

高速 PCB 设计电容的应用

第一部分：电容的分类

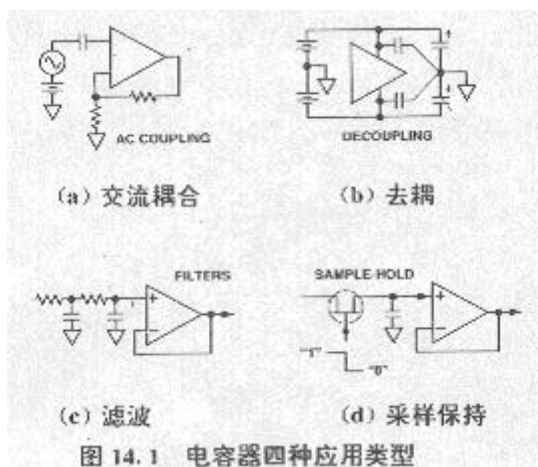
电容在电路的设计中从应用上进行分类，可以将电容分为四类：

第一类：AC 耦合电容。主要用于 GHz 信号的交流耦合。

第二类：退耦电容。主要用于保持滤除高速电路板的电源或地的噪声。

第三类：有源或无源 RC 滤波或选频网络中用到的电容。

第四类：模拟积分器和采样保持电路中用到的电容。



在本文中我们将主要讨论第二大类退耦电容。

电容从制造的材料和工艺进行分类，主要有以下不同形式的电容：

- 1、NPO 陶瓷电容器
- 2、聚苯乙烯陶器电容器
- 3、聚丙烯电容器
- 4、聚四氟乙烯电容器
- 5、MOS 电容器
- 6、聚碳酸酯电容器
- 7、聚脂电容器
- 8、单片陶瓷电容器
- 9、云母电容器
- 10、铝电解电容器
- 11、钽电解电容器

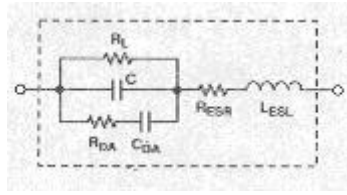
在实际的设计中由于，价格、采购等各方面原因经常用的电容有：陶瓷电容、铝电解电容、钽电容。

下面我看看，各个电容的性能比较表：

类型	典型介质吸收	优点	缺点
NPO 陶瓷电容器	吸收 < 0.1%	外型尺寸小、价格便宜、稳定性好、电容值范围宽、销售商多、电感低	通常很低，但又无法限制到很小的数值(10nF)
聚苯乙烯陶器电容器	0.001%~0.02%	价格便宜、DA 很低、电容值范围宽、稳定性好	温度高于 85°C，电容器受到损害、外形尺寸大、电感高
聚丙烯电容器	0.001%~0.02%	价格便宜、DA 很低、电容值范围宽	温度高于+105°C，电容器受到损害、外形尺寸大、电感
聚四氟乙烯电容器	0.003%~0.02%	DA 很低、稳定性好、可在 +125°C 以上温度工作、电容值范围宽	价格相当贵、外形尺寸大、电感高
MOS 电容器	0.01%	DA 性能好，尺寸小，可在 +25°C 以上温度工作，电感低	限制供应、只提供小电容值
聚碳酸酯电容器	0.1%	稳定性好、价格低、温度范围宽	外形尺寸大、DA 限制到 8 位应用、电感高
聚脂电容器	0.3%~0.5%	稳定性中等、价格低、温度范围宽、电感低	外形尺寸大、DA 限制到 8 位应用、电感高
单片陶瓷电容器	>0.2%	电感低、电容值范围宽	稳定性差、DA 性能差、电压系数高
云母电容器	>0.003%	高频损耗低、电感低、稳定性好、效率优于 1%	外形尺寸很大、电容值低(<10nF)、价格贵
铝电解电容器	很高	电容值高、电流大、电压高、尺寸小	泄漏大、通常有极性、稳定性差、精度低、电感性
钽电解电容器	很高	尺寸小、电容值大、电感适中	泄漏很大、通常有极性、价格贵、稳定性差、精度差

第二部分：电容的具体模型和分布参数

要正确合理的应用电容，自然需要认识电容的具体模型以及模型中各个分布参数的具体意义和作用。和其他的元器件一样，实际中的电容与"理想"电容器不同，"实际"电容器由于其封装、材料等方面的影响，其就具备有电感、电阻的一个附加特性，必须用附加的"寄生"元件或"非理想"性能来表征，其表现形式为电阻元件和电感元件，非线性和介电存储性能。"实际"电容器模型如下图所示。由于这些寄生元件决定的电容器的特性，通常在电容器生产厂家的产品说明中都有详细说明。在每项应用中了解这些寄生作用，将有助于你选择合适类型的电容器。

