

EMC诊断技术系列讲座

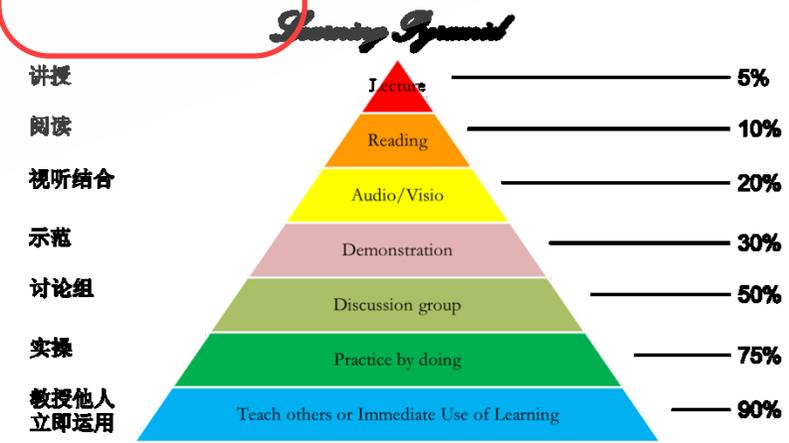
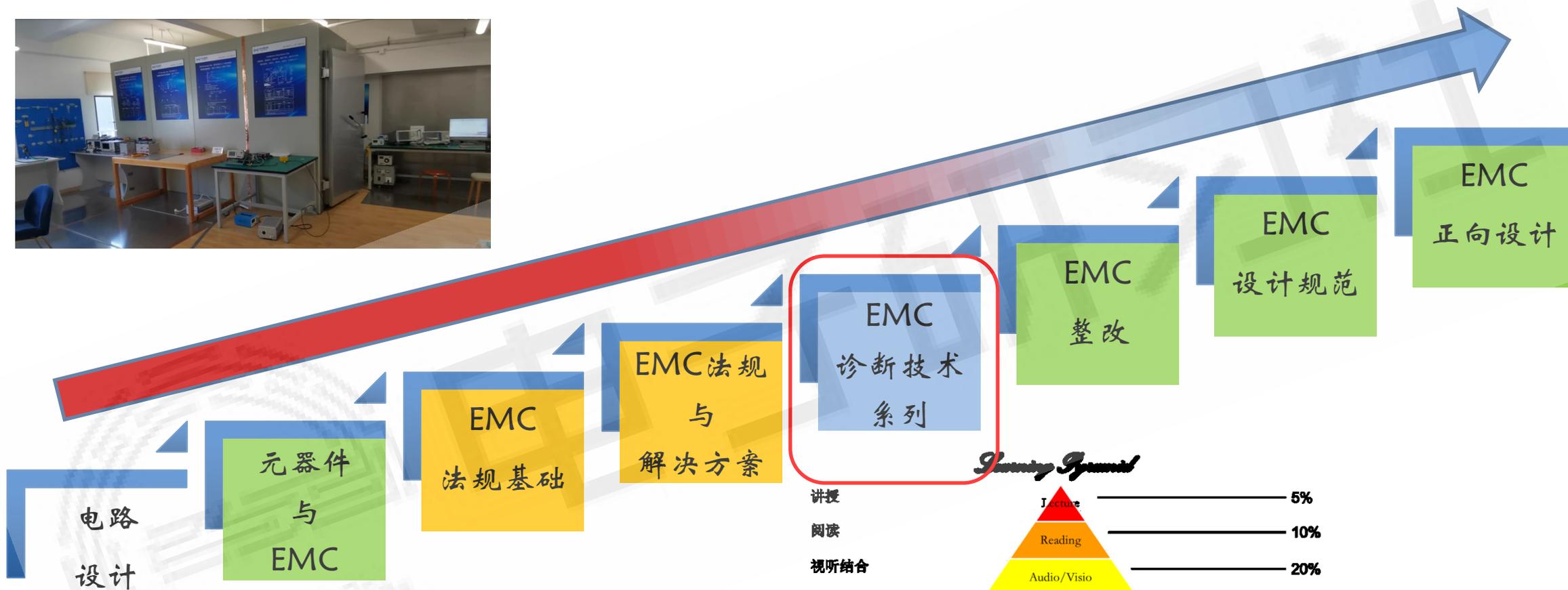
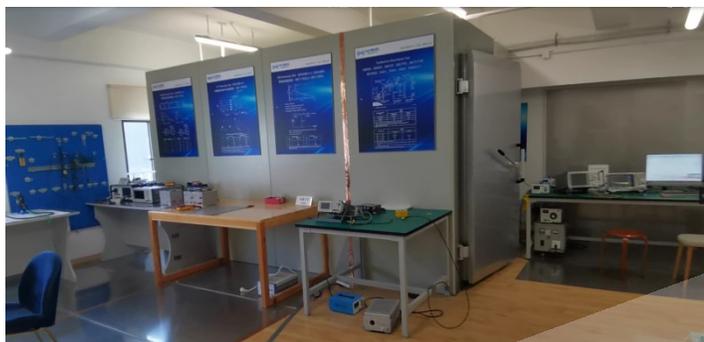
器件篇



敏业EMC中心

2020年3月26日

EMC技术阶梯讲座



EMC诊断技术系列讲座

► 讲座的支持团队

- 21世纪电源网的团队

- 敏业的EMC专家团队



免费诊断测试

价值4万元的免费测试诊断服务回馈给各位粉丝及网友!

限20位

| | 测试项目 | 标准/特点 |
|----|---------------|---|
| 1 | 噪声源定位 | 精确定位噪声源，最高精度达2mm。为从噪声源解决传导辐射问题提供依据。 |
| 2 | 差共模噪声分量 | 工信部《电子设备共模和差模骚扰测量方法》；差共模抑制比 >40dB@9k-30MHz, >30dB@≤108MHz覆盖汽车电子的传导干扰频段。 |
| 3 | 传导骚扰测试 | 照明及工科医9kHz-30MHz; 汽车150kHz-108MHz |
| 4 | 插入损耗测试 | CISPR17-1/ GB/T7343; 测量滤波器件（电感，电容）和整体滤波器的插入损耗 |
| 5 | 传导路径定位 | 专利的共模探头，探测传导干扰传播路径。 |
| 6 | 辐射骚扰摸底测试 | CISPR11/GB4824, CISPR12/GB14023, CISPR13/GB13837, CISPR14/GB4343, CISPR15/GB17743, CISPR22/GB9254, CISPR25/GB18655, CISPR32, 30MHz-1GHz的辐射骚扰摸底测试。 |
| 7 | 快速瞬变脉冲群抗扰度EFT | IEC61000-4-4/GB19510.4; Max. 5kV |
| 8 | 静电抗扰度测试ESD | IEC61000-4-2/GB19510.2; Max. 30kV空气放电接触放电 |
| 9 | 浪涌抗扰度测试Surge | IEC61000-4-5/GB19510.5; 可以做6kV浪涌EMC测试（组合波） |
| 10 | 产品中敏感部位定位和探测 | 定位对EFT和ESD敏感的器件或管脚。 |

标准单价250元/小时

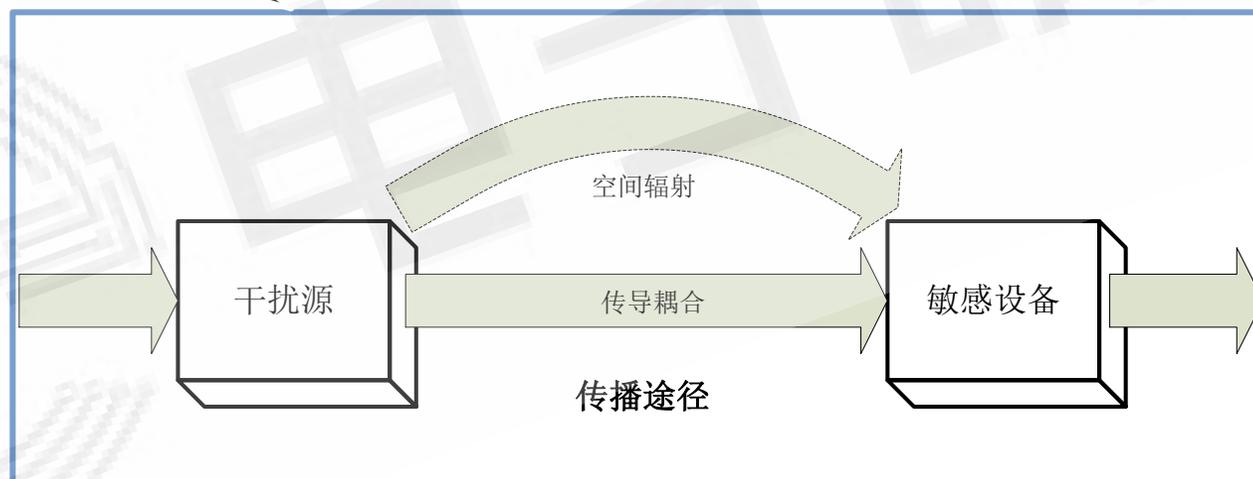
1. EMC诊断技术—综述
2. EMC诊断技术—滤波篇
3. EMC诊断技术—噪声篇
4. EMC诊断技术—器件篇
5. EMC诊断技术—电容篇
6. EMC诊断技术—电感篇
7. EMC诊断技术—诊断仪器篇

EMC诊断技术—滤波篇回顾

➤ EMC三大手段：屏蔽、滤波和接地

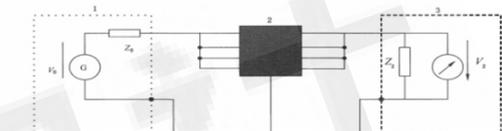
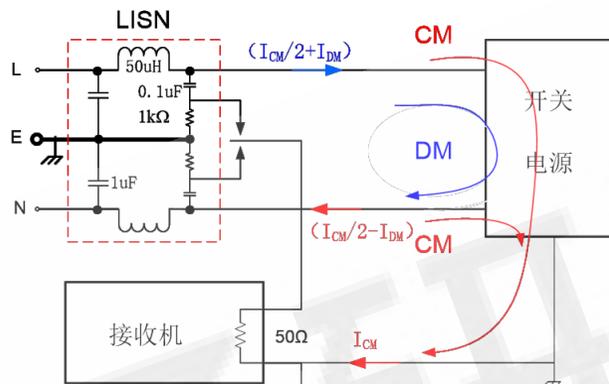
“路”

“场”

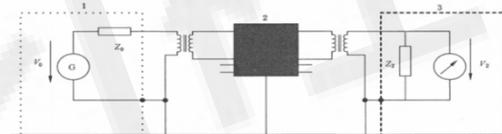


EMC诊断技术—滤波篇回顾

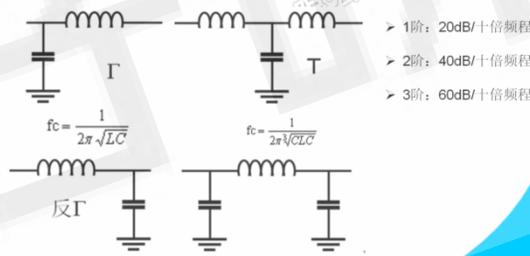
1. 共模和差模分量
2. 插入损耗
3. 阻抗匹配
4. 滤波电路的简化
5. 滤波器的应用关键点



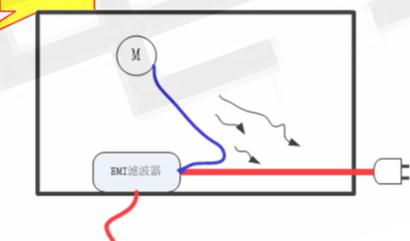
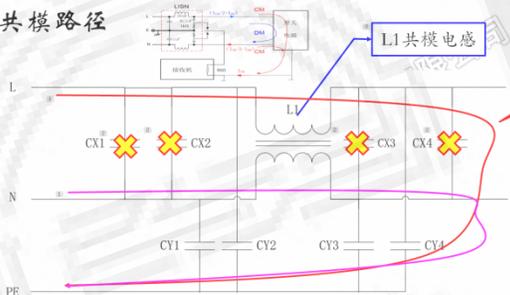
不对称（共模）插入损耗测试电路

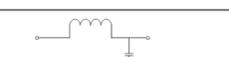


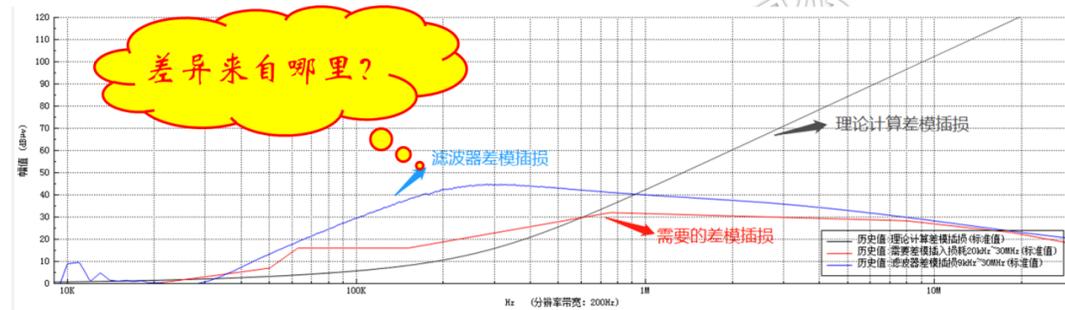
对称（差模）插入损耗测试电路



共模路径

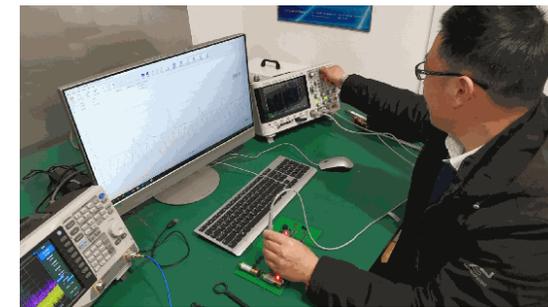
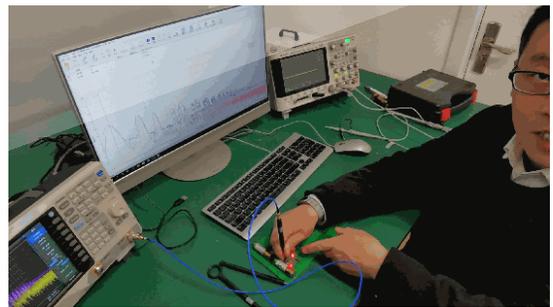
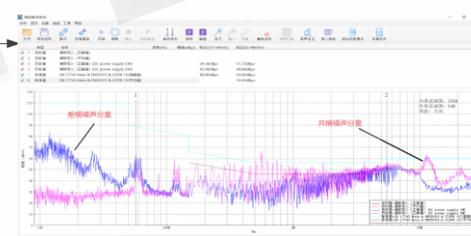
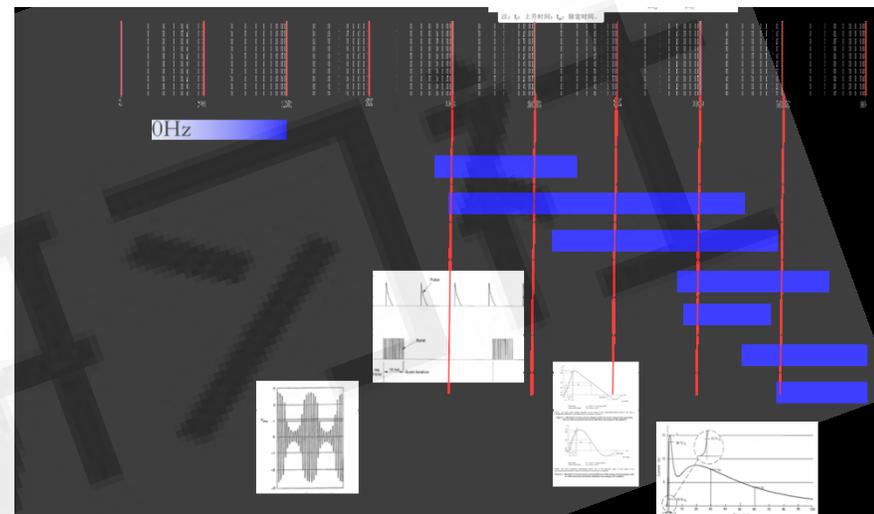
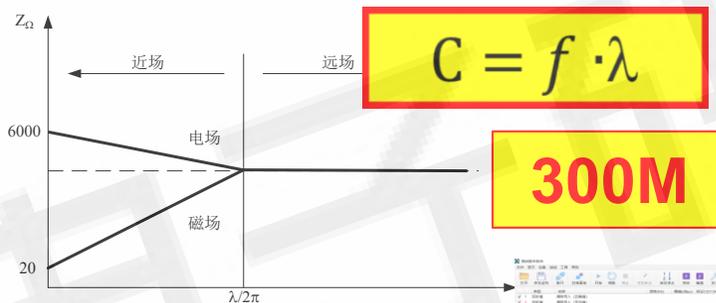
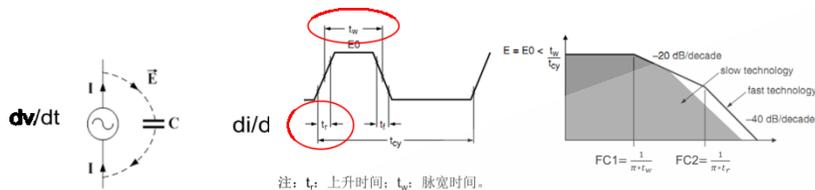


| 源端阻抗特性 | 应采用的滤波电路 | 负载端阻抗特性 |
|--------|---|---------|
| 高阻抗 |  | 高阻抗 |
| 高阻抗 |  | 低阻抗 |
| 低阻抗 |  | 高阻抗 |
| 低阻抗 |  | 低阻抗 |



