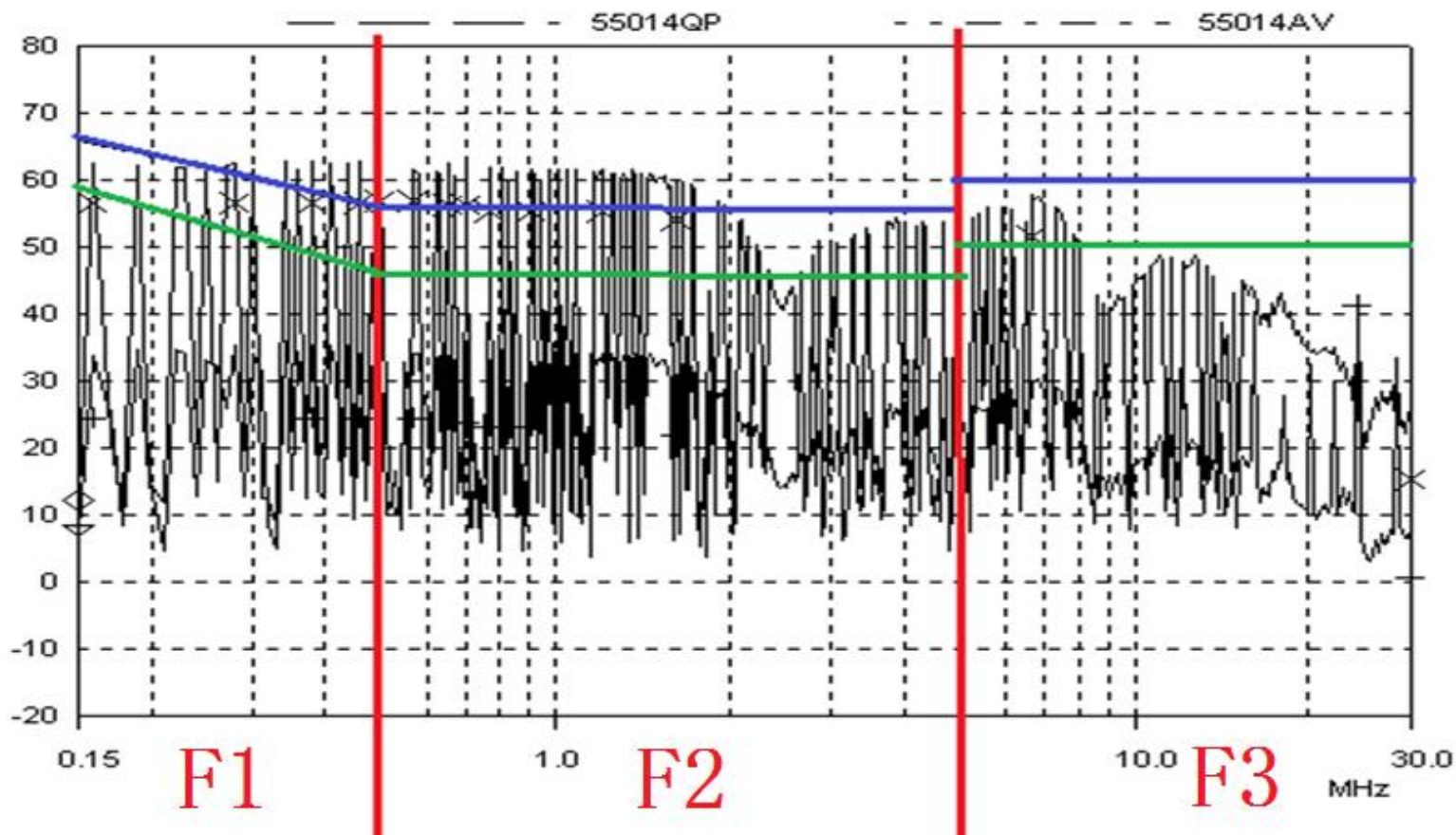
4.1 开关电源在电磁兼容中的位置

- 1) 电子电器产品的端口（骚扰、抗扰第一线）
- 2) 开关工作频率（基波及其谐波）
- 3) 高频能量大（能量变换）
- 4) 多个开关电源（AC-DC、DC-DC）
- 5) 输出开关电源（变频器、DC-AC）
- 6) 开关电源的骚扰源分析

