

电源设计中不可或缺的电容器细谈

OFweek 电子工程网，电源往往是我们在电路设计过程中最容易忽略的环节。其实，作为一款优秀的设计，电源设计应当是很重要的，它很大程度影响了整个系统的性能和成本。

这里，只介绍一下电路板电源设计中的电容使用情况。这往往又是电源设计中最容易被忽略的地方。很多人搞 ARM，搞 DSP，搞 FPGA，乍一看似乎搞的很高深，但未必有能力为自己的系统提供一套廉价可靠的电源方案。这也是我们国产电子产品功能丰富而性能差的一个主要原因。

1 电容的重要参数

好了，言归正转，先跟大家介绍一下电容。首先对电容品牌有一个大概的了解，市面上的国产电容有三环电容、风华电容等品牌，台企龙头 YAGEO 电容（即国巨电容），以及国外进口品牌如 TDK 电容、SAMSUNG 电容和 MURATA 电容都是比较知名的品牌。

大家对电容的概念大多还停留在理想的电容阶段，一般认为电容就是一个 C。却不知道电容还有很多重要的参数，也不知道一个 1 μ F 的瓷片电容和一个 1 μ F 的铝电解电容有什么不同。

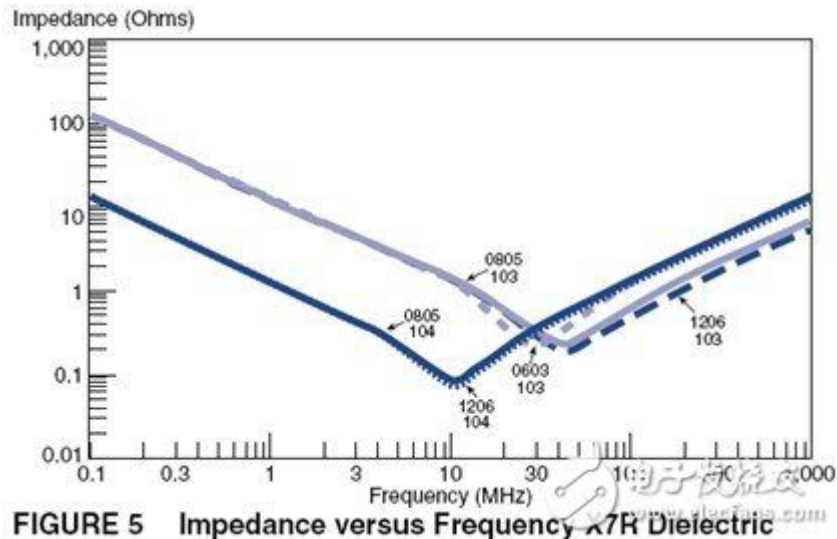
实际的电容可以等效成下面的电路形式：

C：电容容值。一般是指在 1kHz，1V 等效 AC 电压，直流偏压为 0V 情况下测到的，不过也可有很多电容测量的环境不同。但有一点需注意，电容值 C 本身是会随环境发生改变的。

ESL：电容等效串联电感。电容的管脚是存在电感的。在低频应用时感抗较小，所以可以不考虑。当频率较高时，就要考虑这个电感了。举个例子，一个 0805 封装的 0.1 μ F 贴片电容，每管脚电感 1.2nH，那么 ESL 是 2.4nH，可以算一下 C 和 ESL 的谐振频率为 10MHz 左右，当频率高于 10MHz，则电容体现为电感特性。

ESR：电容等效串联电阻。无论哪种电容都会有一个等效串联电阻，当电容工作在谐振点频率时，电容的容抗和感抗大小相等，于是等效成一个电阻，这个电阻就是 ESR。因电容结构不同而有很大差异。铝电解电容 ESR 一般由几百毫欧到几欧，瓷片电容一般为几十毫欧，钽电容介于铝电解电容和瓷片电容之间。