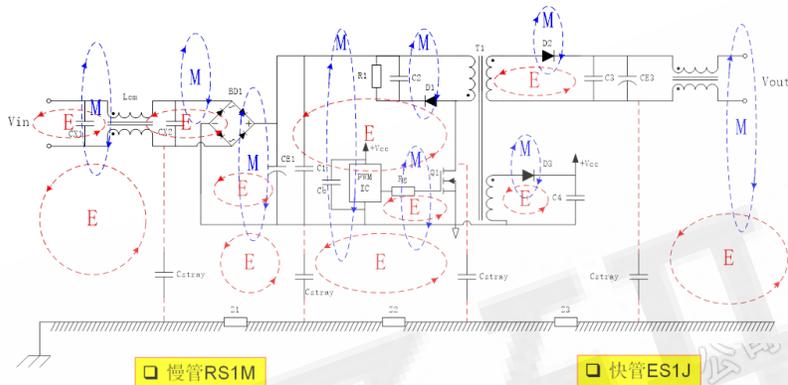
EMC诊断技术—噪声篇回顾

1. 时域与频域
2. 近场与远场
3. 差共模分离
4. 快速精确定位
5. 时域和频域对照

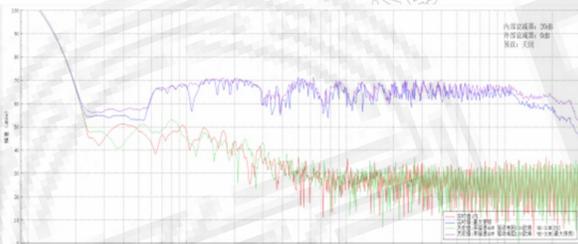


EMC诊断技术—器件篇回顾

1. Flyback变换器为例
2. 高频回路与EMI关系
3. MOS的不同驱动速度
4. MOS的Cds电容变化
5. 二极管快关和慢管差异

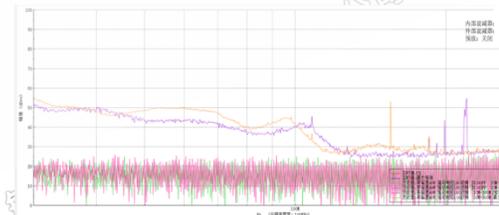


▶ 并联100pF电容前后的CE传导频段对比

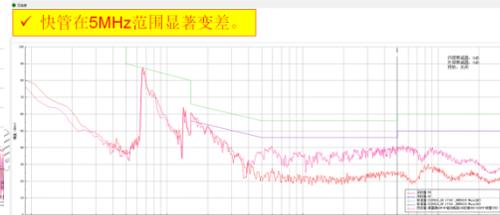
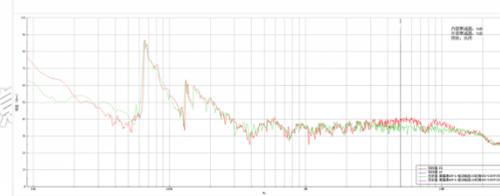


✓ 10MHz以上有明显改善。

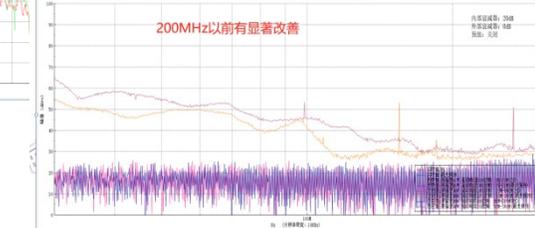
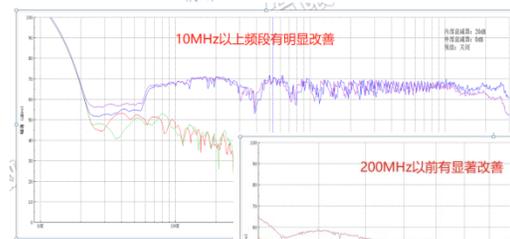
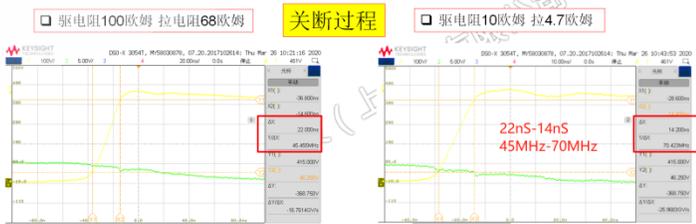
▶ 并联100pF电容前后的RE辐射频段对比



✓ 45MHz-100MHz有明显改善。



✓ 5MHz范围噪声为其模为主。



➤ 常见的EMC问题

- 传导骚扰CE超标
- 辐射骚扰RE超标
- 静电干扰ESD

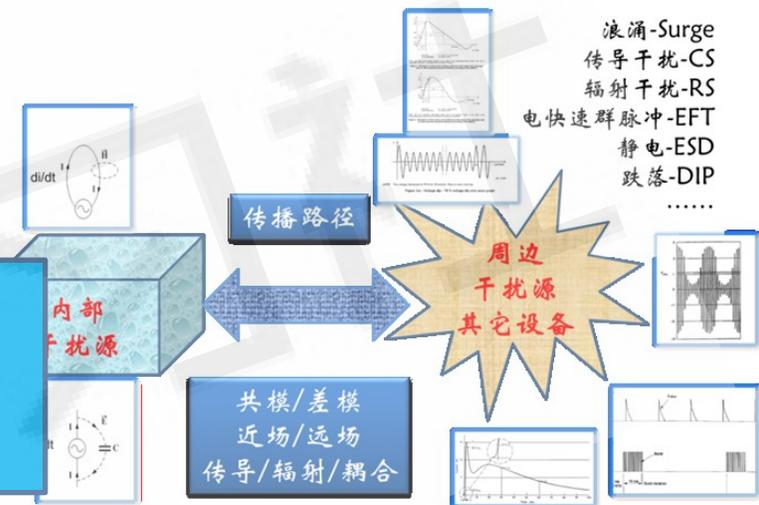
将就

- 辐射抗扰度RS不稳定

➤ 进一步的问题

- 噪声源在哪里?
- 噪声是如何传播的?
- 噪声的差模/共模?
- 噪声的时域/频域?
- 敏感部位在哪里?
- 属于哪种性质的敏感?
- 干扰时如何入侵的?
- 如何进行器件选型?
-

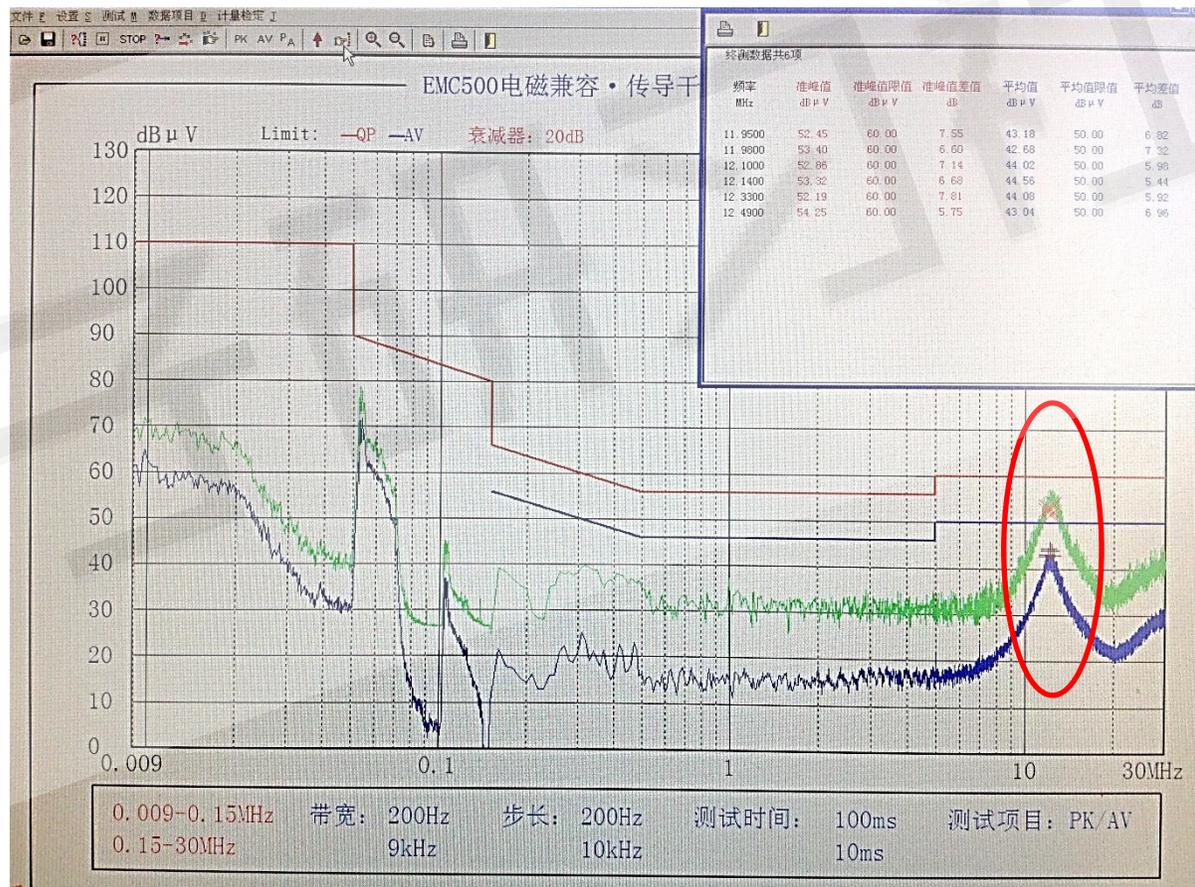
讲究



1. EMC诊断技术—综述
2. EMC诊断技术—滤波篇
3. EMC诊断技术—噪声篇
4. EMC诊断技术—器件篇
5. EMC诊断技术—电容篇
6. EMC诊断技术—电感篇
7. EMC诊断技术—诊断仪器篇

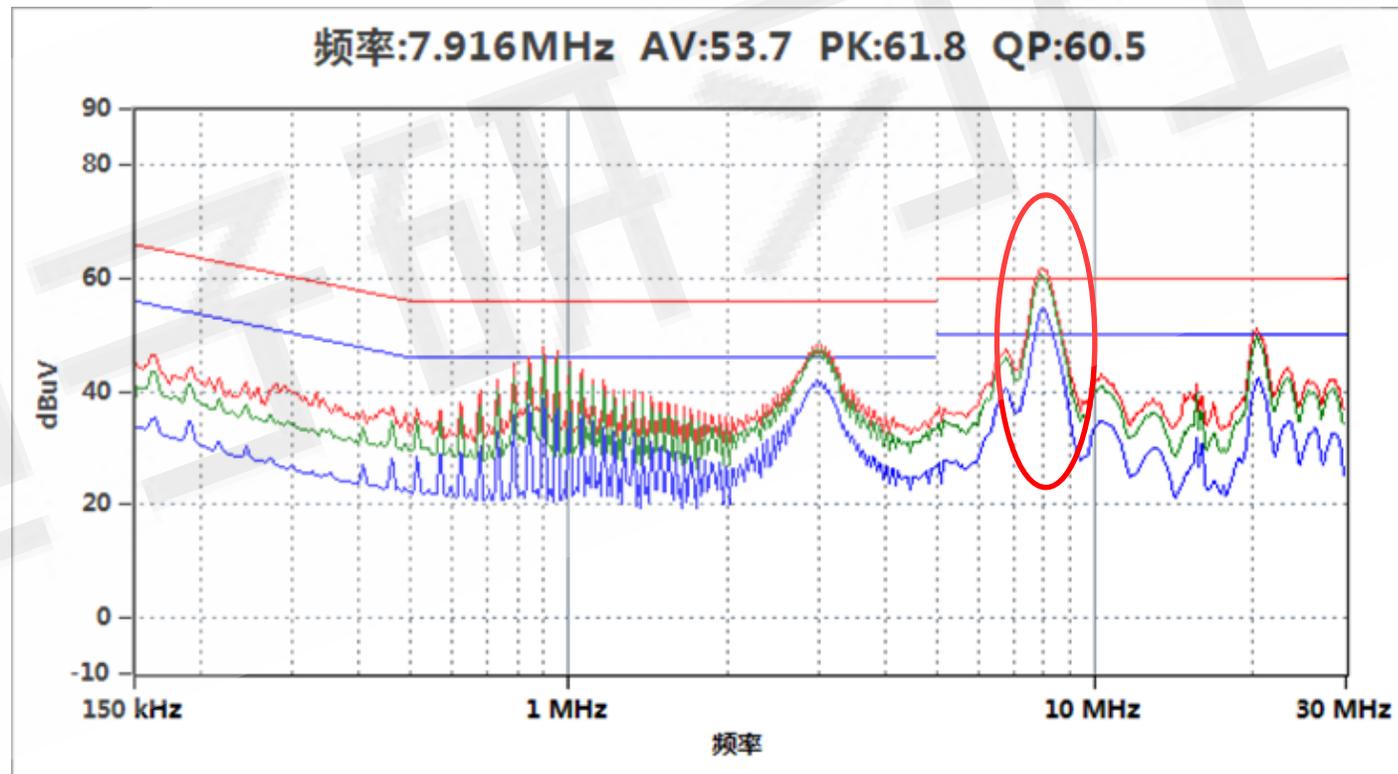
高频干扰从哪里来的？

➤ 12MHz——???



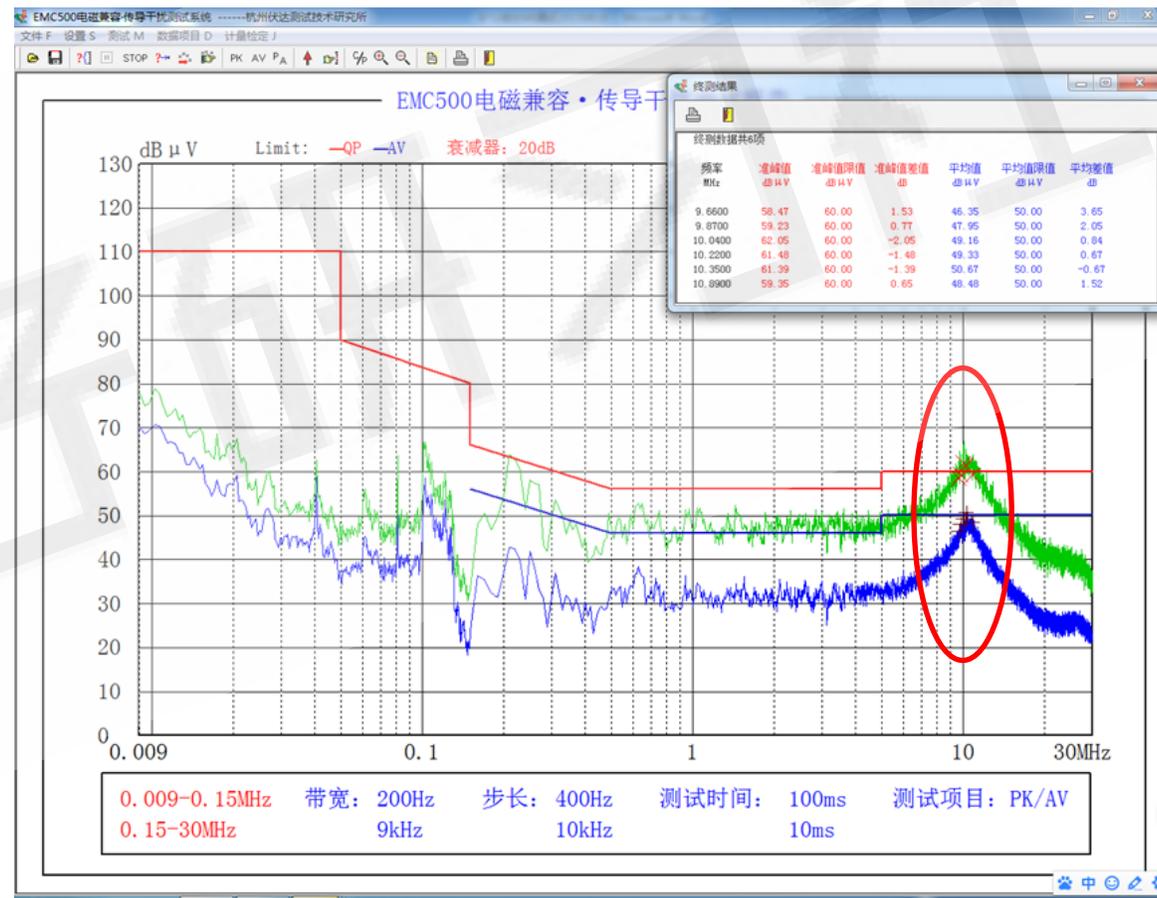
高频干扰从哪里来的？

➤ 8MHz——？ ？ ？



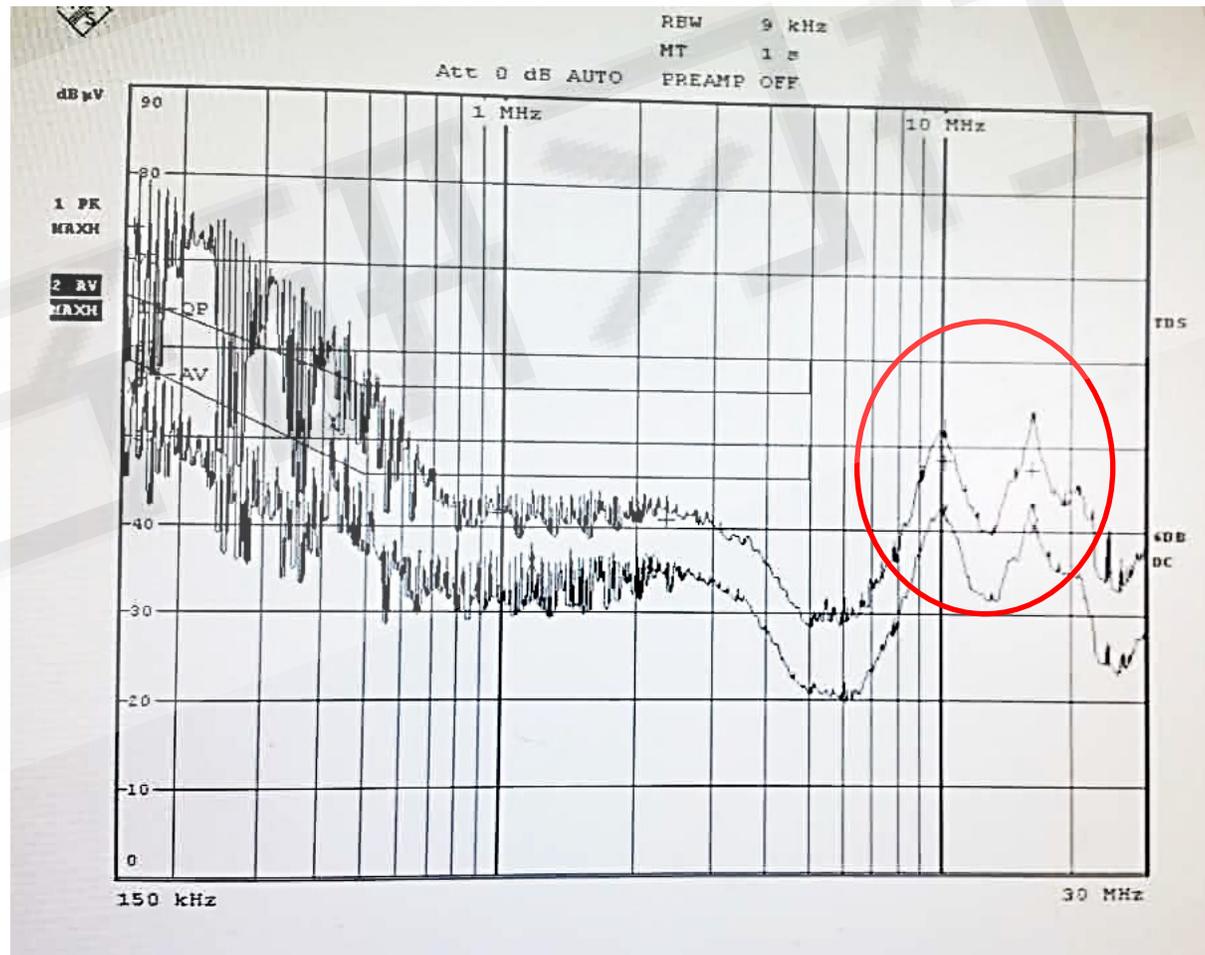
高频干扰从哪里来的？

➤ 10MHz——???