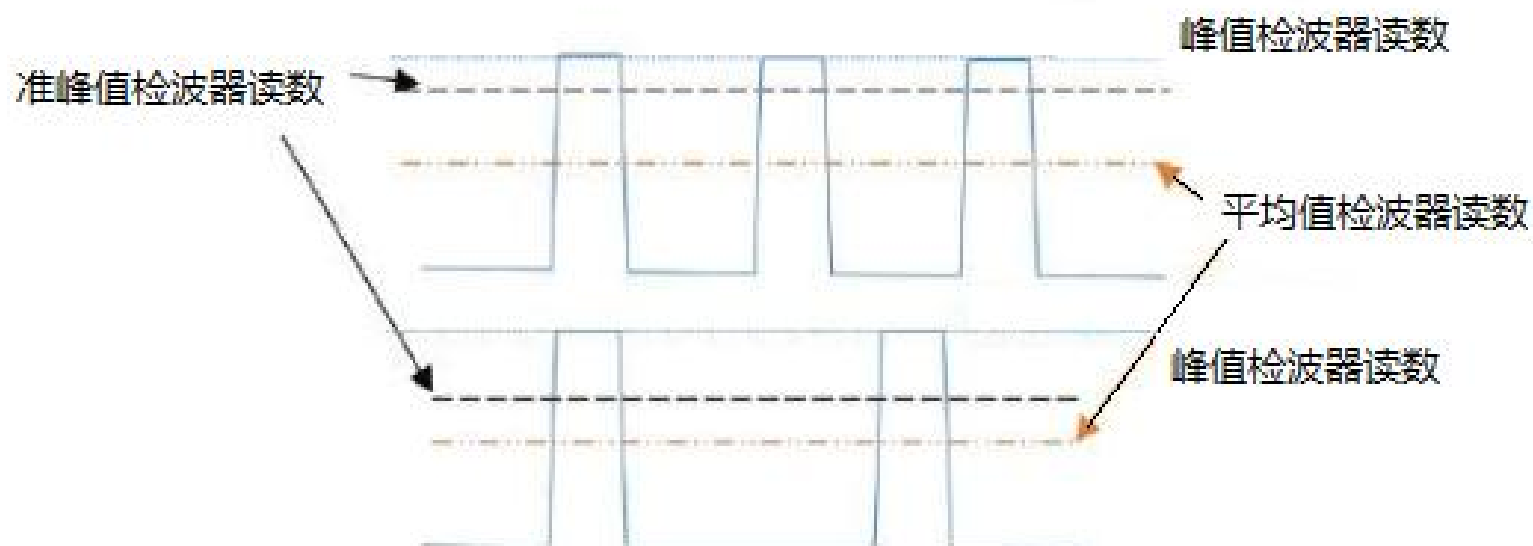
4.2 开关电源电磁兼容设计原则

- 1) 能量平衡
- 2) 端口滤波
- 3) 有源器件（整流（输入、输出）、开关管、变压器）
- 4) 输入输出端口远离







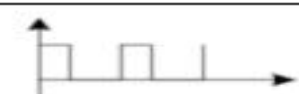
4.2.1 开关电源EMI各个频段超标的对策



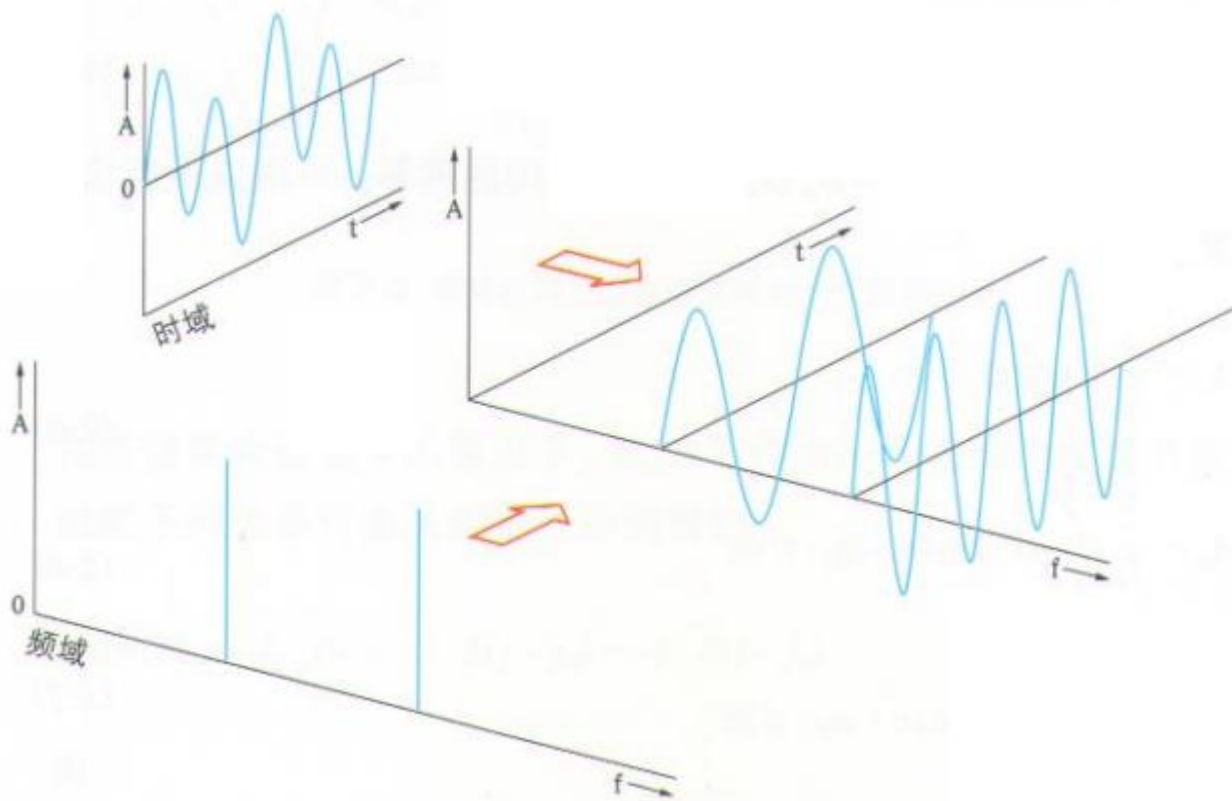
脉冲的峰值、准峰值、平均值之间的关系



常见的波形图、有效值、平均值、波形系数和波峰系数 (设：信号的峰值为1)

波形名称	波形图	有效值	平均值	波形系数	波峰系数
正弦波		$\frac{1}{\sqrt{2}}$	$\frac{2}{\pi}$	$\frac{\pi}{2\sqrt{2}}$	$\sqrt{2}$
半波整流的正弦波		$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{\pi}$	$\frac{\pi}{2}$	2
全波整流的正弦波		$\frac{1}{\sqrt{2}}$	$\frac{2}{\pi}$	$\frac{\pi}{2\sqrt{2}}$	$\sqrt{2}$
三角波		$\frac{1}{\sqrt{3}}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{2}{\sqrt{3}}$	$\sqrt{3}$
锯齿波		$\frac{1}{\sqrt{3}}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{2}{\sqrt{3}}$	$\sqrt{3}$
方波		1	1	1	1
脉冲		$\sqrt{\frac{t}{T}}$	$\frac{t}{T}$	$\sqrt{\frac{T}{t}}$	$\sqrt{\frac{T}{t}}$

时域与频域描述的是同一个对象的两个方面



开关电源**CE**各个频段超标的对策

- **Pk值-av值 > > 6db时:**

	F1	F2	F3
X↑	↓↓	↓	↑
L↑	↓	↓↓	↓
Y↑	↑	—	↓

开关电源**CE**各个频段超标的对策

- **Pk值-av值 < < 6db时:**

	F1	F2	F3
X↑	—	—	↓
L↑	↓	↓	—
Y↑	↑	—	↓

开关电源**CE**各个频段超标的对策

- **Pk值-av值在0 - 6db时:**

	F1	F2	F3
X	?	?	?
L	?	?	?
Y	?	?	?