下面我们看一些 X7R 材质瓷片电容的频率特性：

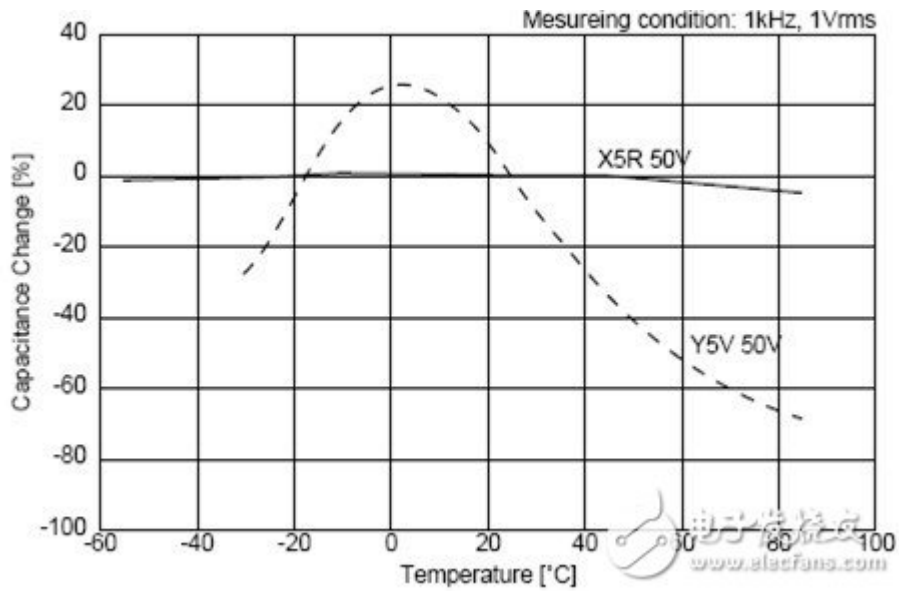
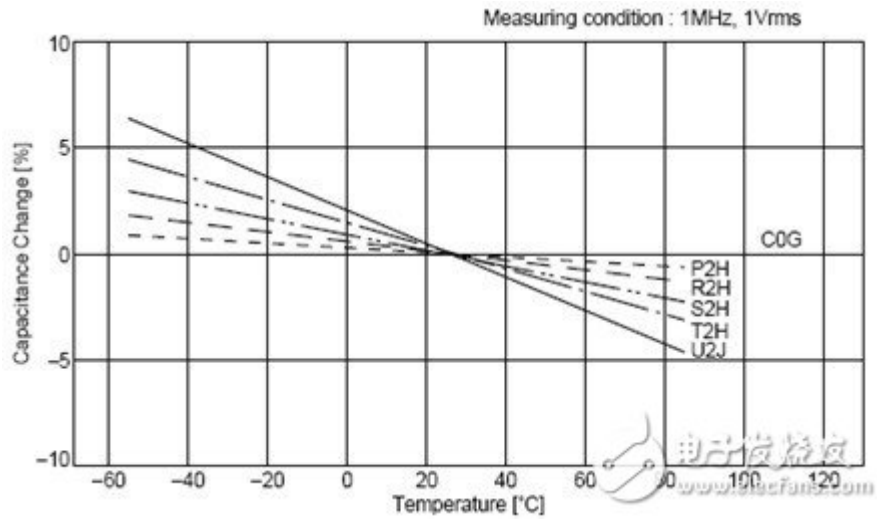


