



# 电源及电源芯片的 电磁兼容性问题

徐强华

恩宁安全技术（上海）有限公司





# 目 录

## 第一章 电磁兼容性原理

- 1.1 电磁兼容入门
- 1.2 电磁兼容概述
- 1.3 电磁兼容要素

## 第二章 产品认证与实际使用的问题

- 2.1 认证测试的局限性
- 2.2 如何理解多变的负载特性
- 2.3 如何适应多变的使用环境

## 第三章 电源芯片与产品可靠性

- 3.1 可靠性概述
- 3.2 产品可靠性试验项目
- 3.3 电源芯片与电磁兼容性

## 第四章 开关电源的电磁兼容分析

- 4.1 开关电源电磁骚扰源的分析
- 4.2 开关电源电磁骚扰的电磁兼容对策

## 第五章 常见问题及解决方法

- 5.1 EMC测试原理与干扰实质
- 5.2 开关电源的骚扰源分析
- 5.3 辐射骚扰的整改方法
- 5.4 传导骚扰的整改方法
- 5.5 开关电源电磁兼容特性分析
- 5.6 实例：电源产品整改
- 5.7 实例：开关电源EMI各个频段超标的对策



# 第一章 电磁兼容性原理

1.1 电磁兼容入门

1.2 电磁兼容概述

1.3 电磁兼容要素



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。



### 1.2.1 电磁兼容性

- (1) 电磁干扰(EMI)：是指设备在正常运行过程中对所在环境产生的电磁干扰不能超过一定的限值。
- (2) 电磁抗扰度(EMS)：是指器件对所在环境中存在的电磁干扰具有一定程度的抗扰度。
- (3) 电磁环境：即系统或设备的工作环境。

### 1.2.2 EMC的传播途径

- (1) 通过辐射的形式；
- (2) 通过传导的形式。

- ### 1.2.3 EMC的解决办法：
- (1) 接地；
  - (2) 滤波；
  - (3) 屏蔽隔离；
  - (4) PCB设计。



#### 1.2.4 规律

(1) EMC费效比关系规律：EMC问题越早考虑、越早解决，费用越小、效果越好。

(2) 高频电流环路面积 $S$ 越大，EMI辐射越严重。

(3) 环路电流频率 $f$ 越高，引起的EMI辐射越严重，电磁辐射场强随电流频率 $f$ 的平方成正比增大。



- 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



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；





## 1.3.2 耦合途径

辐射干扰主要通过壳体和连接线以电磁波形式污染空间电磁环境；

传导干扰是通过电源线骚扰公共电网或通过其他端子（如：射频端子，输入端子）影响相连接的设备。



敏感受体，如：各类电磁传感器、放大电路、弱电信号等；  
对于敏感受体（电路）通过耦合途径接受的外部骚扰：  
如：浪涌、电快速脉冲群、静电、电压跌落、电压变化和  
各种电磁场等。



21电子资源网  
21dianyuan.com



## 第二章 产品认证与实际使用的问题

- 2.1 认证测试的局限性
- 2.2 如何理解多变的负载特性
- 2.3 如何适应多变的使用环境



- 电源认证测试的局限性是：
  - 1、电源是在配置电阻负载的工况下测试的，与实际使用的负载有差距；
  - 2、认证测试时，负载电流是不变的，实际工作时电流可能是变化的；
  - 3、测试布置与实际使用的布局不一样。



- 电源设计者不可预知的负载特性；
- 理想测试状态的电阻负载与实际使用场合的容性或感性负载区别；
- 电源应该与负载进行二次匹配，然后进行EMC测试；
- 电源的轻载与额定负载的区别；
- 实际工作中电源的负载是多变的。



## 2.3 如何适应多变的使用环境

- 工业环境（等级A：EMI要求低；EMS要求高）与商住环境（等级B：EMI要求高；EMS要求低）的考核要求不一；
- 温度的影响（散热状况影响工作）；
- 供电电源的影响（电压、谐波等电能质量）；
- 网路谐振（降低网路的Q值）；
- 负载异常（电路保护）等。