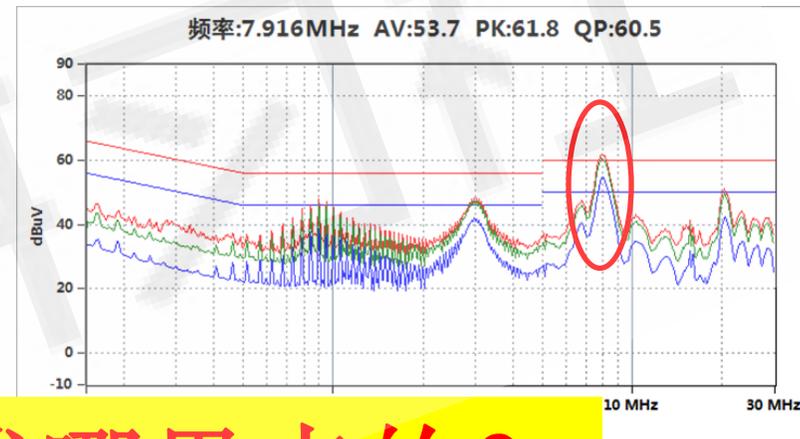
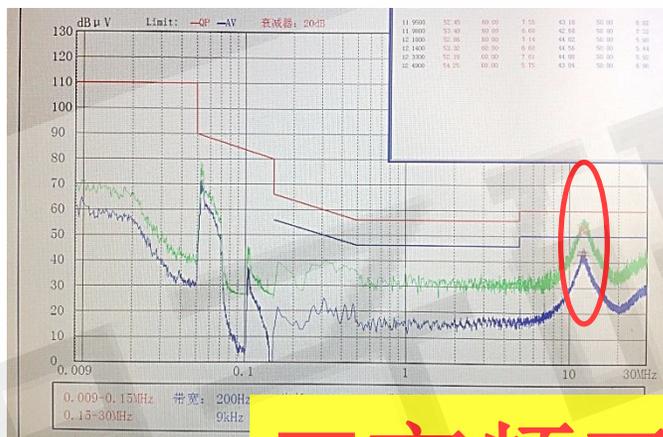
高频干扰从哪里来的？

➤ 16MHz——???

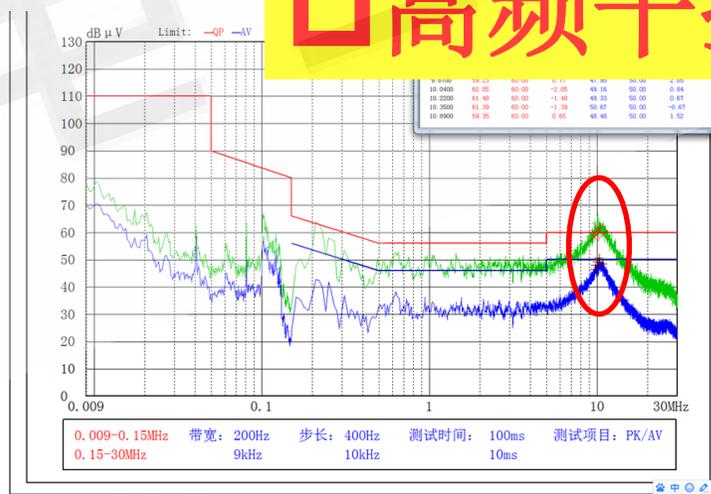


高频干扰从哪里来的？

➤ 8M、10M、12M和16MHz——？ ？ ？



高频干扰哪里来的？



1. 如何评估滤波电容对噪声的抑制能力？
2. 插入损耗的国家标准
3. 如何测试滤波电容的插入损耗？
4. 如何进行滤波电容的应用选型？
5. 如何确认不同滤波电容的噪声抑制能力？
6. 如何确认布线对滤波电容噪声抑制能力的影响？
7. 总结和展望

如何评估滤波电容对噪声的抑制能力？

➤ 各式各样的电容

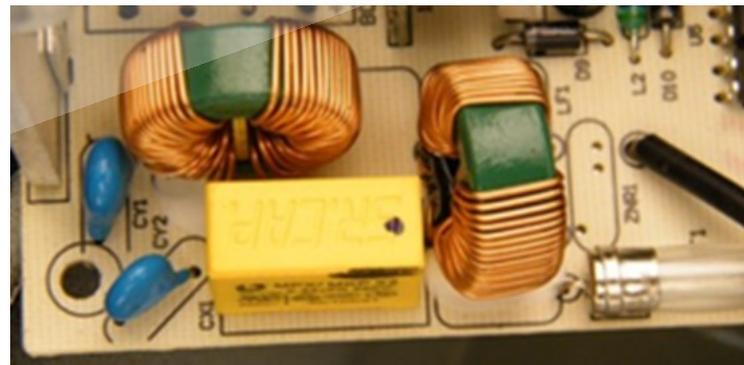
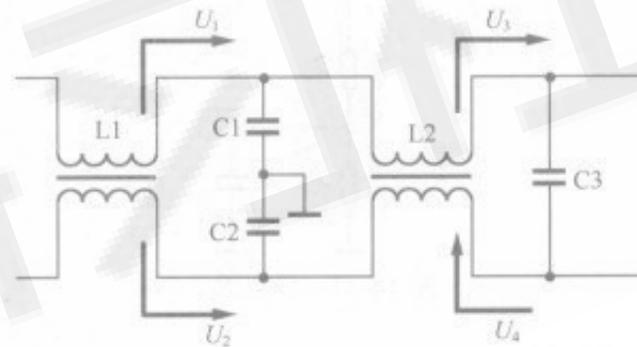
- 电解电容
- 薄膜电容
- 瓷片电容
- 安规电容
- 三端电容
- 滤波电容
- 旁路电容
- 安规电容
- 高压电容
- 储能电容
- 谐振电容
- 穿心电容



如何评估滤波电容对噪声的抑制能力？

➤ 各式各样的电容

- 滤波电容
- 旁路电容
- 安规电容
- 储能电容
- 谐振电容



如何评估滤波电容对噪声的抑制能力？

➤ 欧姆定律：R、C、L

$$- R = \frac{U}{I} \quad \rightarrow \quad R = \frac{l}{\sigma \cdot S}$$

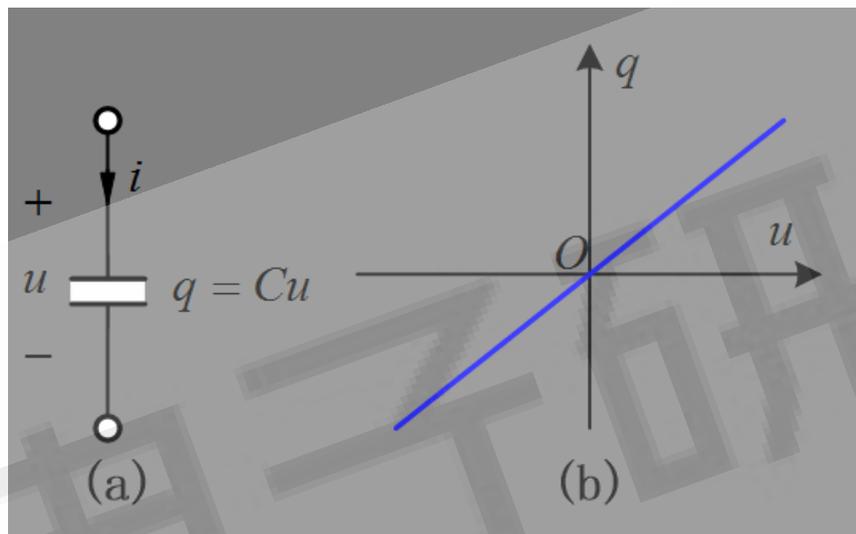
$$- C = \frac{Q}{U} \quad \rightarrow \quad C = \frac{\epsilon \cdot S}{d}$$

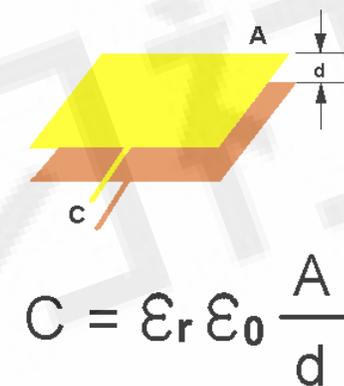
$$- L = \frac{\Psi}{I} \quad \rightarrow \quad L = \frac{k \cdot \mu_0 \cdot \mu_r \cdot A_e \cdot N}{l}$$

如何评估滤波电容对噪声的抑制能力？

➤ 欧姆定律

$$- C = \frac{Q}{U}$$





$$C = \epsilon_r \epsilon_0 \frac{A}{d}$$

$$i = \frac{dq}{dt} = C \frac{du}{dt}$$

$$P = \frac{1}{2} \cdot CU^2$$

如何评估滤波电容对噪声的抑制能力？

➤ 电容的高频特性

— 谐振频率 f_0 :

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{C \cdot L_{ESL}}}$$

— 当电容器工作频率在 f_0 以下时:

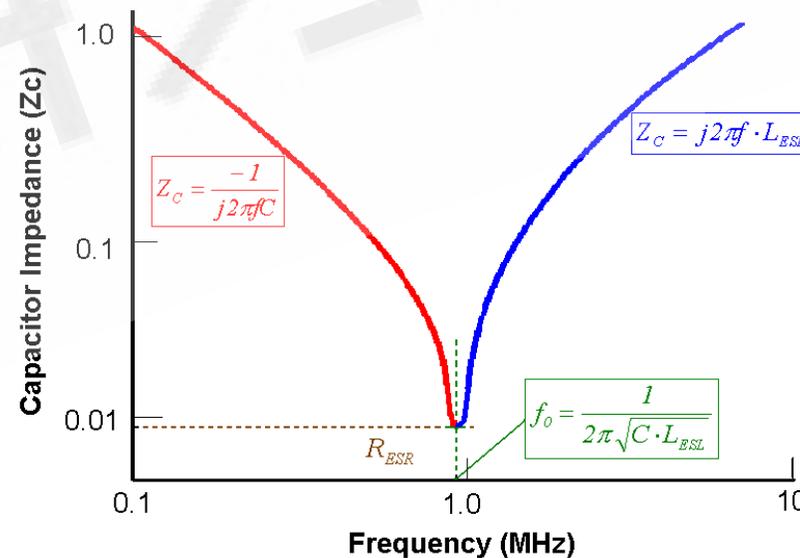
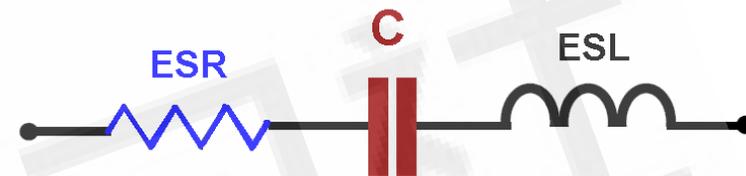
$$Z_C = \frac{-1}{j2\pi f C}$$

— 当电容器工作频率在 f_0 以上时:

$$Z_C = j2\pi f \cdot L_{ESL}$$

— 当电容器工作频率接近 f_0 时:

$$Z_C = R_{ESR}$$

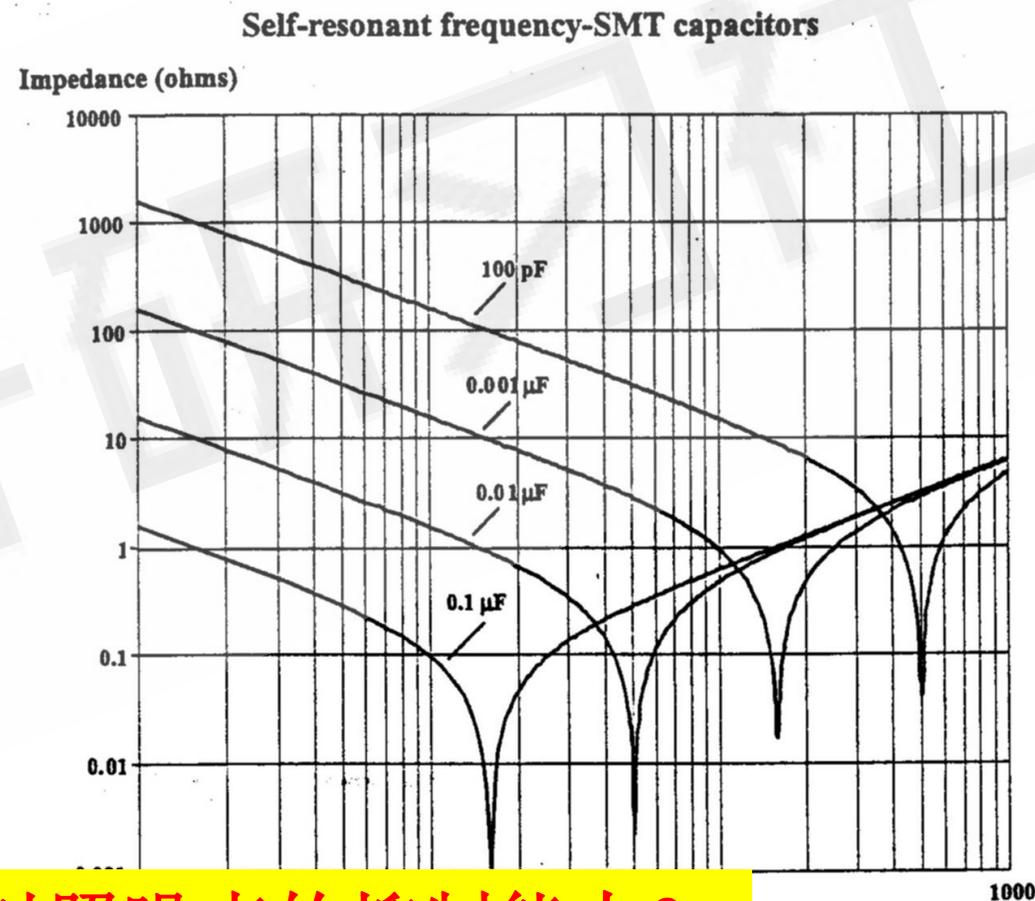


□ 高频阻抗如何对照噪声的抑制能力？

如何评估滤波电容对噪声的抑制能力？

➤ 旁路电容的高频特性

- 数字电路
- 模数混合电路
- 功率回路



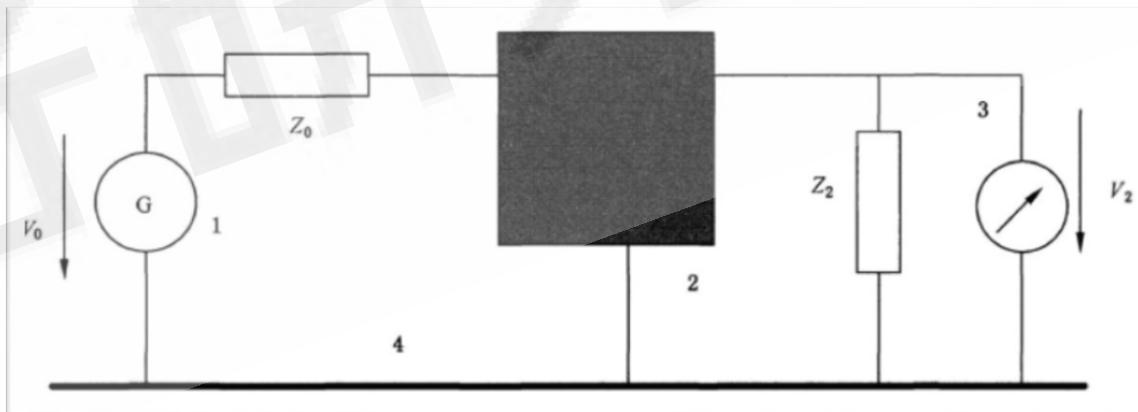
□ 高频阻抗如何对照噪声的抑制能力？

1. 如何评估滤波电容对噪声的抑制能力？
2. 插入损耗的国家标准
3. 如何测试滤波电容的插入损耗？
4. 如何进行滤波电容的应用选型？
5. 如何确认不同滤波电容的噪声抑制能力？
6. 如何确认布线对滤波电容噪声抑制能力的影响？
7. 总结和展望

插入损耗的国家标准

➤ GB/T 7343:2017 《无源EMC滤波器件抑制特性的测量方法》

提出插入损耗 a_e 的定义：



□用插入损耗来评估噪声抑制效果

插入损耗的国家标准

➤ 插入损耗 a_e : (GB/T 7343: 2017)

— 标准的测试方法是使用一个 50Ω 信号源和 50Ω 接收机进行测试。

$$a_e = 20\log(V_0/2V_2)$$

- a_e : 插入插损, 单位为分贝 (dB)
- V_0 : 50Ω 信号源的开路电压, 单位 (V)
- V_2 : 滤波电路的输出端电压, 单位 (V)

□ 用 “dB” 来评估噪声抑制效果

插入损耗的国家标准

➤ dB与功率

$$\text{dB} = 10 \log [P1/P2]$$

□为何电压和电流是20log?