开关电源CE测试频段与器件的关系

1、0.15-0.5MHz，以差模干扰为主

- 1.增大CX 电容量；
- 2.添加差模电感L；
- 3.小功率电源可采用 π 型滤波器处理

2、0.5-5MHz，差模共模混合，采用输入端并联CX电容来判断差模或共模骚扰，然后加以解决

- 1.对于差模干扰超标可调整X 电容量,添加差模电感器，调差模电感量；
- 2.对于共模干扰超标可添加共模电感,选用合理的电感量来抑制；
- 3.也可改变整流二极管特性来处理一对快速二极管如FR107 一对普通整流二极管1N4007。

开关电源CE测试频段与器件的关系

3、5MHz以上以共模骚扰为主，采用抑制共摸的方法

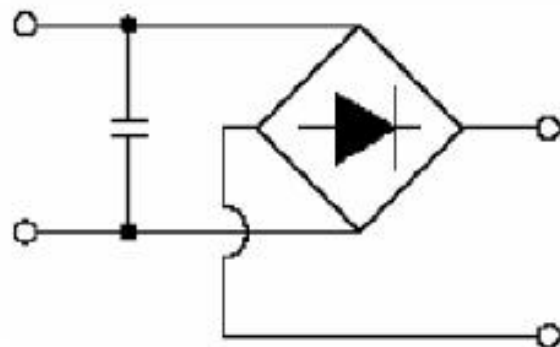
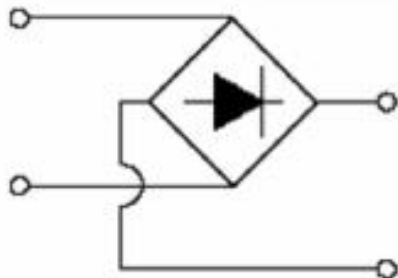
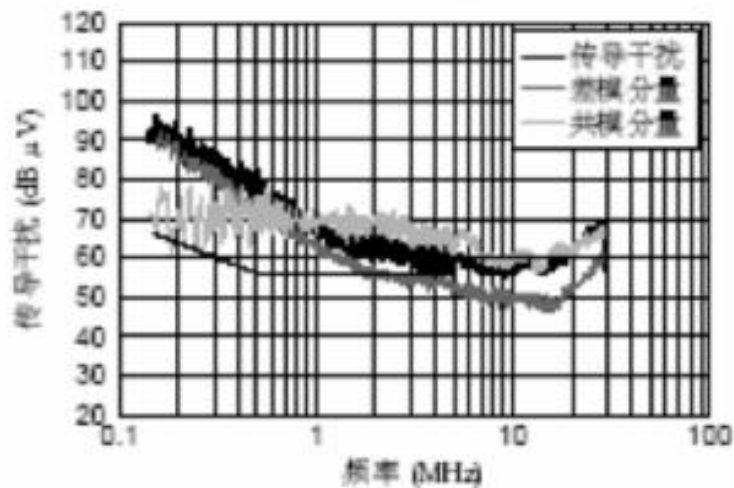
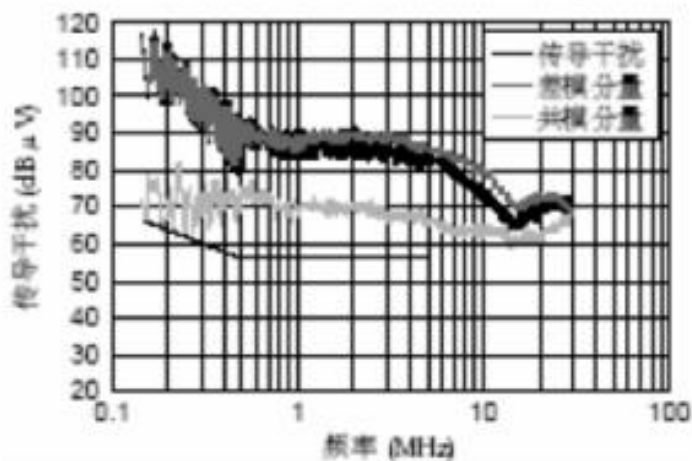
- 1.对于外壳接地的，在地线上用一个磁环串绕2-3 圈会对10MHz以上骚扰有效；
- 2.可选择紧贴变压器的铁芯粘铜箔； 铜箔闭环；
- 3.增加或调整跨接变压器的CP2A（正反馈）、CP2B（负反馈）电容的大小。