## 第三章 电源芯片与产品可靠性

3.1 可靠性概述

3.2 产品可靠性试验项目

3.3 电源芯片与电磁兼容性



1) 可靠性：元件、产品、系统在一定时间内、在一定条件下无故障地执行指定功能的能力或可能性。可通过可靠度、失效率、平均无故障间隔等来评价产品的可靠性。

2) 可靠性要素：可靠性包含了耐久性、可维修性、设计可靠性三大要素。

3) 可靠性分类：产品可靠性又分为固有可靠性和使用可靠性。其中，固有可靠性通过设计、制造的过程来保证，很大程度上受设计者和制造者的影响。而使用可靠性依赖于产品的使用环境，操作的正确性，保养与维修的合理性，所以它很大程度上受使用者的影响。

4) 可靠性定义：产品、系统在规定的条件下，规定的时间内，完成规定功能的能力称为可靠性。





5) 可靠性试验：A. 环境试验；B. 寿命试验；C. 筛选试验；D. 现场使用试验；E. 鉴定试验

6) 可靠性重要性：可靠性是与电子工业的发展密切相关的，其重要性可从电子产品发展的三个特点：（1）电子产品的复杂程度在不断增加。（2）电子产品的使用环境日益严酷。（3）电子产品的装置密度不断增加。

7) 可靠性意义：（1）高可靠性产品才能满足现代技术和生产的需要；（2）高可靠性产品可获得高的经济效益；（3）高可靠性产品，才有高的竞争能力。



## 3.2 产品可靠性试验项目

为了确认产品能在这些环境下正常工作，国家、国际标准都要求产品在环境方法模拟一些测试项目，这些测试项目包括：

- 1). 高温测试（高温运行、高温贮存）；
- 2). 低温测试（低温运行、低温贮存）；
- 3). 高低温交替测试（温度循环测试、热冲击测试）；
- 4). 高温高湿测试（湿热贮存、湿热循环）；
- 5). 机械振动测试（随机振动测试、扫频振动测试）；
- 6). 汽车运输测试（模拟运输测试、碰撞测试）；
- 7). 机械冲击测试；
- 8). 开关电测试；
- 9). 电源拉偏测试；
- 10). 冷启动测试；
- 11). 盐雾测试；
- 12). 淋雨测试；
- 13). 尘砂测试等。



- 1) 可靠性设计要求在电源芯片集成电路的需求分析和设计阶段，就充分考虑芯片的使用场景和环境，制定其可靠性指标和失效容限，将预防失效和失效后保护的措施导入电路设计中。可靠性设计可以从线路、版图、工艺、封装结构几个方面来实施。
- 2) 合适的工作频率。频率高，效率高，骚扰频谱宽，骚扰源频率高，发射能量大；频率低，效率低，发热量大，骚扰频谱窄，骚扰源频率低，发射能量小；
- 3) 合适的工作电压与电流。控制冲击电流。可靠性冗余考虑。
- 4) 热平衡设计。使产品工作在可控制区间。



## 第四章 开关电源的电磁兼容分析

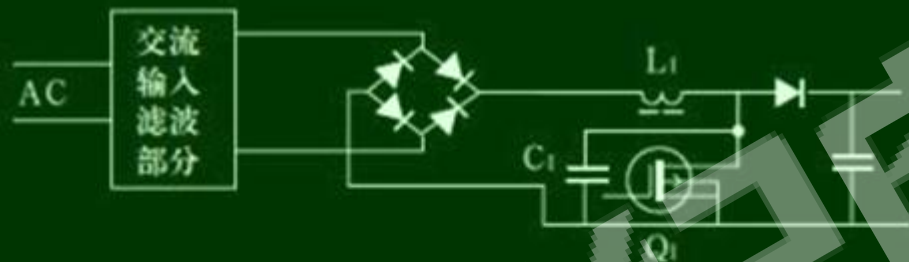
- 4.1 开关电源电磁骚扰源的分析
- 4.2 开关电源电磁骚扰的电磁兼容对策