➤ dB与电压

$$\text{dB} = 20 \log [V1/V2]$$

$$P = \frac{V^2}{R}$$

➤ dB与电流

$$\text{dB} = 20 \log [I1/I2]$$

$$P = I^2 \cdot R$$

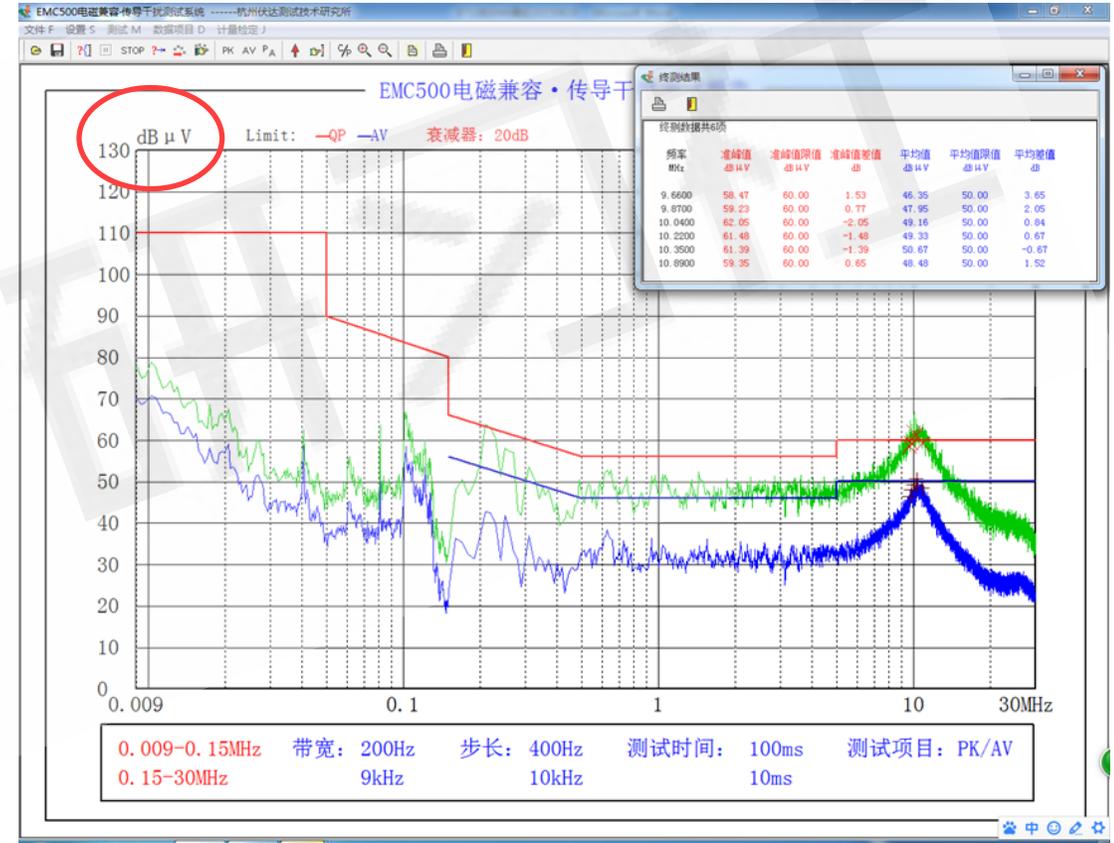
插入损耗的国家标准

➤ 毫瓦与分贝数

$$\text{dBm} = 10 \log [\text{Signal (mW)} / 1\text{mW}]$$

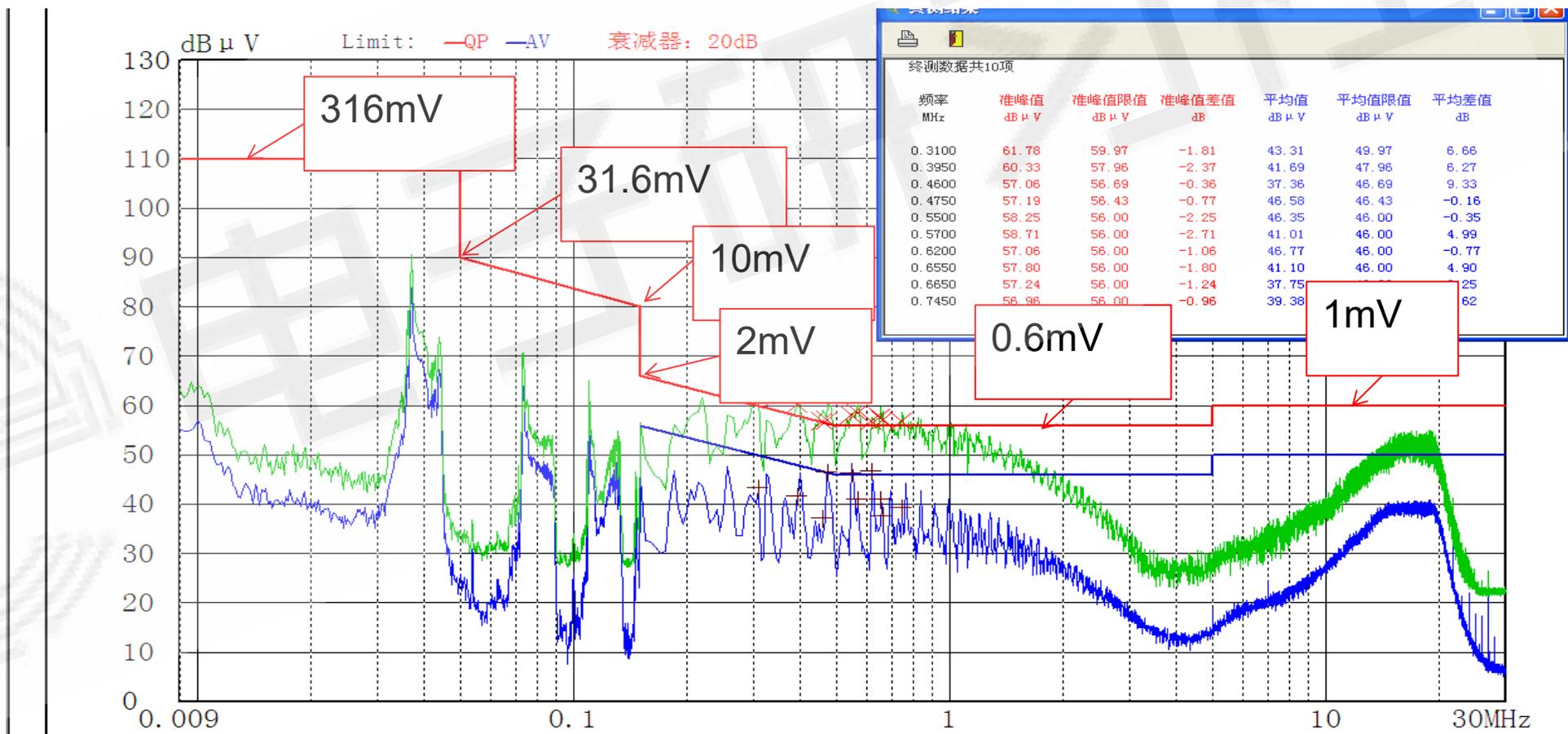
➤ 微伏与分贝数

$$\text{dBuV} = 20 \log [\text{Signal (uV)} / 1\text{uV}]$$



插入损耗的国家标准

➤ EMI 法规限值线



插入损耗的国家标准

- 20dB ➤ $20\text{dB} = 10$ ➤ $-20\text{dB} = 0.1 = 10\%$
- 40dB ➤ $40\text{dB} = 100$ ➤ $-40\text{dB} = 0.01 = 1\%$
- 10dB ➤ $10\text{dB} = 3.16$ ➤ $-10\text{dB} = 0.316 = 31.6\%$
- 6dB ➤ $6\text{dB} = 2$ ➤ $-6\text{dB} = 0.5 = 50\%$
- 3dB ➤ $3\text{dB} = 1.4$ ➤ $-3\text{dB} = 0.71 = 71\%$

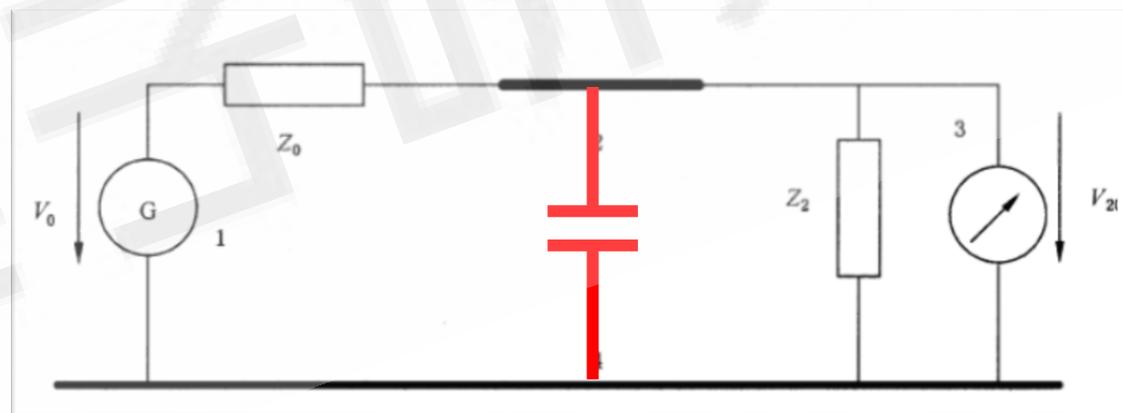
□ 经常用到的dB数值

1. 如何评估滤波电容对噪声的抑制能力？
2. 插入损耗的国家标准
3. 如何测试滤波电容的插入损耗？
4. 如何进行滤波电容的应用选型？
5. 如何确认不同滤波电容的噪声抑制能力？
6. 如何确认布线对滤波电容噪声抑制能力的影响？
7. 总结和展望

如何测试滤波电容的插入损耗?

➤ 滤波电容的插入损耗 a_e

- 标准的测试方法是使用一个 50Ω 信号源和 50Ω 接收机进行测试。



如何测试滤波电容的插入损耗?

➤ 滤波电容的插入损耗 a_e

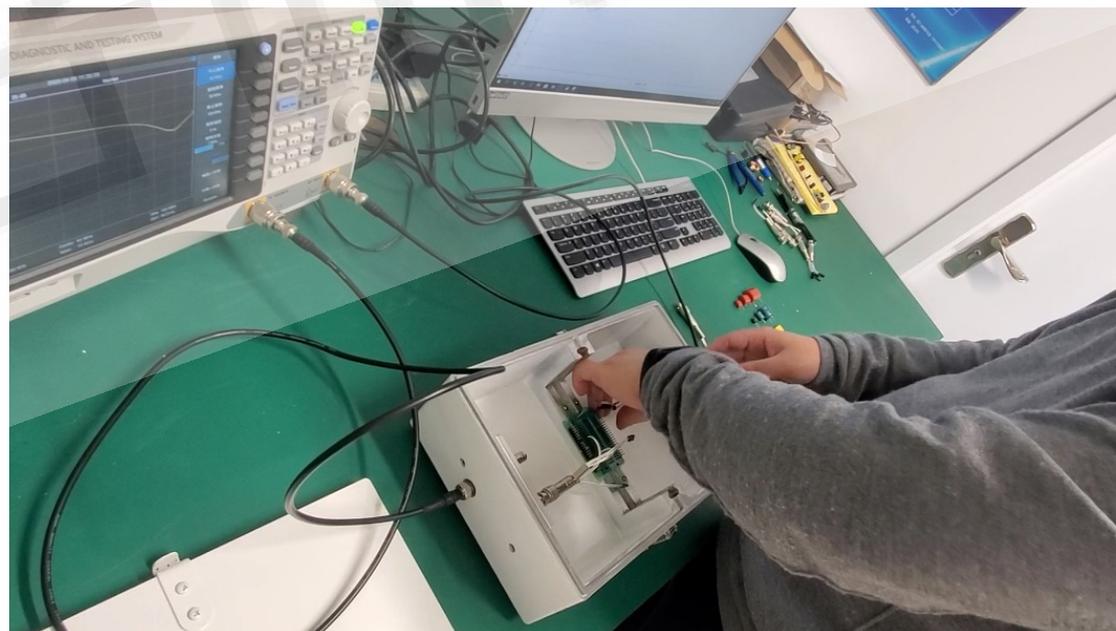
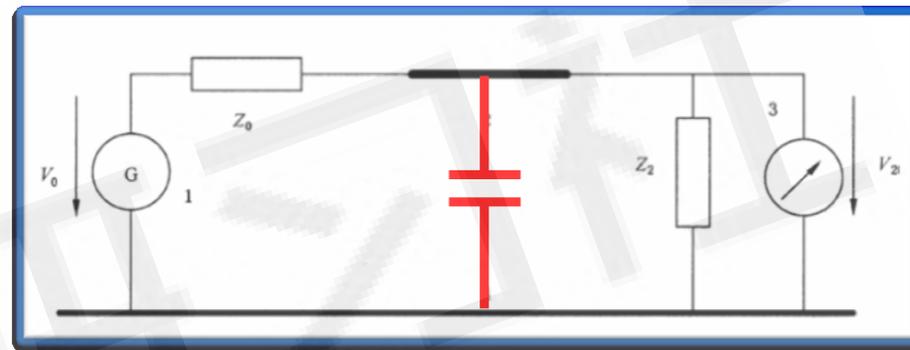
➤ 测试步骤:

1. 归一化

2. 安装到测试治具

3. 测试

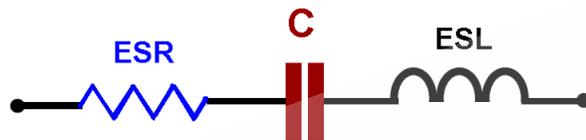
4. 报告对比



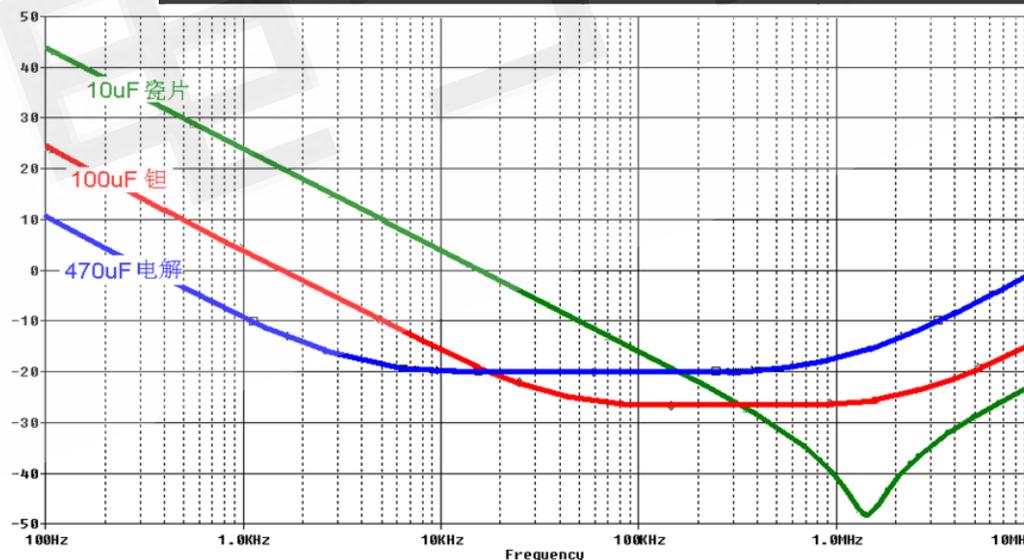
1. 如何评估滤波电容对噪声的抑制能力？
2. 插入损耗的国家标准
3. 如何测试滤波电容的插入损耗？
4. 如何进行滤波电容的应用选型？
5. 如何确认不同滤波电容的噪声抑制能力？
6. 如何确认布线对滤波电容噪声抑制能力的影响？
7. 总结和展望

如何进行滤波电容的应用选型？

1. 电解电容
2. 薄膜电容
3. 瓷片电容
4. 安规电容



| 电容 | ESR | ESL |
|--------------|--------|--------|
| 10uF/10V 瓷片 | 4 mΩ | 1.25nH |
| 100uF/10V 钽 | 46 mΩ | 3nH |
| 470uF/10V 电解 | 100 mΩ | 15nH |