开关电源CE测试频段与器件的关系

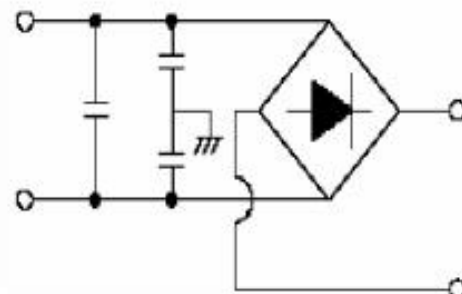
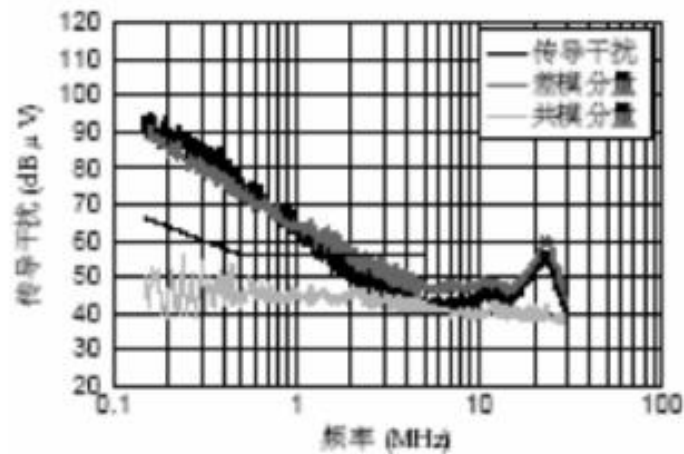
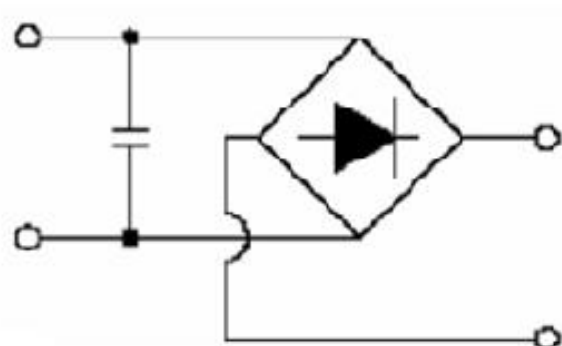
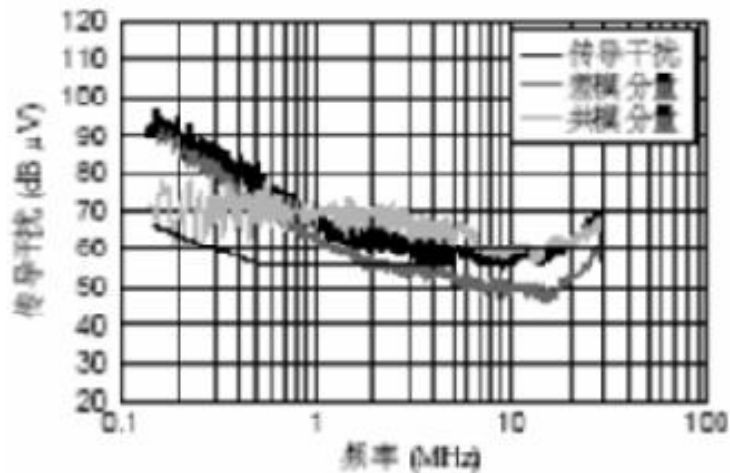
4、差模共模的判断：采用输入端并联CX电容来判断差模或共模骚扰，然后加以解决。