21dianwuan.com



# 4.1 开关电源电磁骚扰源的分析



a 输入整流及PFC主电路



b 全桥逆变及输出整流主电路

开关电源主拓扑电路原理图



### 骚扰源分析：

图示电路中的整流器、功率管Q1，在图1b电路中的功率管Q2~Q5、高频变压器T1、输出整流二极管D1~D2等，都是开关电源工作时产生电磁骚扰的主要骚扰源：

- (1) 整流器：整流过程产生的高次谐波会沿着电源线产生传导骚扰和辐射骚扰。
- (2) 开关功率管：开关功率管工作在高频导通和截止的状态，为了降低开关损耗，提高电源功率密度和整体效率，开关管的打开和关断的速度越来越快（通常在ms-ns级）产生高频高压的尖峰及其谐波，从而对空间和交流输入线形成电磁骚扰。
- (3) 高频变压器：高频变压器T1进行功率变换的同时，产生交变的电磁场，在一定的条件下，向四周空间辐射电磁波，导致辐射发射。变压器的分布电感和电容产生振荡，并通过变压器初次级之间的分布电容耦合到交流输入回路，产生传导发射。
- (4) 整流二极：在输出电压比较低的情况下，输出整流二极管工作在高频开关状态，由此形成电磁骚扰源。



由于二极管的引线寄生电感、结电容的存在以及反向恢复电流的影响，使之工作在很高的电压和电流变化率下，二极管反向恢复的时间越长，则尖峰电流的影响也越大，骚扰信号就越强，由此产生高频衰减振荡，其特征是一种差模传导骚扰。

发射路径分析：

所有产生的这些电磁信号，通过电源线、信号线、接地线等金属导线传输到外部电源形成传导骚扰。通过导线和器件辐射或通过充当天线的互连线辐射的骚扰信号造成辐射骚扰。



- (1) 在开关电源输入端口设置电源滤波器，抑制开关电源所产生的高次谐波。
- (2) 在输入、输出电源线上设计铁氧体磁环，既可以抑制电源线内的高频共模，也可以减小通过电源线辐射的骚扰能量。
- (3) 电路设计时，
  - 1) 电源线尽可能靠近地线，以减小差模辐射的环路面积；
  - 2) 把输入交流电源线与输出直流电源线分开走线，减小输入输出间的电磁耦合；
  - 3) 信号线远离电源线，靠近地线走线，并且走线不要过长，以减小回路的环面积；
  - 4) PCB板上的线条宽度不能突变，拐角采用圆弧过渡，尽量不采用直角或尖角。
- (4) 对芯片和MOS开关管安装去耦电容，其位置尽可能地靠近并联在器件的电源和接地管脚。
- (5) 由于接地导线存在 $Ldi/dt$ ，PCB板和机壳间接地采用较粗的导线，并就近接地。
- (6) 在开关管以及输出整流二极管两端加RC吸收电路，吸收浪涌电压。





## 第五章 常见问题及解决方法

- 5.1 EMC测试原理与干扰实质
- 5.2 开关电源的骚扰源分析
- 5.3 辐射骚扰的设计思路与整改方法
- 5.4 传导骚扰的设计思路与整改方法
- 5.5 开关电源电磁兼容特性分析
- 5.6 实例：电源产品整改
- 5.7 实例：开关电源EMI各个频段超标的对策



- 开关电源传导电磁干扰：
- 由于功率开关管的高速开关动作，其电压和电流变化率都很高，上升沿和下降沿包含了丰富的高次谐波，所以产生的电磁干扰强度大；
- 开关电源的电磁干扰主要集中在二极管、功率开关器件以及与其相连的散热器和高压变压器附近；
- 由于开关管的开关频率从几十kHz到几MHz，所以开关电源的干扰形式主要是传导干扰和近场干扰。其中，传导干扰会通过噪声传播路径注入电网，干扰接入电网的其他设备。