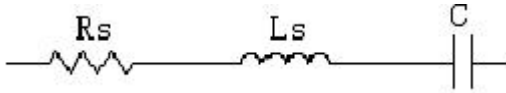


从上面的图我们可以看出，电容实际上应该由六个部分组成。除了自己的电容 C 外，还有以下部分组成：

- 1、等效串联电阻 ESR $RESR$ ：电容器的等效串联电阻是由电容器的引脚电阻与电容器两个极板的等效电阻相串联构成的。当有大的交流电流通过电容器， $RESR$ 使电容器消耗能量(从而产生损耗)。这对射频电路和载有高波纹电流的电源去耦电容器会造成严重后果。但对精密高阻抗、小信号模拟电路不会有很大的影响。 $RESR$ 最低的电容器是云母电容器和薄膜电容器。
- 2、等效串联电感 ESL， $LESL$ ：电容器的等效串联电感是由电容器的引脚电感与电容器两个极板的等效电感串联构成的。像 $RESR$ 一样， $LESL$ 在射频或高频工作环境下也会出现严重问题，虽然精密电路本身在直流或低频条件下正常工作。其原因是用于精密模拟电路中的晶体管在过渡频率 (transition frequencies) 扩展到几百兆赫或几吉赫的情况下，仍具有增益，可以放大电感值很低的谐振信号。这就是在高频情况下对这种电路的电源端要进行适当去耦的主要原因。
- 3、等效并联电阻 EPR RL ：就是我们通常所说的电容器泄漏电阻，在交流耦合应用、存储应用(例如模拟积分器和采样保持器)以及当电容器用于高阻抗电路时， RL 是一项重要参数，理想电容器中的电荷应该只随外部电流变化。然而实际电容器中的 RL 使电荷以 RC 时间常数决定的速率缓慢泄漏。
- 4、还是两个参数 RDA 、 CDA 也是电容的分布参数，但在实际的应该中影响比较小，这里就不介绍了。所以电容重要分布参数的有三个： ESR 、 ESL 、 EPR 。其中最重要的是 ESR 、 ESL ，实际在分析电容模型的时候一般只用 RLC 简化模型，即分析电容的 C 、 ESR 、 ESL ，这我们将在下周做重点分析电容的简化模型。
- 5、下面我们在介绍详细模型的基础上，谈谈我们设计中经常用到两种电容：
- 6、电解电容器(比如：钽电容器和铝电解电容器)的容量很大，由于其隔离电阻低，就是等效并联电阻 EPR 很小，所以漏电流非常大 (典型值 $5\sim 20nA/\mu F$)，因此它不适合用于存储和耦合。电解电容比较适合用于电源的旁路电容，用于稳定电源的供电。最适合用于交流耦合及电荷存储的电容器是聚四氟乙烯电容器和其它聚脂型(聚丙烯、聚苯乙烯等)电容器。
- 7、单片陶瓷电容器，比较适合用于高频电路的退耦电容，因为它们具有很低的等效串联电感，就是等效串联电感 ESL 很小，具备有很广的退耦频段。这和他的结构构成有很大的关系单片陶瓷电容器是由多层夹层金属薄膜和陶瓷薄膜构成的，而且这些多层薄膜是按照母线平行方式排布的，而不是按照串行方式卷绕的。
- 8、这周我们谈了电容的详细的等效模型，相信大家现在对电容应该有比较深的认识了，下周我们将继续谈，我们实际分析应用中要经常用到的电容的简化等效模型，和他阻抗曲线的由来和意义。

第三部分：电容的简化模型和阻抗曲线

为了分析方便，在实际的分析应该中经常使用由串联等效电阻 ESR、串联等效电感 ESL、电容组成的 RLC 模型。因为对电容的高频特性影响最大的则是 ESR 和 ESL，我们通常采用下图中简化的实际模型进行分析：



上面组成的 RLC 模型的阻抗如果用数学公式可以表示如下：

$$Z = R_s + j\omega L_s - j / \omega C = R_s + j (\omega L_s - 1 / \omega C) \quad (\text{式中 } \omega = 2\pi f)$$

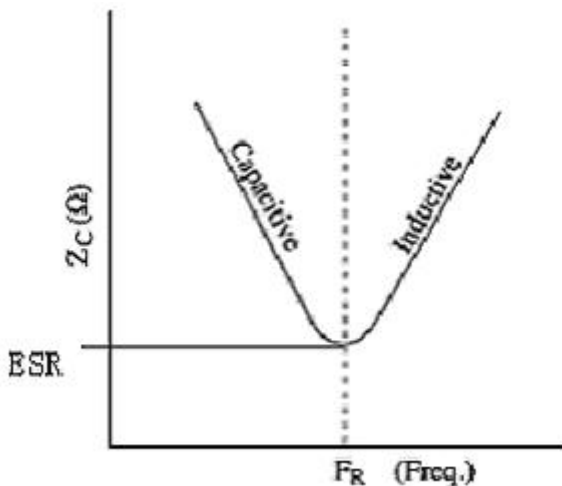
那么它的模的表达式如下：

$$|Z| = \sqrt{R_s^2 + (2\pi f L_s - \frac{1}{2\pi f C})^2}$$

上式就是电容的容抗随频率变化的表达式，如果 $2\pi f L_s = 1 / 2\pi f C$ ，那么 $|Z|_{\min} = R_s$ ，此时：

$$f_R = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

画出电容的容抗的曲线的图如下：



从上图，我们很清楚的看出：电容在整个频段，并非都是表现为电容的特性，而是在低频的情况(谐振频率以下)，表现为电容性的器件，而当频率增加(超过谐振频率)的时候，它渐渐的表现为电感性的器件。也就是说它的阻抗随着频率的增加先减小后增大，等效阻抗的最小值发生在串联谐振频率时，这时候，电容的容抗和感抗正好抵消，表现为阻抗大小恰好等于寄生串联电阻 ESR。

了解了上面的曲线，应该就不难理解在实际的应该中，我们的选择电容标准是：

- 1、尽可能低的 ESR 电容。
- 2、尽可能高的电容的谐振频率值。

我们谈了电容的详细简化模型，希望对大家的分析电容的问题会带来帮助，这个专题在这里就占时告一个段落了。电容应该更深入的应用，比如：电容的分布参数对阻抗的具体的、综合的影响、电路设计中如果选择适量的电容避免电容过设计和欠设计等专题希望今后各位同仁一起探讨探讨。