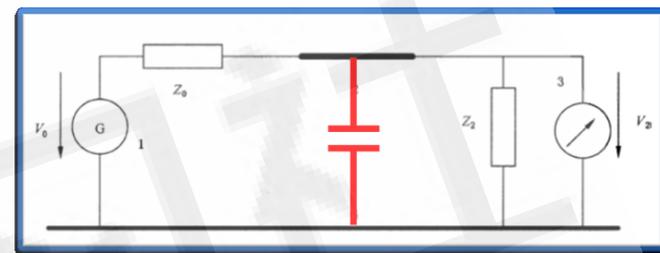
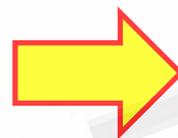
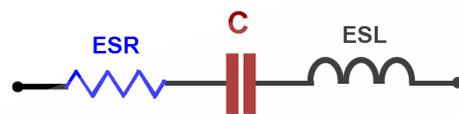


| 封装 | 典型电感值 (nH) |
|------|------------|
| 瓷片电容 | |
| 0603 | 0.8 |
| 0805 | 1.0 |
| 1206 | 1.2 |
| 1210 | 1.0 |
| 钽电容 | |
| 0805 | 1.6 |
| 1206 | 2.2 |
| 1411 | 2.3 |
| 2412 | 2.8 |
| 电解电容 | |
| 表面贴 | 6.8 |
| 引脚 | >10 |

如何进行滤波电容的应用选型？

➤ 电容的插入损耗对比

- 电解电容
- 薄膜电容
- 瓷片电容
- 安规电容



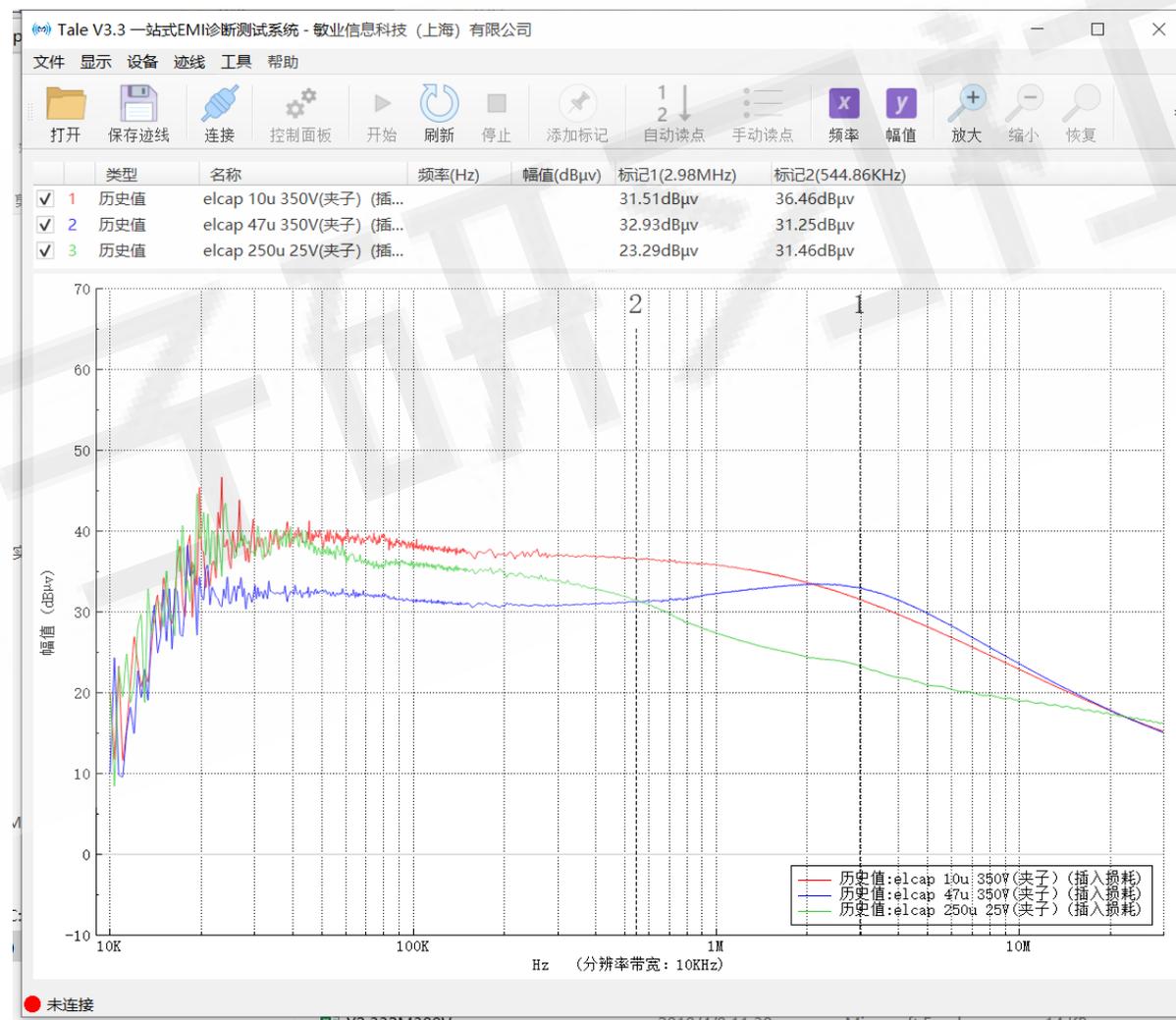
不同电容插入损耗对比图

1. 如何评估滤波电容对噪声的抑制能力?
2. 插入损耗的国家标准
3. 如何测试滤波电容的插入损耗?
4. 如何进行滤波电容的应用选型?
5. 如何确认不同滤波电容的噪声抑制能力?
6. 如何确认布线对滤波电容噪声抑制能力的影响?
7. 总结和展望

如何确认不同滤波电容的噪声抑制能力？

➤ 电解电容的插入损耗：

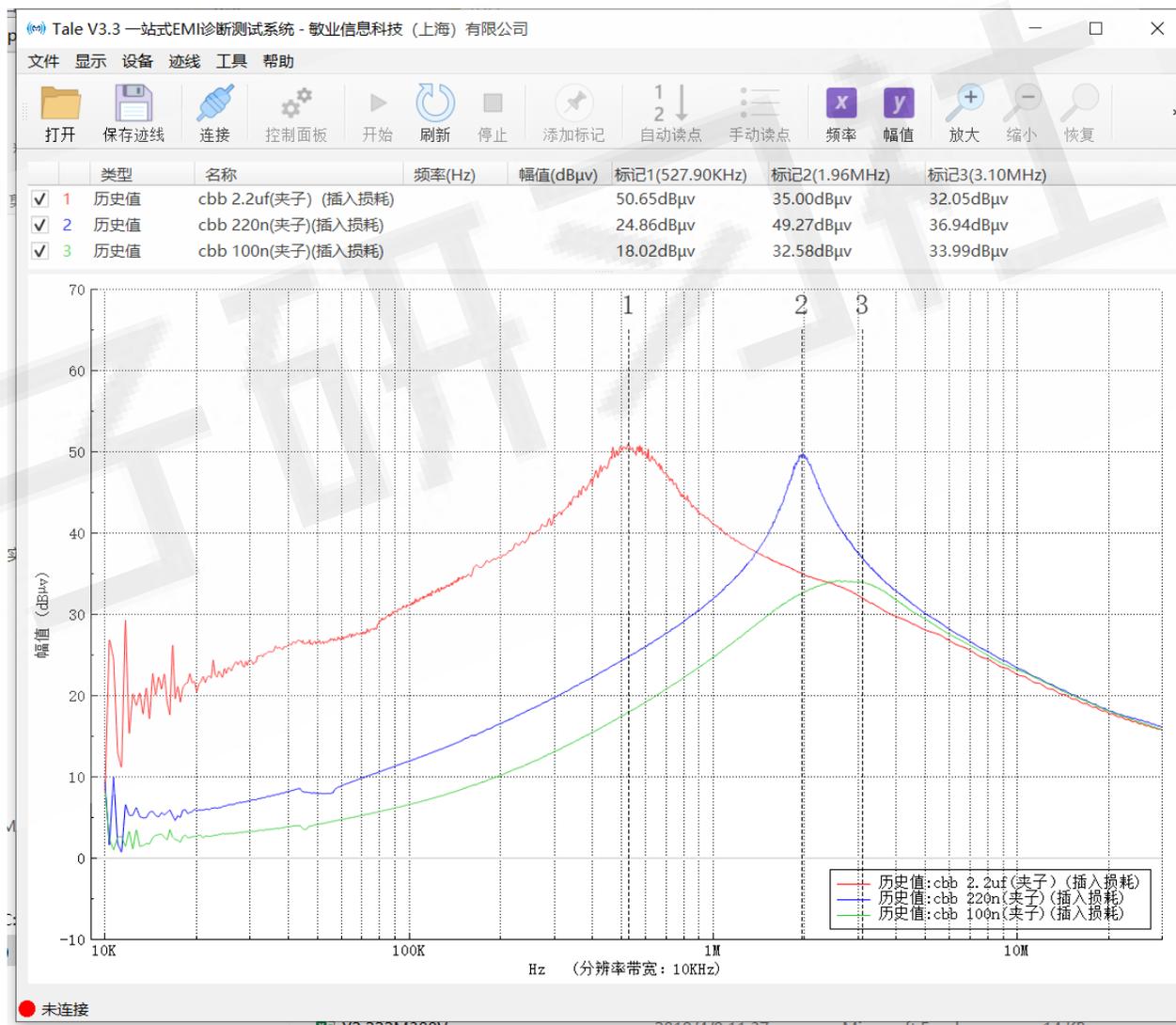
- 10uF/350V (红色)
- 47uF/350V (蓝色)
- 250uF/25V (绿色)



如何确认不同滤波电容的噪声抑制能力？

➤ 薄膜电容的插入损耗：

- 100nF/400V (绿色)
- 220nF/400V (蓝色)
- 2.2uF/400V (红色)



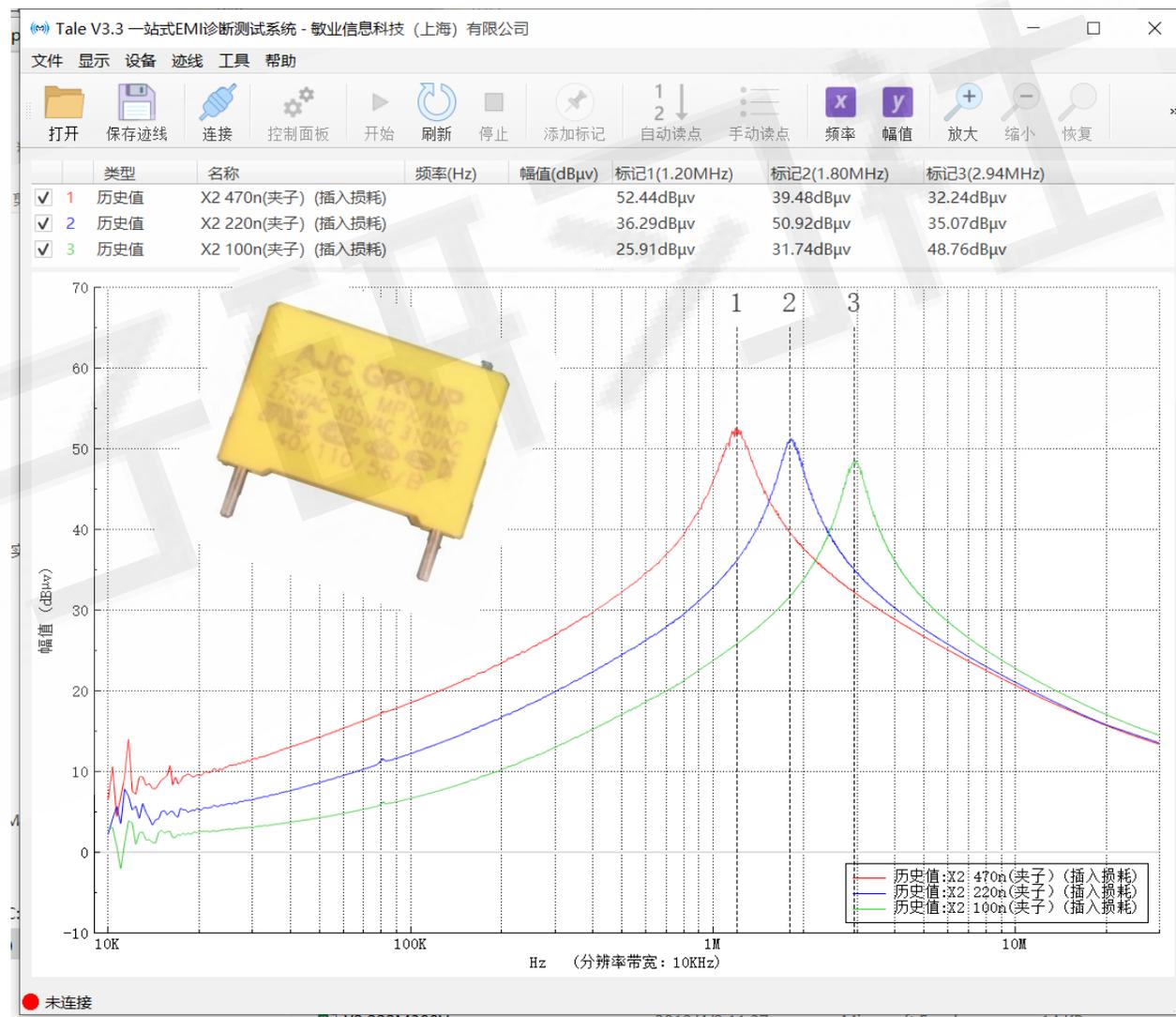
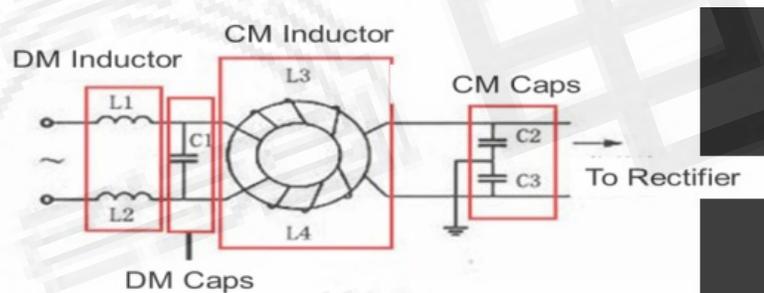
如何确认不同滤波电容的噪声抑制能力？

➤ X电容的插入损耗：

– 100nF/275Vac (绿色)

– 220nF/275Vac (蓝色)

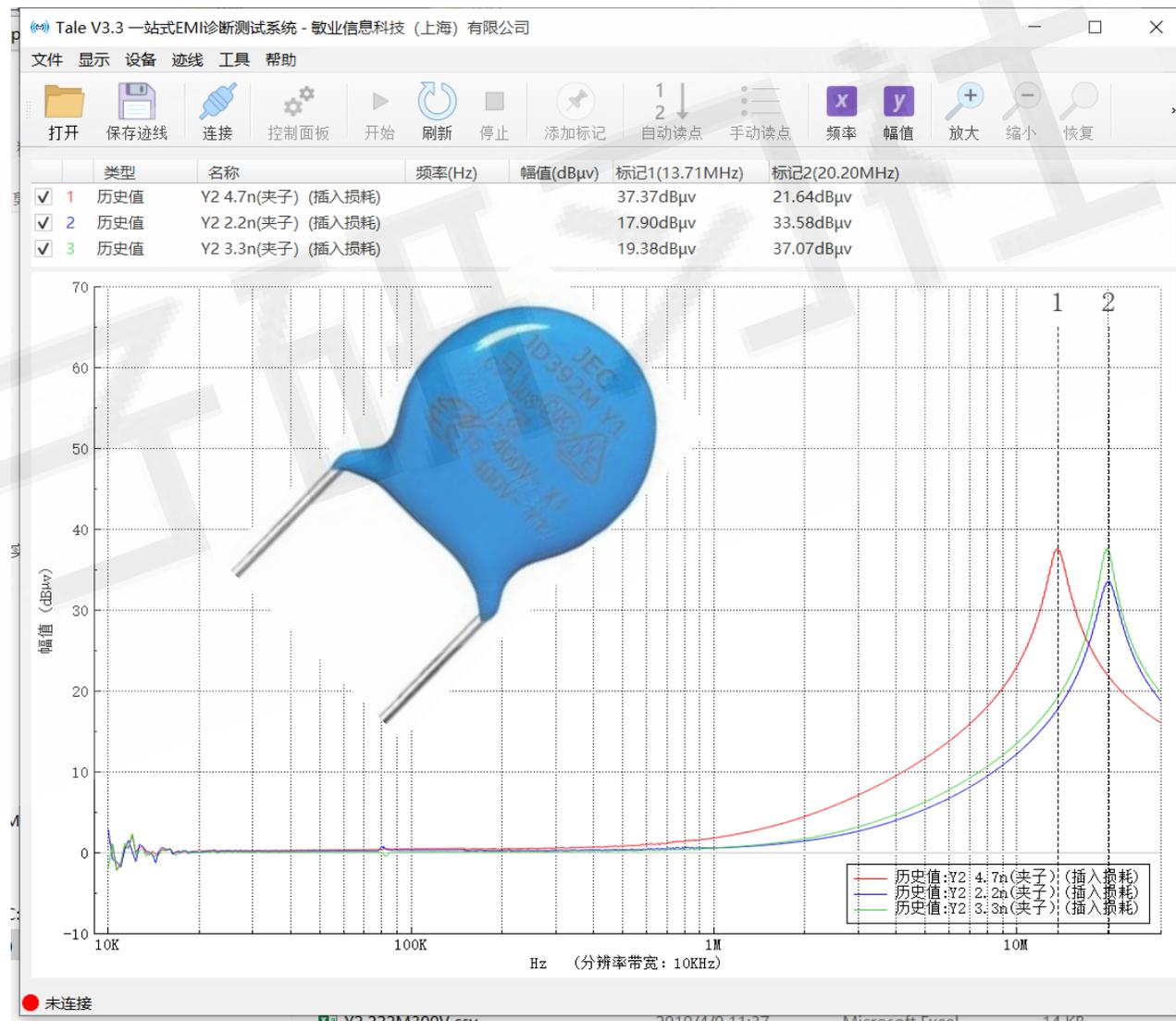
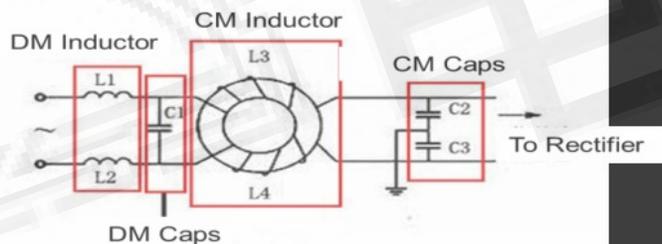
– 470uF/275Vac (红色)