- EMC测试原理（传导：差模与共模电压、电流；  
辐射：射频共模电流）
- 干扰实质（骚扰来自于突变）



21世纪电源网  
21dianyuan.com



- 开关电源的骚扰源分析
  - 1、工作频率（开关频率）
  - 2、脉冲前沿
  - 3、过冲（阻抗匹配）
  - 4、变压器的非线性工作区



## 5.3 辐射骚扰的设计思路与整改方法

- 1、限值能量
- 2、阻断等效天线
- 3、阻抗匹配
- 4、骚扰源头抑制
- 5、端口抑制



## 5.4 传导骚扰的设计思路与整改方法

- 1、如何区分共模、差模骚扰；
- 2、X电容的使用范围（频率抑制范围）
- 3、Y电容的使用范围（频率抑制范围）
- 4、滤波器件
- 5、滤波器

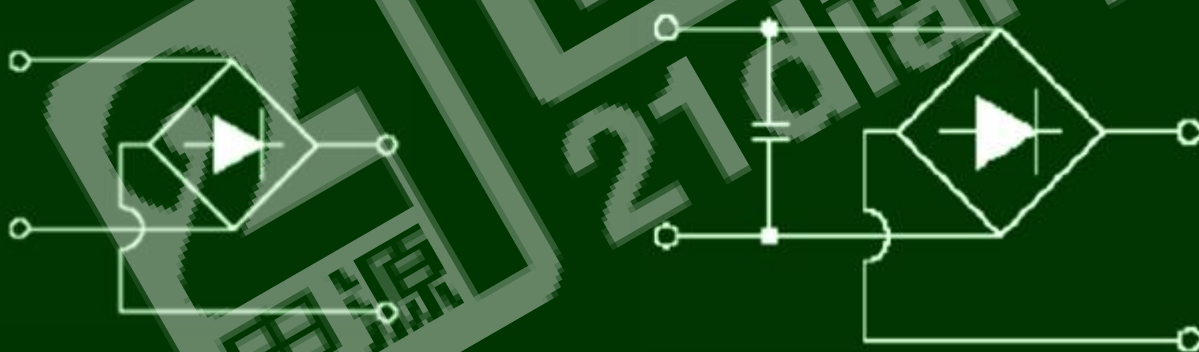
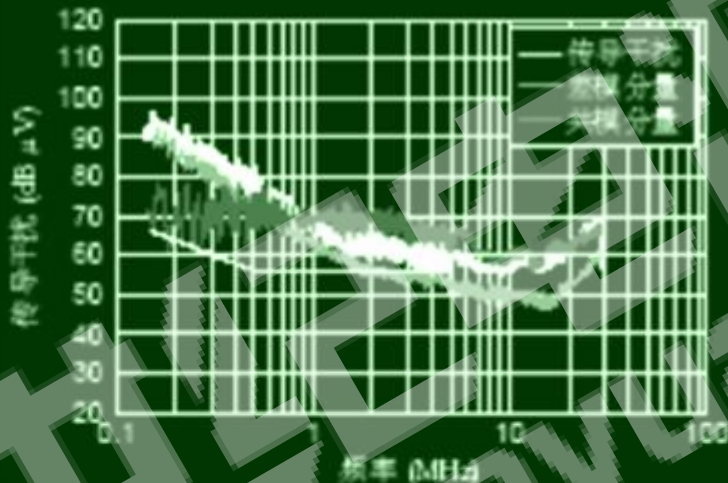
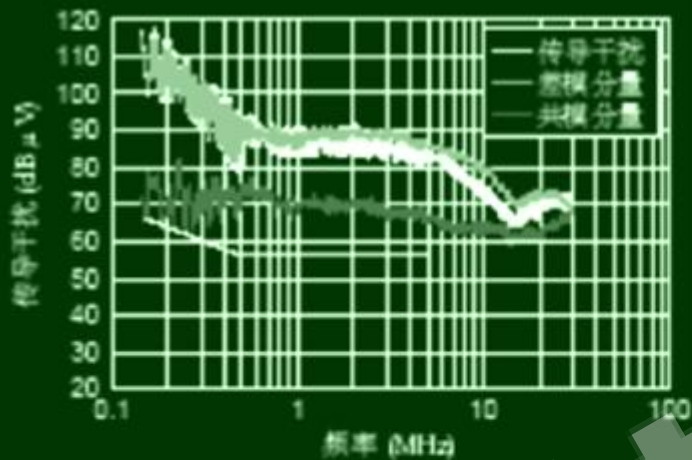


- 1) 开关电源及数字设备由于脉冲电流和电压具有很丰富的高频谐波，因此会产生很强的辐射；
- 2) 电磁干扰包括辐射型(高频)EMI、传导型(低频)EMI；
- 3) 产生EMC问题主要通过两个途径：一个是空间电磁波干扰的形式；另一个是通过传导的形式。