- 1.对于一类产品可以采用调整对地**CY1** 电容量或改变**CY1** 电容位置；
- 2.调整调整跨接变压器的**CP2A**（正反馈）、**CP2B**（负反馈） 电容位置及参数值；
- 3.在变压器外面包铜箔；变压器最里层加屏蔽层；调整变压器的各绕组的排布。
- 4.改变**PCB**布局；
- 5.输出线前面接一个双线并绕的小共模电感**CML2**；
- 6.在输出整流管两端并联**RC** 滤波器且调整合理的参数；
- 7.在变压器与驱动电路之间加**EMI** 穿芯磁珠；
- 8.在变压器的输入电压脚加一个小电容。
- 9. 可以用增大**MOS** 驱动电阻。

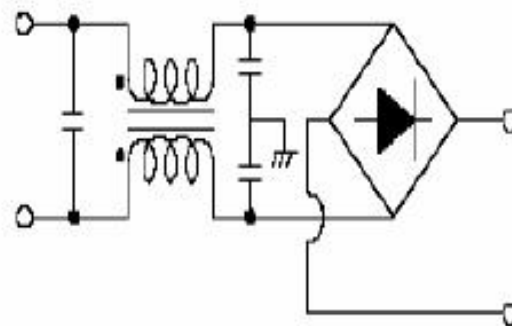
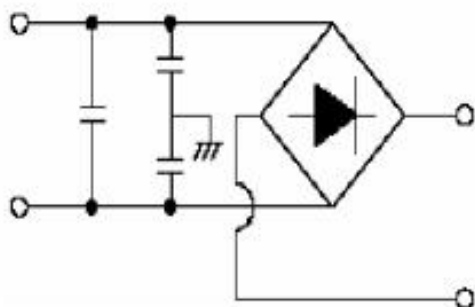
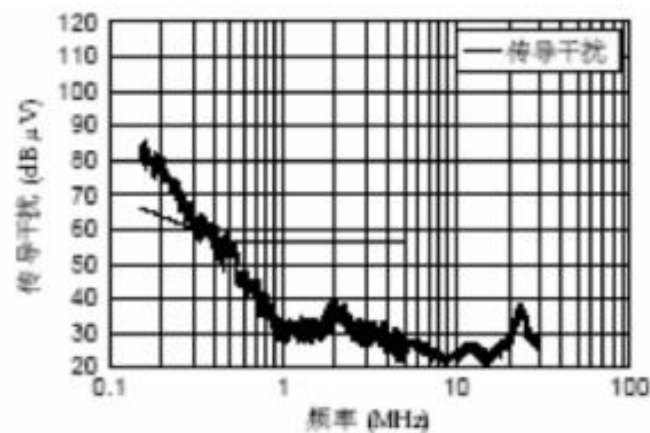
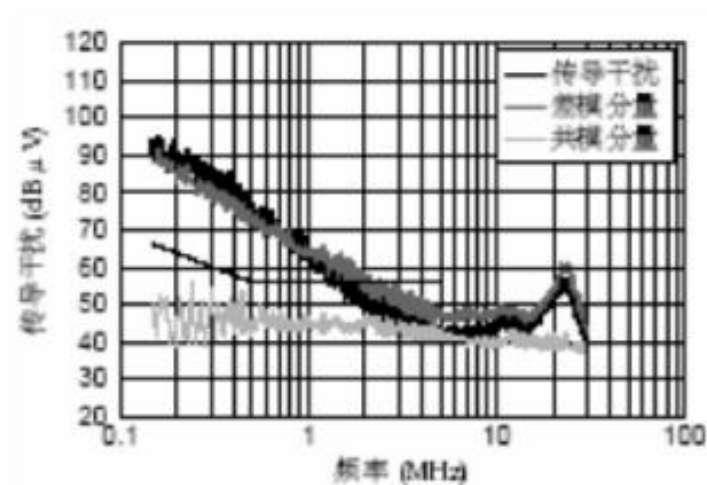
4.2.2 X电容器滤波