如何确认不同滤波电容的噪声抑制能力？

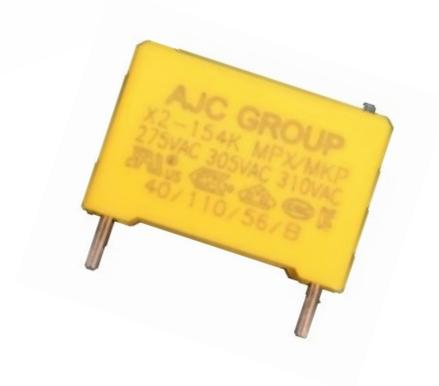
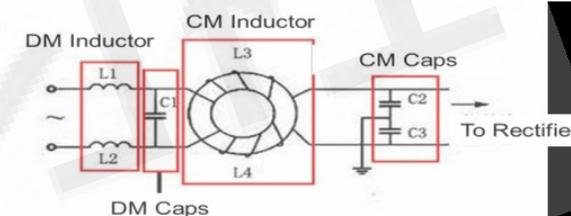
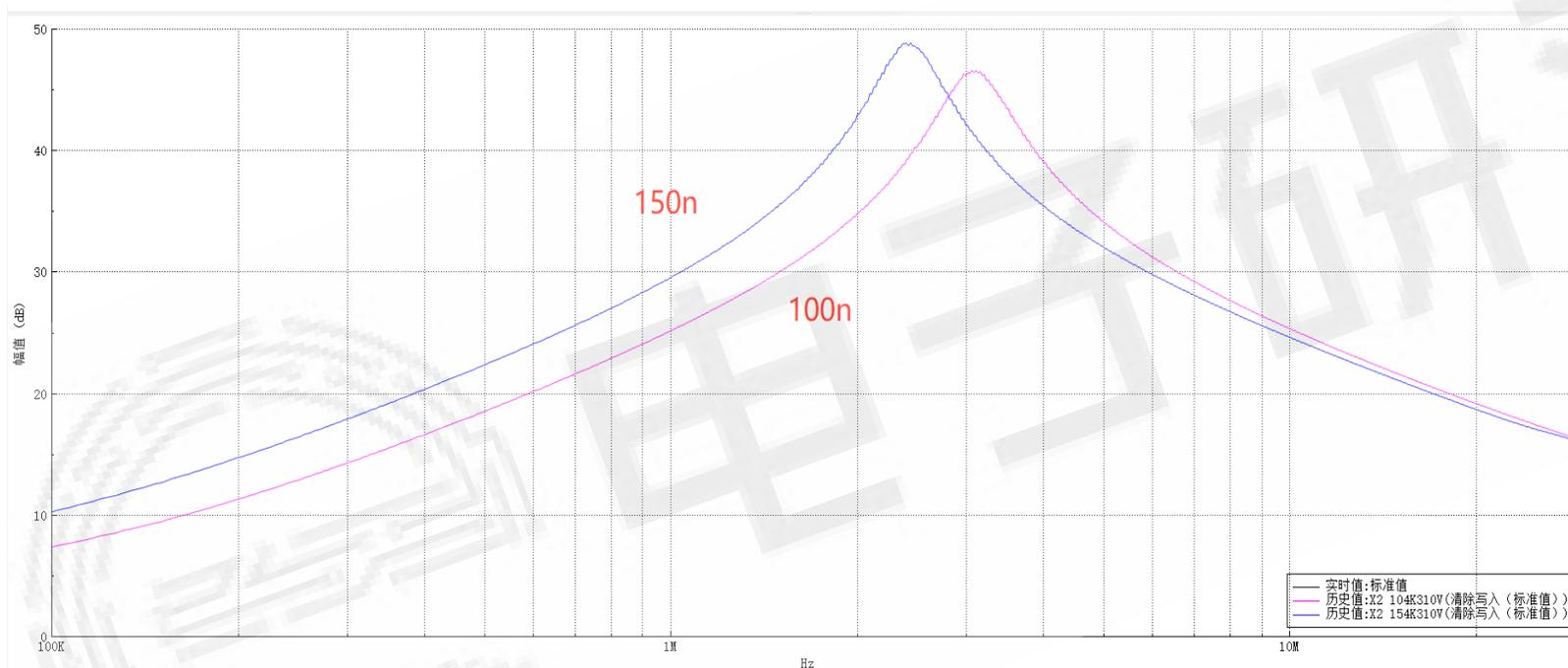
➤ Y电容的插入损耗：

- 2.2nF/275Vac
- 3.3nF/275Vac
- 4.7nF/275Vac



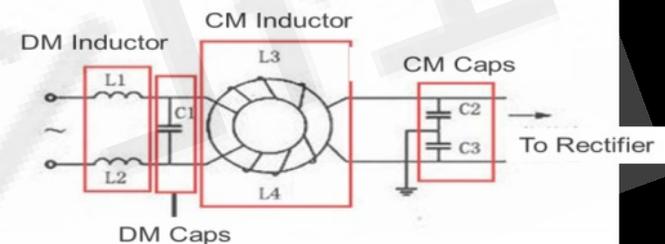
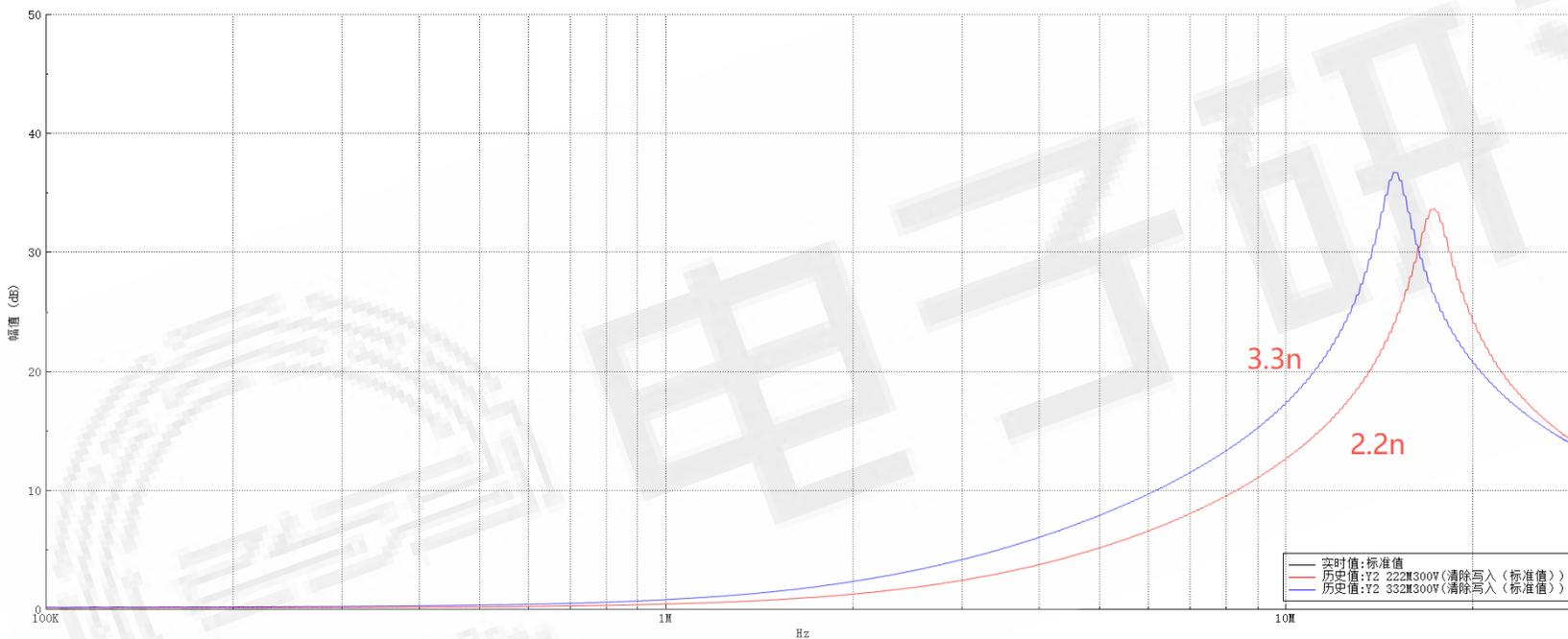
如何确认不同滤波电容的噪声抑制能力？

1. X电容的插入损耗: 0.1uF/275Vac, 0.15uF/275Vac



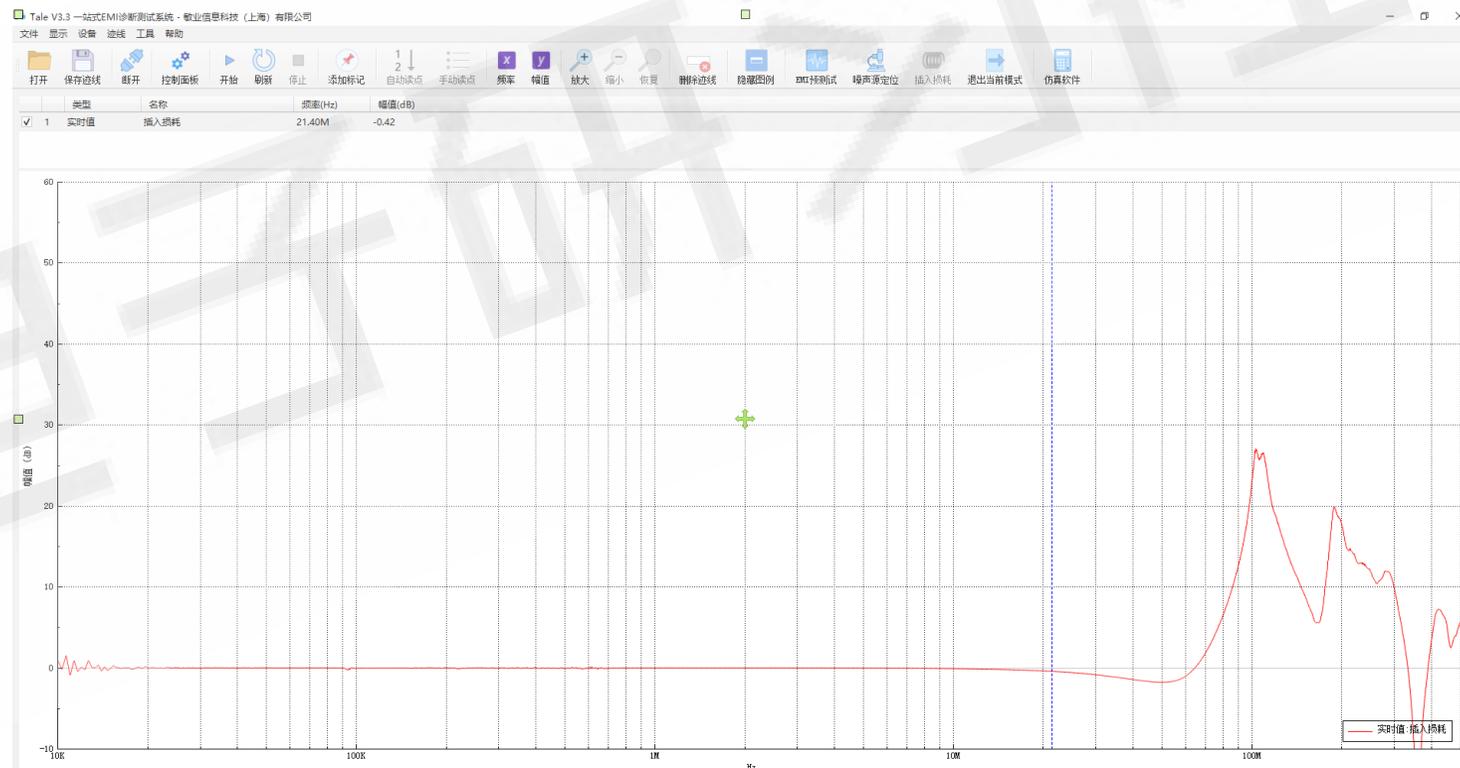
如何确认不同滤波电容的噪声抑制能力？

1. Y电容的插入损耗：3.3nF/275Vac, 2.2nF/275Vac



如何确认不同滤波电容的噪声抑制能力？

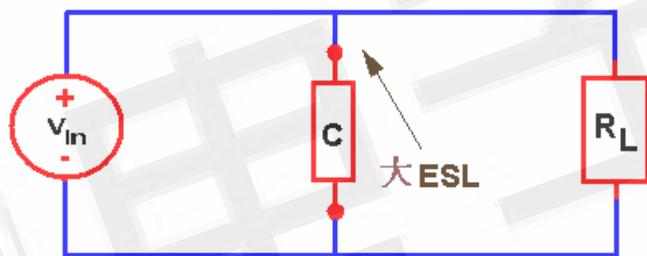
1. PCB隐藏电容的插入损耗：



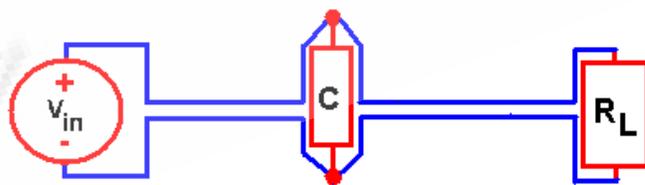
1. 如何评估滤波电容对噪声的抑制能力?
2. 插入损耗的国家标准
3. 如何测试滤波电容的插入损耗?
4. 如何进行滤波电容的应用选型?
5. 如何确认不同滤波电容的噪声抑制能力?
6. 如何确认布线对滤波电容噪声抑制能力的影响?
7. 总结和展望

如何确认布线对滤波电容噪声抑制能力的影响？

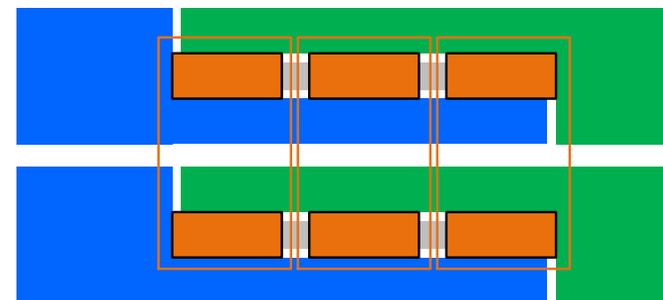
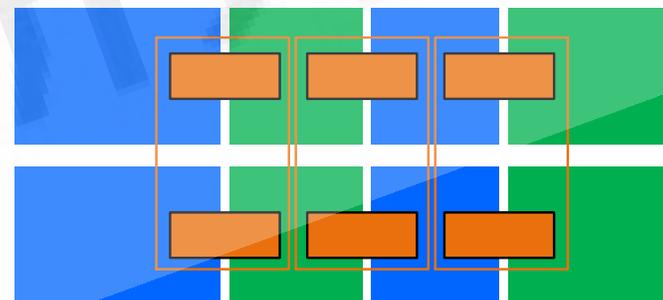
- 滤波电容和旁路电容量多个电容并联能改善单个电容的阻抗特性。
- 布线会影响噪声抑制效果。



(a) 差 Layout

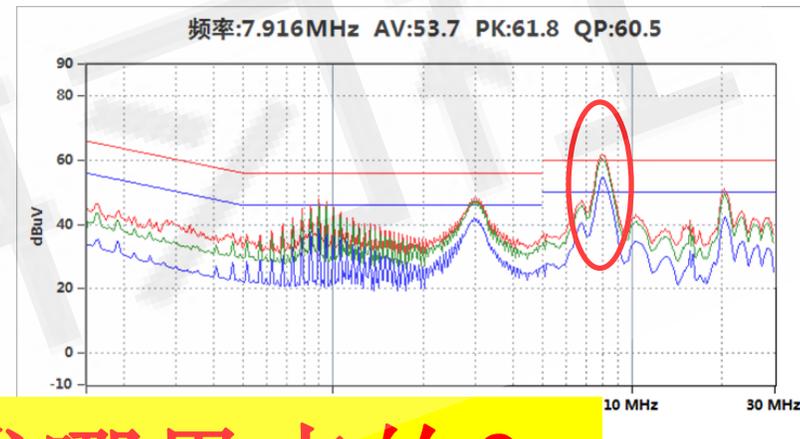
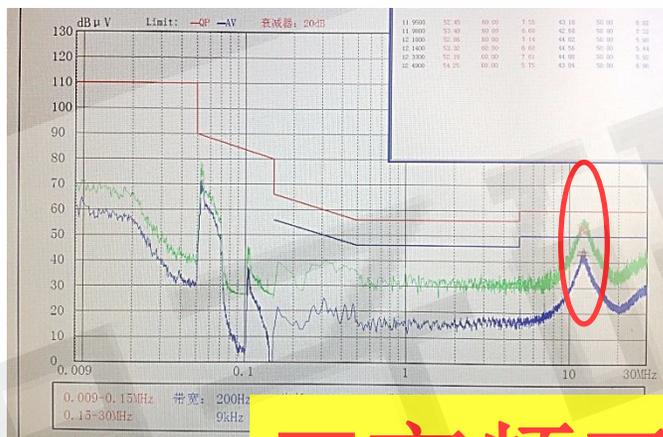


(b) 好 Layout

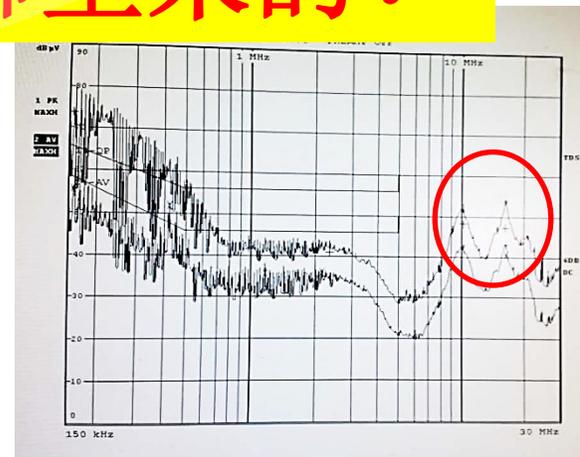
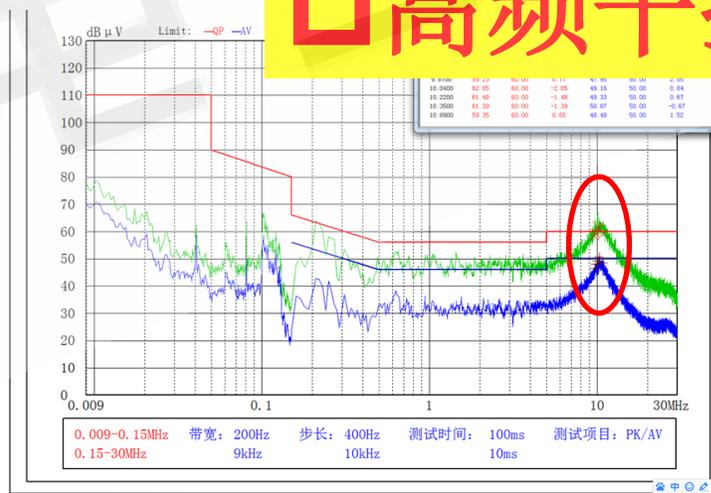


高频干扰从哪里来的？

➤ 8M、10M、12M和16MHz——???