# 电子研习社5.6 实例：X电容器滤波

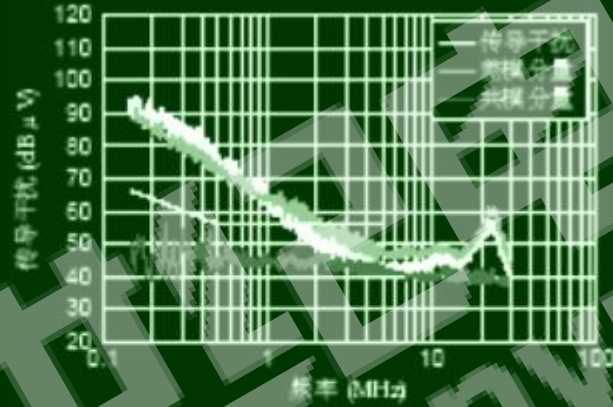
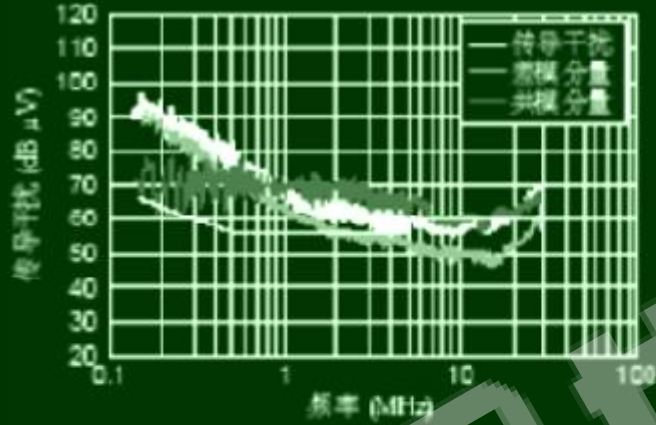
电子工程师的掌上学习平台





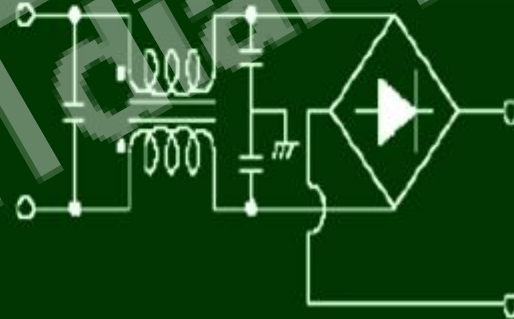
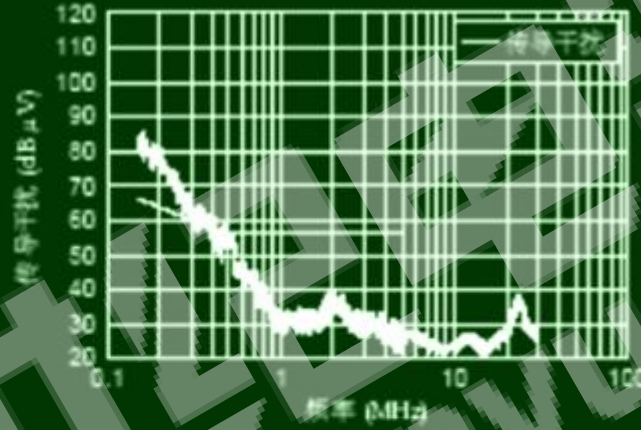
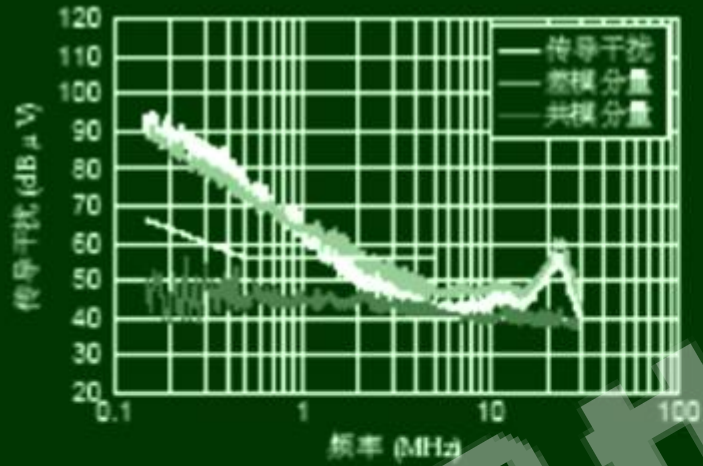