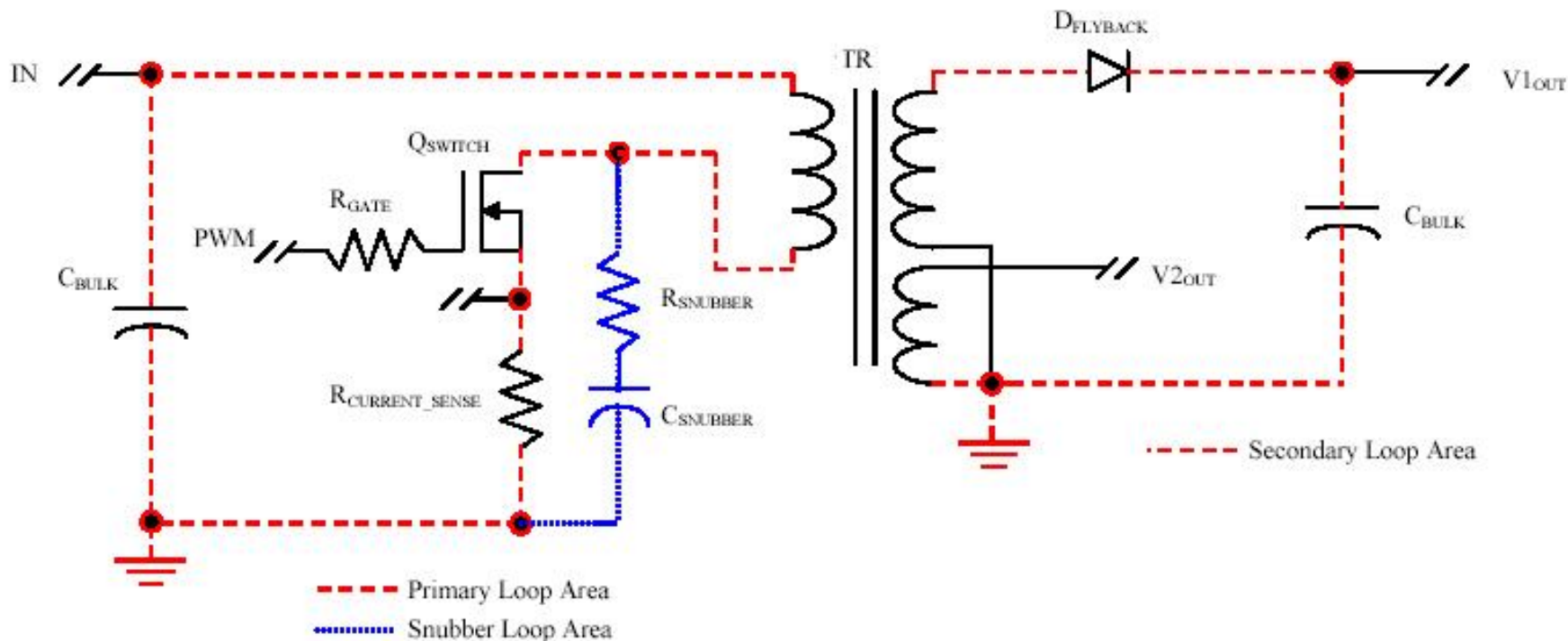
4.2.2 X、Y电容器滤波



4.2.2 X、Y电容L共模电感滤波



4.2.3 电源适配器电路骚扰抑制原理



为可能产生的干扰信号，提供合适的回路。

4.3 开关电源电磁发射源分析

- 1) 工作频率（开关频率）
- 2) 脉冲前沿（ dV/dt ）
- 3) 过冲（阻抗匹配）
- 4) 变压器的非线性工作区
- 5) 电源适配器电路骚扰抑制原理
- 6) 开关电源EMI各个频段超标的对策

4.4 开关电源在产品EMC设计中的位置

- 1) 开关电源在电子电器产品的端口，直接影响产品的传导骚扰、辐射发射骚扰
- 2) 开关工作的可靠性直接影响到产品的可靠性
- 3) 开关电源的功率直接限制了产品的功率

4.5 开关电源设计EMC风险评估

产品的机械结构构架设计的**EMC**风险分析

- (1) 体积限制，输入、输出电路屏蔽隔离措施；
- (2) 引出线位置：对侧布置：比较理想；同侧布置：输入、输出电路具有耦合风险；
- (3) 分层设计的耦合问题；