高频干扰哪里来的？

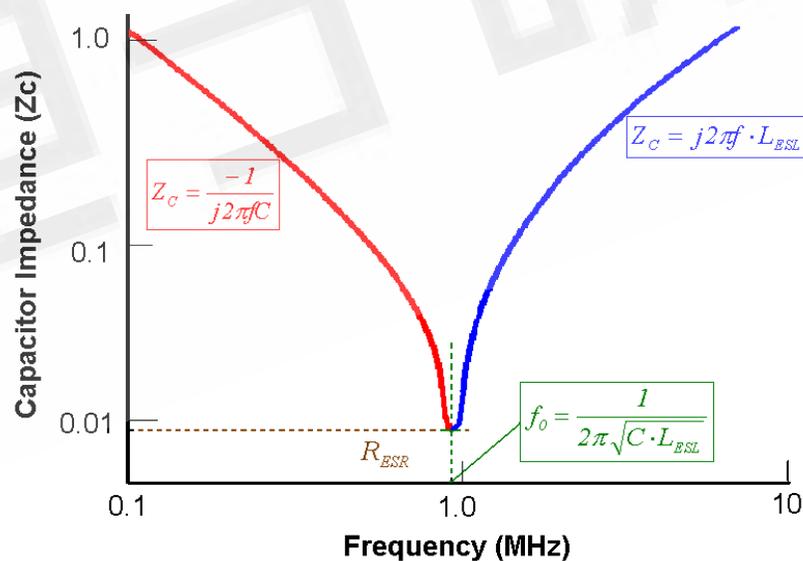
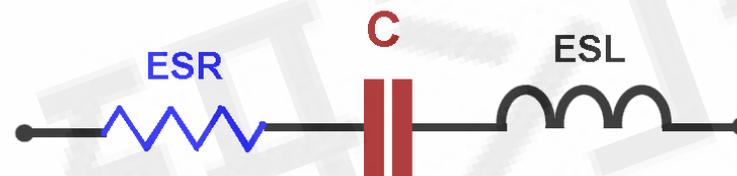


如何确认布线对滤波电容噪声抑制能力的影响？

➤ 布线对Y电容噪声抑制能力的影响

一 谐振频率

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{C \cdot L_{ESL}}}$$



如何确认布线对滤波电容噪声抑制能力的影响？

➤ 导线的自感

$$L = 0.002 \cdot l \left[2.3 \log \left(\frac{4 \cdot l}{d} - 0.75 \right) \right] \text{uH}$$

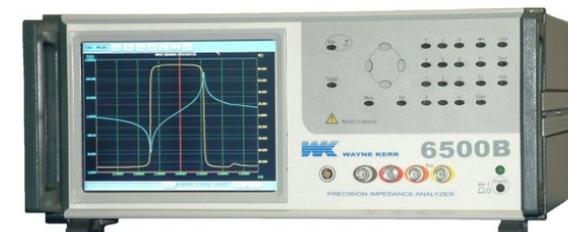
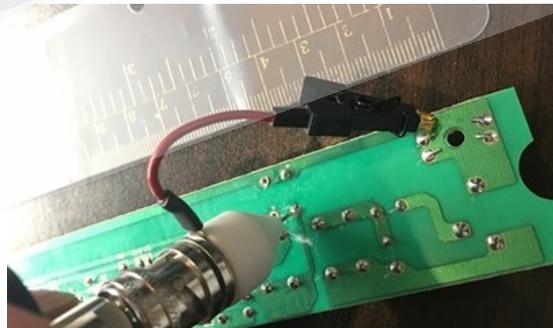
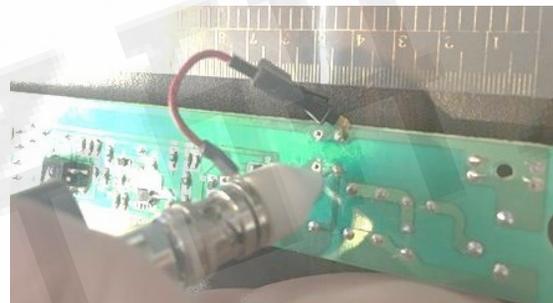
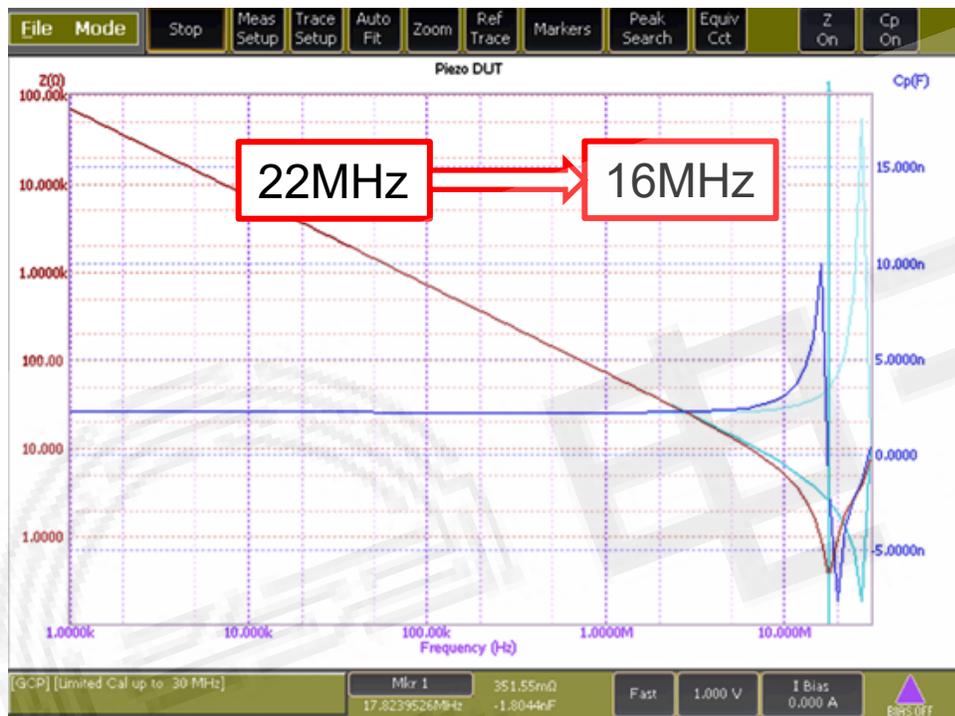
| AWG | 公制(mm) | 英制(mil) | 电感量(nH/1mm) |
|--------|--------|---------|-------------|
| AWG 50 | 0.025 | 1mil | 1.0 |
| AWG 38 | 0.101 | 4mil | 0.7 |
| AWG 32 | 0.202 | 8mil | 0.6 |
| AWG 26 | 0.405 | 16mil | 0.4 |
| AWG 14 | 1.628 | 64mil | 0.1 |



- ❑ 引脚的自感
- ❑ PCB布线电感
- ❑ 回路的电感

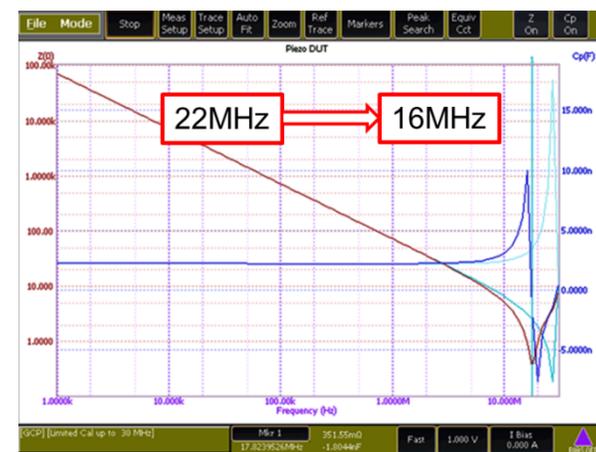
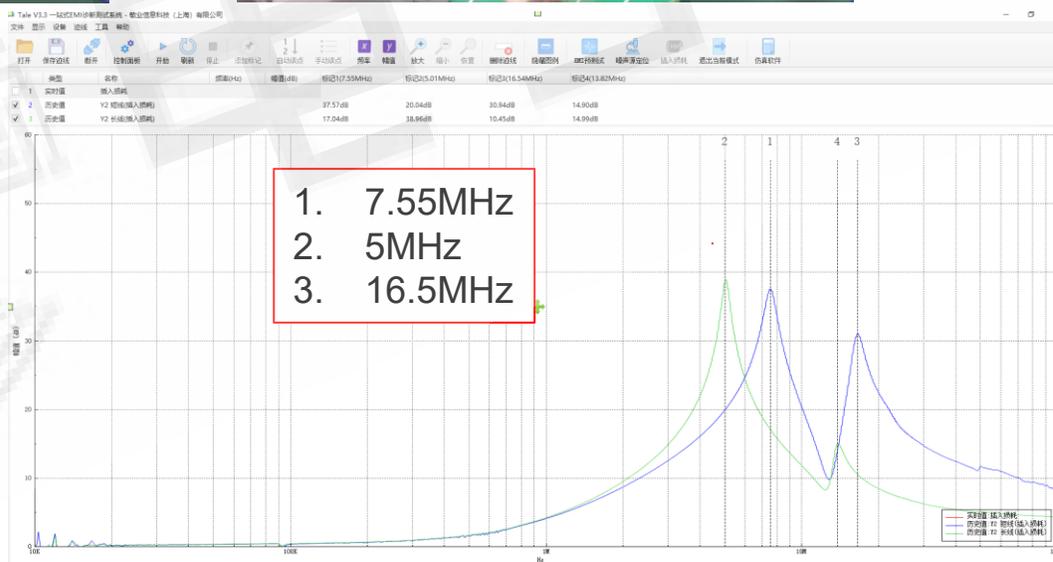
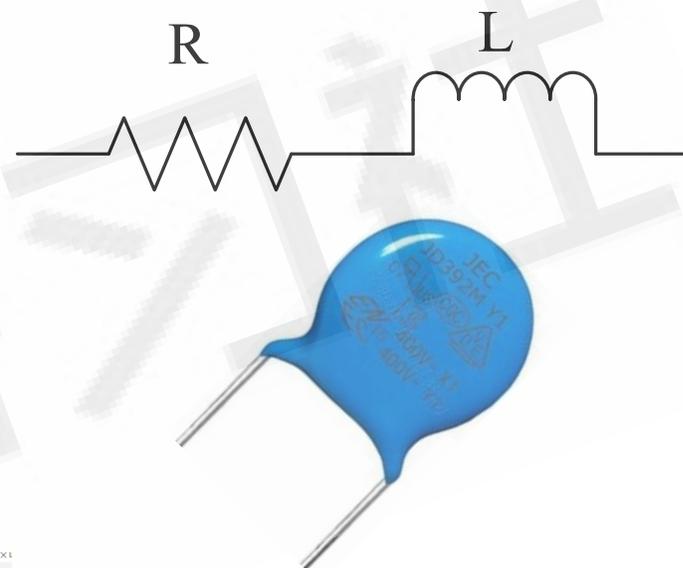
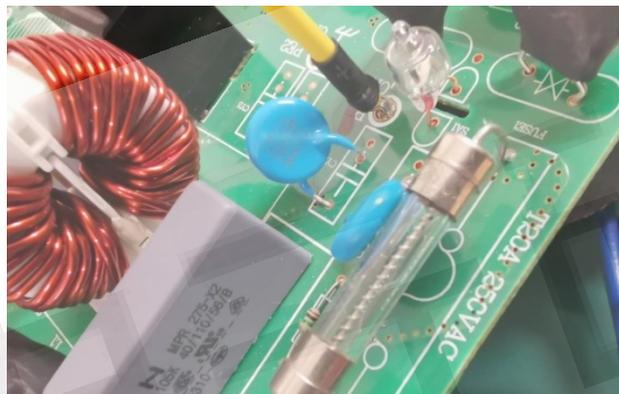
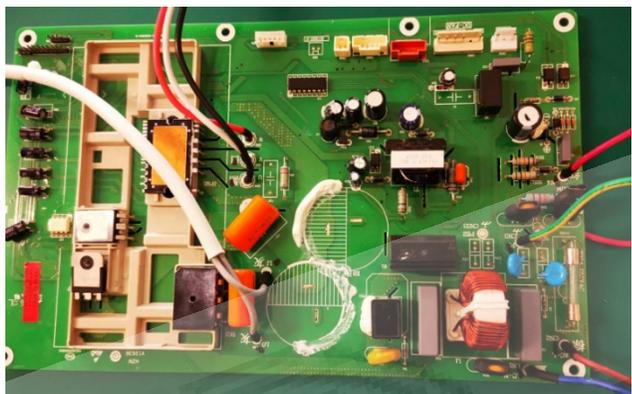
如何确认布线对滤波电容噪声抑制能力的影响？

➤ 布线电感



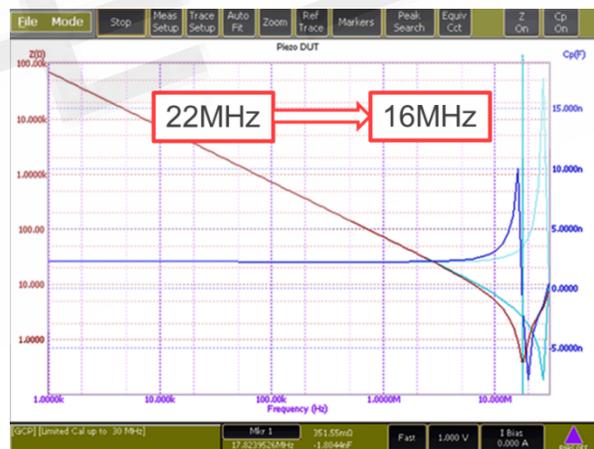
如何确认布线对滤波电容噪声抑制能力的影响？

➤ 布线电感



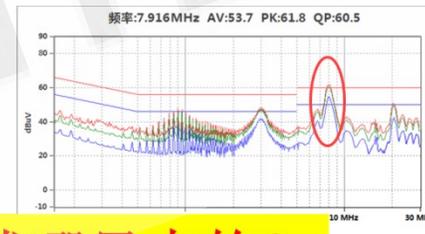
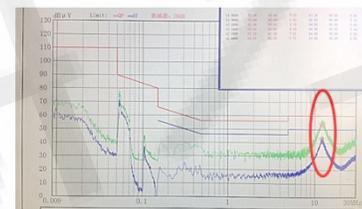
如何确认布线对滤波电容噪声抑制能力的影响？

➤ 布线电感

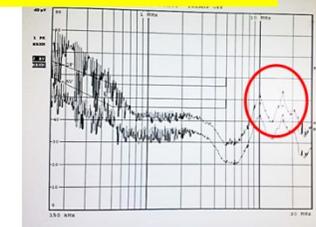
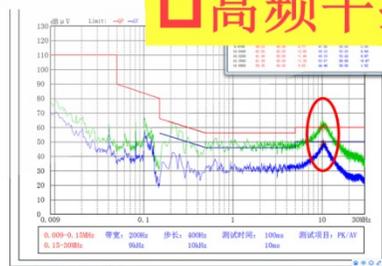


如何确认布线对滤波电容噪声抑制能力的影响？

➤ 更加隐蔽的回路电感

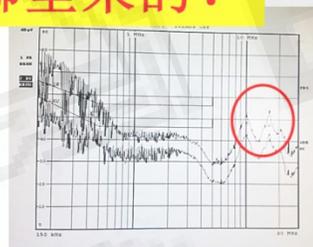
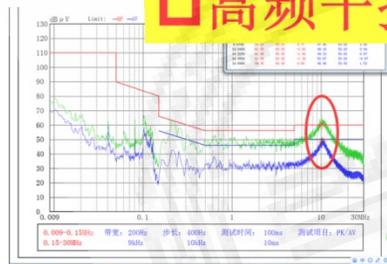
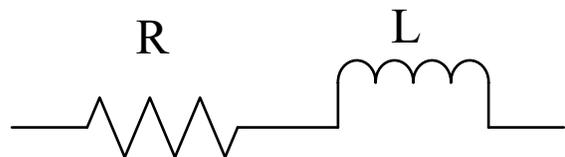