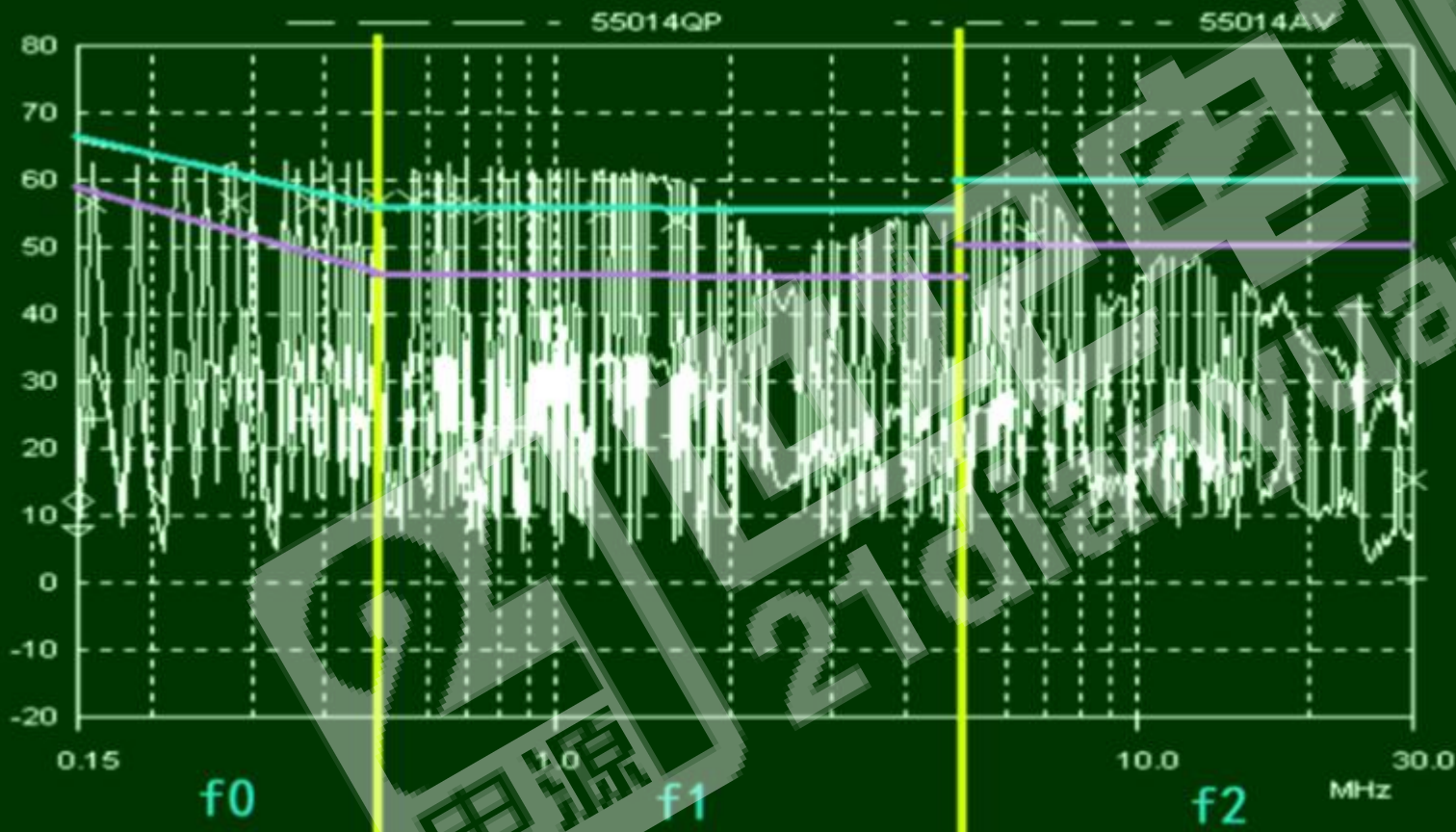
# 5.6 实例：X、Y电容器滤波





# 5.6 实例：X、Y电容L共模电感滤波







# Q&A

**徐强华**

• 13621858185

• [13621858185@139.com](mailto:13621858185@139.com)

• 恩宁安全技术（上海）有限公司