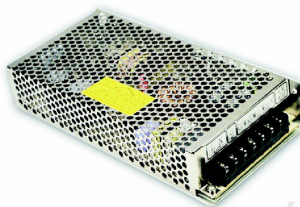
对侧布置



飞线风险



同侧布置



体积限制



分层设计



屏蔽隔离措施



4.5 开关电源设计EMC风险评估

产品的机械结构构架设计的**EMC**风险分析

(4) 热通道设计与电磁耦合的问题（热设计与电磁兼容性）。

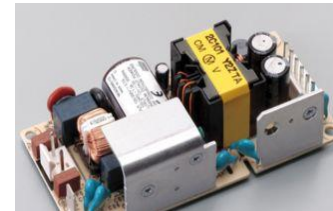
强迫通风



自然通风



热容量散热



黑体散热



对流散热



存在隐患的热设计



5 智能控制器电磁兼容特点

5.1 控制器电磁兼容共性

5.2 控制器电磁兼容设计原则

5.3 控制器电磁兼容发展趋势

5.1 控制器电磁兼容共性

- 1) 低电压工作（抗干扰能力弱）
- 2) 有源器件密集（容易产生无用信号调制）
- 3) 晶振（能量控制）
- 4) 输入、输出阻抗失配（信号前沿过冲）
- 5) 弱线过长（易受干扰）
- 6) 端口滤波（实现难）
- 7) 远地，易受水平耦合干扰（参考地抬升导致...）
- 8) 地平面不理想（小、地阻抗大）

5.2 控制器电磁兼容设计原则

- 1) 干净地（弱地）
- 2) 端口去耦（排阻）
- 3) 能量控制（晶振）
- 4) 空脚定义（不留空脚）
- 5) 集中
- 6) 短线（优先）
- 7) 阻抗匹配（减少过冲）
- 8) LC滤波（下策）
- 9) 屏蔽（下下策）

5.3 控制器电磁兼容发展趋势

- 1) 小型化（器件越来越小、集成电路）
- 2) 集成化（功能模块集成）
- 3) 抗干扰能力不断加强（为了适应不断发展的电磁环境）

6 电磁兼容技术对策与实现

6.1 电磁兼容技术对策的选择

6.2 如何实现电磁兼容

6.3 如何实现家用电器产品的电磁兼容

6.1 电磁兼容技术对策的选择

- 1) 接地
- 2) 滤波
- 3) 屏蔽
- 4) **PCB**设计
- 5) 小型化
- 6) 电磁环境

6.2 如何实现电磁兼容

6.2.1 电磁兼容基础

6.2.2 电磁兼容标准

6.2.3 电磁兼容试验

6.2.4 整改

6.2.5 设计

6.2.6 生产过程控制

6.2.7 电磁兼容环境

6.2.8 安全

6.2.9 实验室规划与建设

6.3 如何实现家用电器产品的电磁兼容

6.3.1 EMC风险评估

6.3.2 电路设计

6.3.3 器件布局

6.3.4 端口滤波设计

6.3.5 接地设计

6.3.6 屏蔽设计

6.3.7 验证测试

如何实现家用电器产品的电磁兼容

电磁兼容试验只是最终验证产品是否满足设计需求的手段，要开发一个可以满足电磁兼容要求的电子电器产品，需要在对电子电器产品开发整个生命周期的EMC 风险进行管理，通过整个开发流程的管控可以有效避免不必要的电磁兼容问题的发生，同时可以通过布局、布线、滤波、接地等方法，寻求低成本的解决很多电磁兼容问题，通过合理规划和管理最终达到节约研发成本，提高研发效率的目的。

如何实现家用电器产品的电磁兼容

经过对电子电器产品的电磁兼容性风险评估；
在电子电器产品的设计初级阶段，依据产品的电磁兼容标准要求（或客户要求），对评估结果进行对策，并落实到设计图中；
分阶段地对设计结果进行有效性验证；
对设计结果做出必要的调整；
设置EMC测试点、设置端口滤波、设置时钟信号的抑制回路、设置信号完整性的匹配电路等等。

7 现场问题解答





谢谢大家

徐强华

- 13621858185
- 13621858185@139.com
- 恩宁安全技术（上海）有限公司