□ 高频干扰哪里来的？

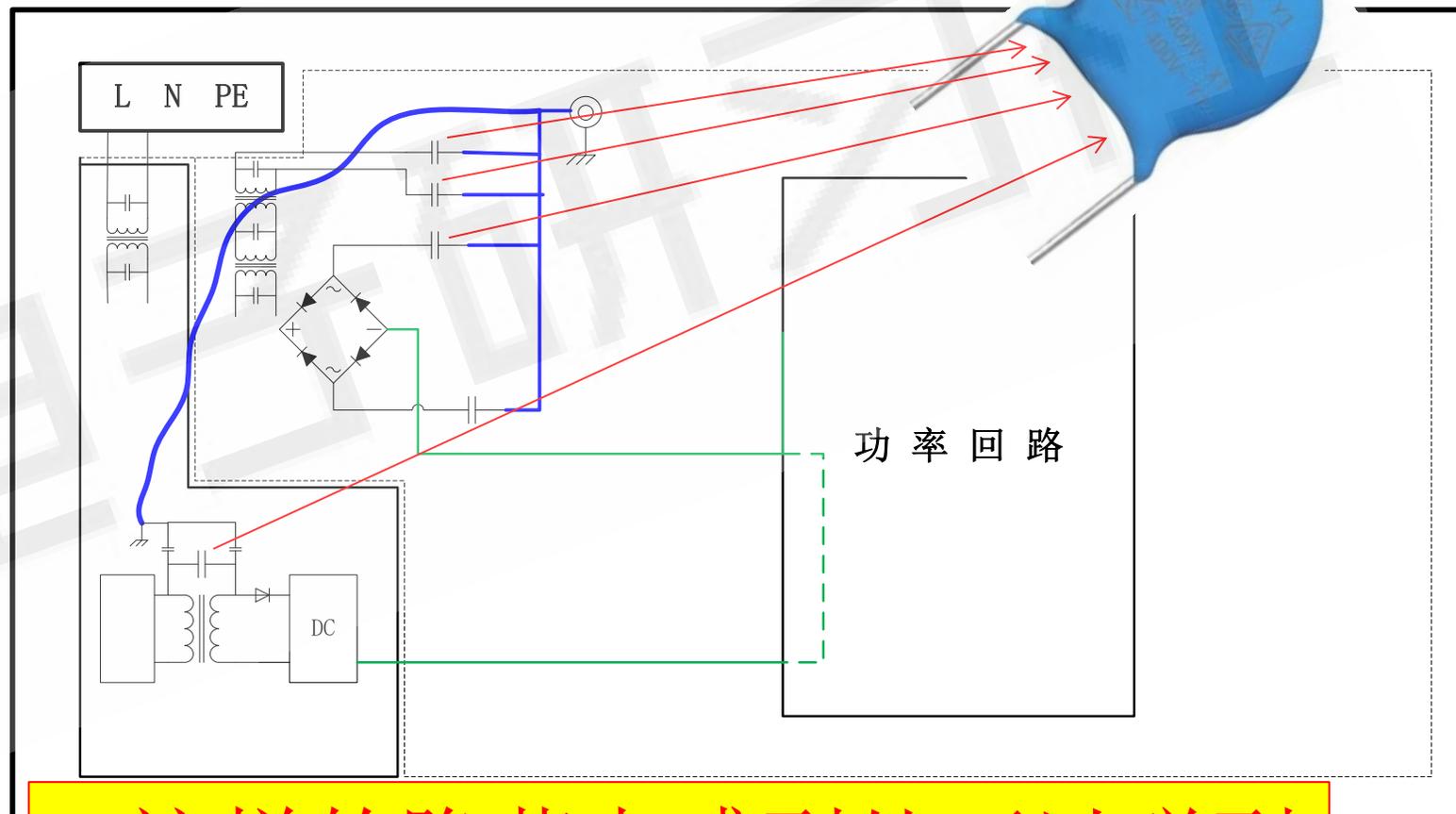


如何确认布线对滤波电容噪声抑制能力的影响？

➤ 更加隐蔽的回路电感



高频干扰哪里来的？

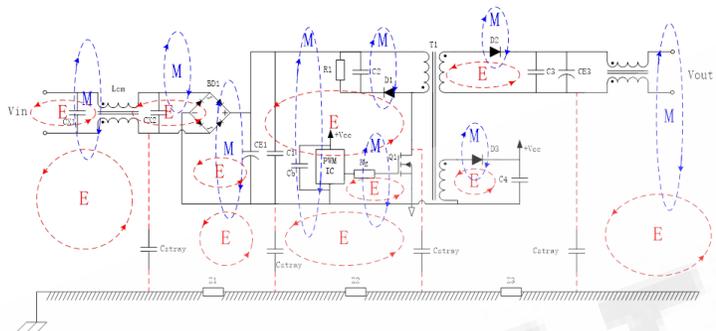


这样的隐蔽电感到处可以碰到

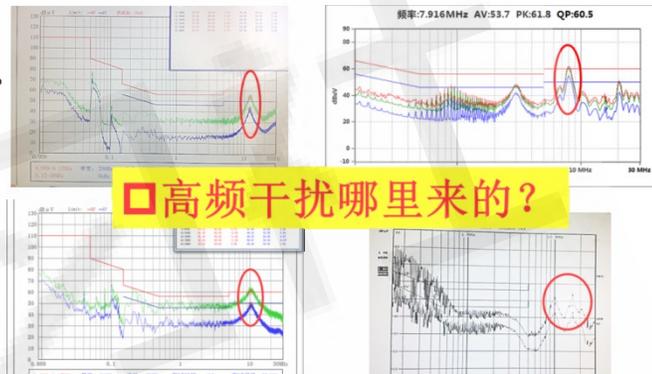
1. 如何评估滤波电容对噪声的抑制能力？
2. 插入损耗的国家标准
3. 如何测试滤波电容的插入损耗？
4. 如何进行滤波电容的应用选型？
5. 如何确认不同滤波电容的噪声抑制能力？
6. 如何确认布线对滤波电容噪声抑制能力的影响？
7. 总结和展望

总结和展望

- 欧姆定律与电容
- 电容的高频特性
- 插入损耗国标
- dB单位换算
- 电容插入损耗测试方法
- 电容对噪声的抑制能力
- 布线对电容抑制噪声能力的影响

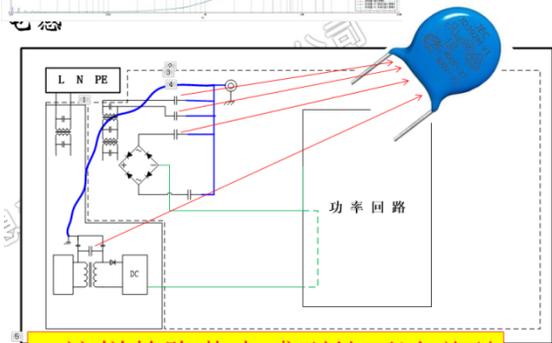
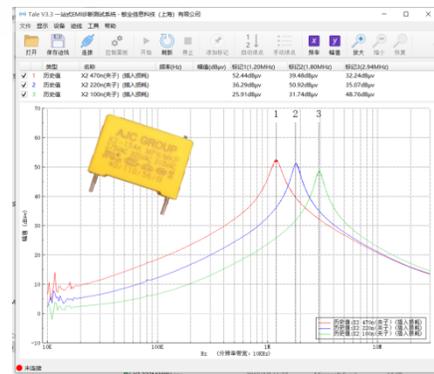
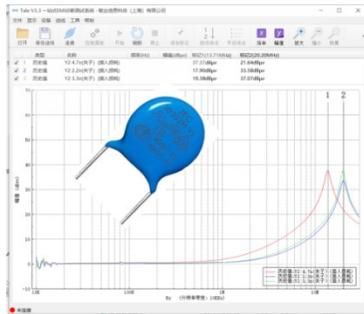
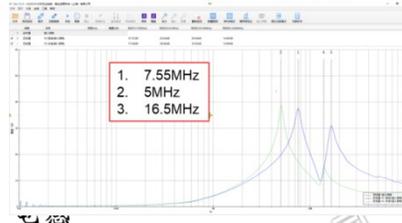
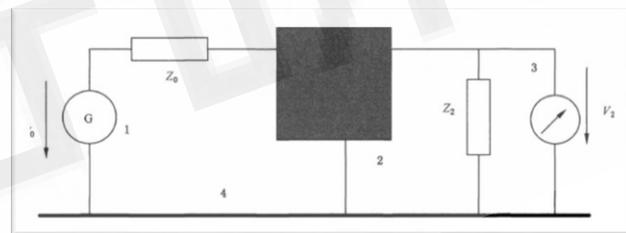


$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{C \cdot L_{ESL}}}$$



GB/T 7343:2017 《无源EMC滤波器件抑制特性的测量方法》

- 20dB=10
- 40dB=100
- 10dB=3.16
- 6dB=2
- 3dB=1.4



这样的隐蔽电感到处可以碰到

总结和展望

- EMC问题需要紧扣三要素
- 时域/频域、共模/差模、近场/远场
- 器件材料测试：插入损耗
- EMC正向设计



总结和展望

➤ EMC诊断测试中心

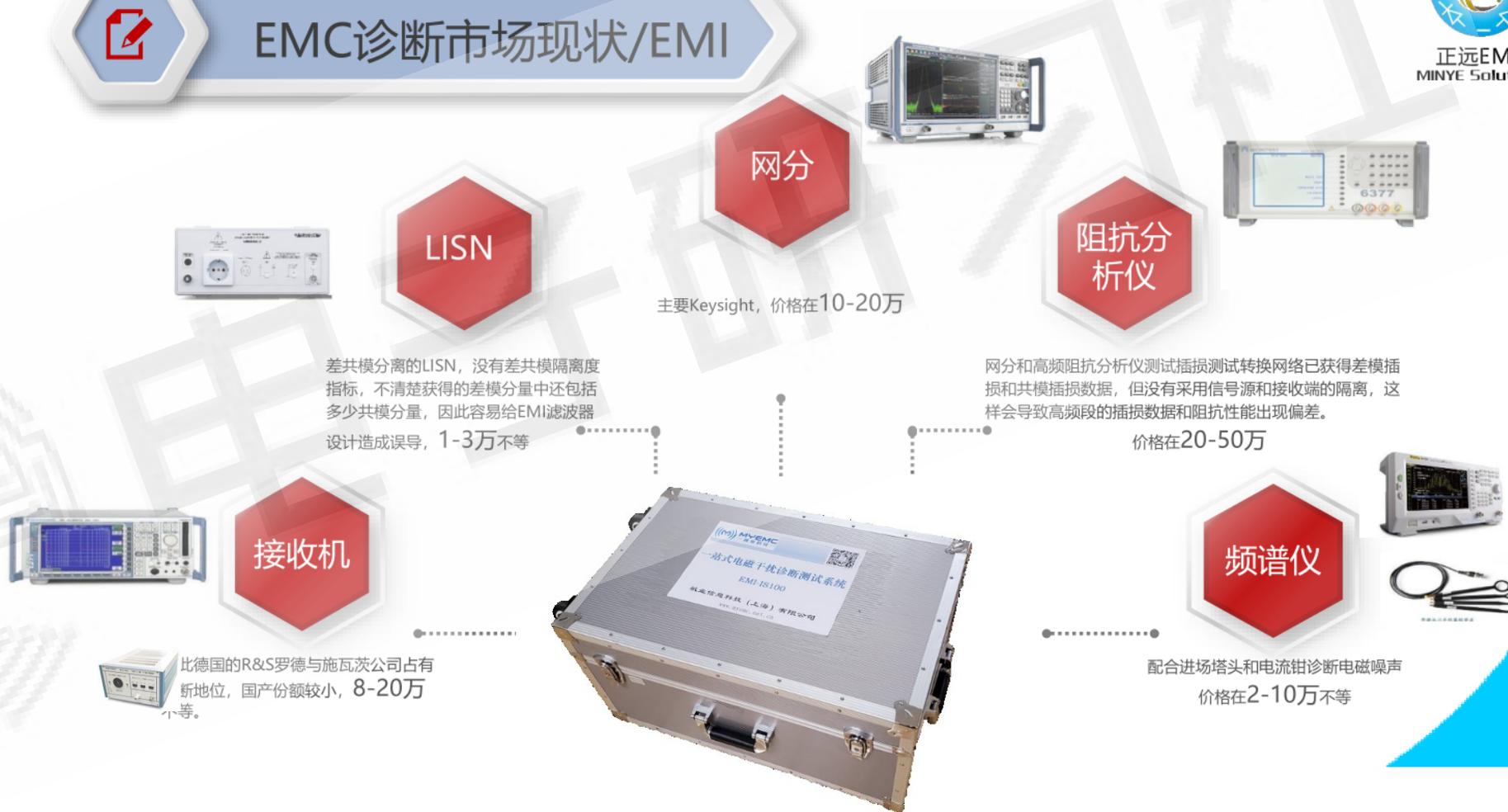
1. 传导诊断测试
2. 辐射诊断测试
3. 静电抗扰度诊断测试
4. EFT抗扰度诊断测试
5. 浪涌抗扰度诊断测试
6.



总结和展望



EMC诊断市场现状/EMI



EMC闭环式设计

- A.** 精确的噪声源定位 ($< 2\text{mm}$)
- B.** 高隔离度的差共模分离 ($> 40\text{dB}$)
- C.** 最直观的滤波器/器件插损测试 (频段扩展至 2.1GHz)
- D.** 简单易用的上位机操作软件
- E.** 定量的滤波器设计仿真软件
- F.** 便捷的EMI预测试



免费诊断测试

价值4万元的免费测试诊断服务回馈给各位粉丝及网友!

限20位

领取方式
见下页

| | 测试项目 | 标准/特点 |
|----|---------------|---|
| 1 | 噪声源定位 | 精确定位噪声源，最高精度达2mm。为从噪声源解决传导辐射问题提供依据。 |
| 2 | 差共模噪声分量 | 工信部《电子设备共模和差模骚扰测量方法》；差共模抑制比 >40dB@9k-30MHz, >30dB@≤108MHz覆盖汽车电子的传导干扰频段。 |
| 3 | 传导骚扰测试 | 照明及工科医9kHz-30MHz；汽车150kHz-108MHz |
| 4 | 插入损耗测试 | CISPR17-1/ GB/T7343；测量滤波器件（电感，电容）和整体滤波器的插入损耗 |
| 5 | 传导路径定位 | 专利的共模探头，探测传导干扰传播路径。 |
| 6 | 辐射骚扰摸底测试 | CISPR11/GB4824, CISPR12/GB14023, CISPR13/GB13837, CISPR14/GB4343, CISPR15/GB17743, CISPR22/GB9254, CISPR25/GB18655, CISPR32, 30MHz-1GHz的辐射骚扰摸底测试。 |
| 7 | 快速瞬变脉冲群抗扰度EFT | IEC61000-4-4/GB19510.4； Max. 5kV |
| 8 | 静电抗扰度测试ESD | IEC61000-4-2/GB19510.2； Max. 30kV空气放电接触放电 |
| 9 | 浪涌抗扰度测试Surge | IEC61000-4-5/GB19510.5； 可以做6kV浪涌EMC测试（组合波） |
| 10 | 电路板敏感部位探测试 | 定位对EFT和ESD敏感的器件或管脚。 |

标准单价250元/小时

免费诊断测试

免费测试领取方式：

- step1: 扫描左下方二维码，添加敏业官方公众号。
- step2: 扫描右下方二维码，添加工作人员微信。
- step3: 根据工作人员提示，领取免费测试服务资格。



敏业信息科技（上海）有限公司

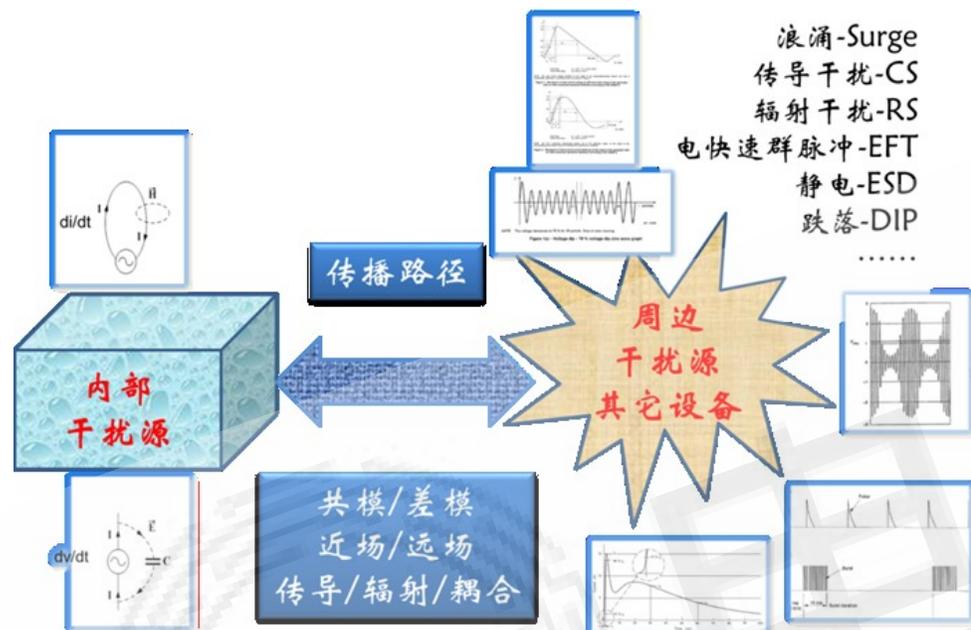
电话：021-68788771/18918517856

Email: myemc@myemc.net.cn

网址: www.myemc.net.cn

地址：上海市浦东新区锦绣东路1999号523室

总结和展望



➤ EMC诊断技术系列讲座

1. EMC诊断技术—滤波篇
2. EMC诊断技术—器件篇
3. EMC诊断技术—器件篇
4. EMC诊断技术—电容篇
5. EMC诊断技术—电感篇
6. EMC诊断技术—诊断仪器篇