当然，电容相关的参数还有很多，不过，设计中最重要的是 C 和 ESR。

下面简单介绍一下我们常用到的三种电容：铝电解电容，瓷片电容和钽电容。

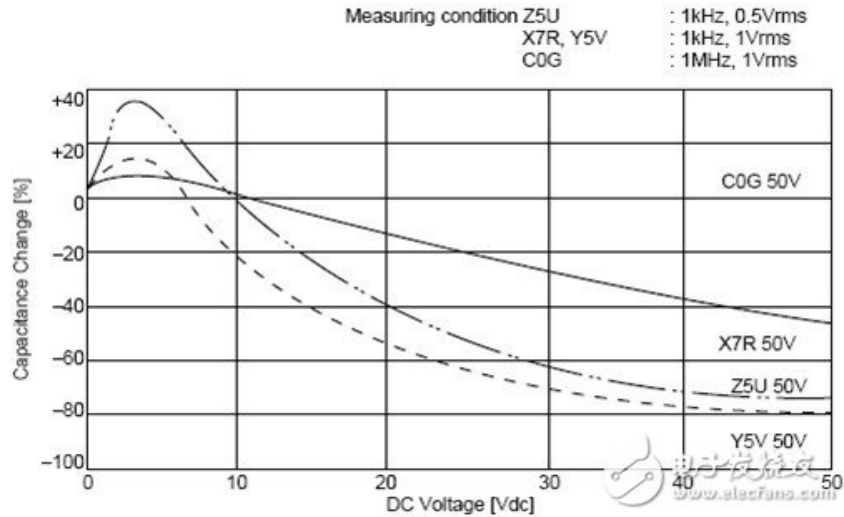
1) **铝电容**是由铝箔刻槽氧化后再夹绝缘层卷制，然后再浸电解质液制成的，其原理是化学原理，电容充放电靠的是化学反应，电容对信号的响应速度受电解质中带离子的移动速度限制，一般都应用在频率较低（1M 以下）的滤波场合，ESR 主要为铝箔电阻和电解液等效电阻的和，值比较大。铝电容的电解液会逐渐挥发而导致电容减小甚至失效，随温度升高挥发速度加快。温度每升高 10 度，电解电容的寿命会减半。如果电容在室温 27 度时能使用 10000 小时的话，57 度的环境下只能使用 1250 小时。所以铝电解电容尽量不要太靠近热源。

2) **瓷片电容**存放电靠的是物理反应，因而具有很高的响应速度，可以应用到上 G 的场合。不过，瓷片电容因为介质不同，也呈现很大的差异。性能最好的是 C0G 材质的电容，温度系数小，不过材质介电常数小，所以容值不可能做太大。而性能最差的是 Z5U/Y5V 材质，这种材质介电常数大，所以容值能做到几十微法。但是这种材质受温度影响和直流偏压（直流电压会致使材质极化，使电容量减小）影响很严重。下面我们看一下 C0G、X5R、Y5V 三种材质电容受环境温度和直流工作电压的影响。



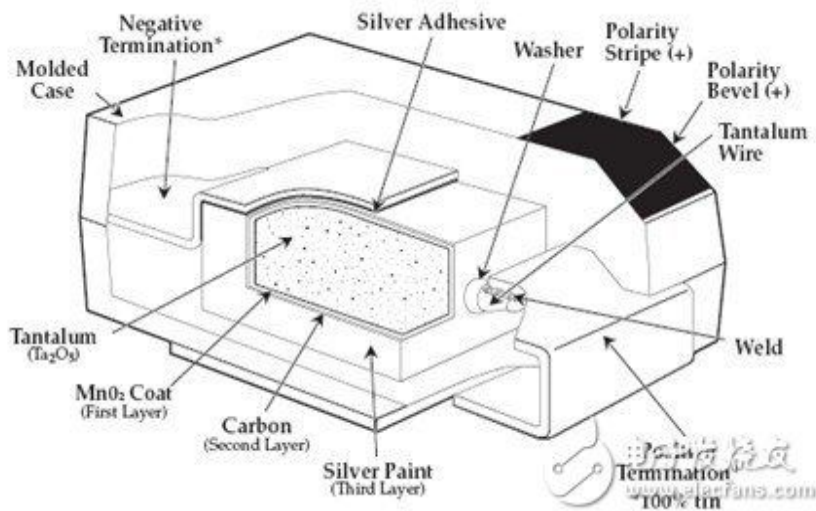
可以看到 C0G 的容值基本不随温度变化，X5R 稳定性稍差些，而 Y5V 材质在 60 度时，容量变为标称值的 50%。

可以看到 50V 耐压的 Y5V 瓷片电容在应用在 30V 时，容量只有标称值的 30%。



陶瓷电容有一个很大的缺点，就是易碎。所以需要避免磕碰，尽量远离电路板易发生形变的地方。

3) 钽电容无论是原理和结构都像一个电池。下面是钽电容的内部结构示意图：



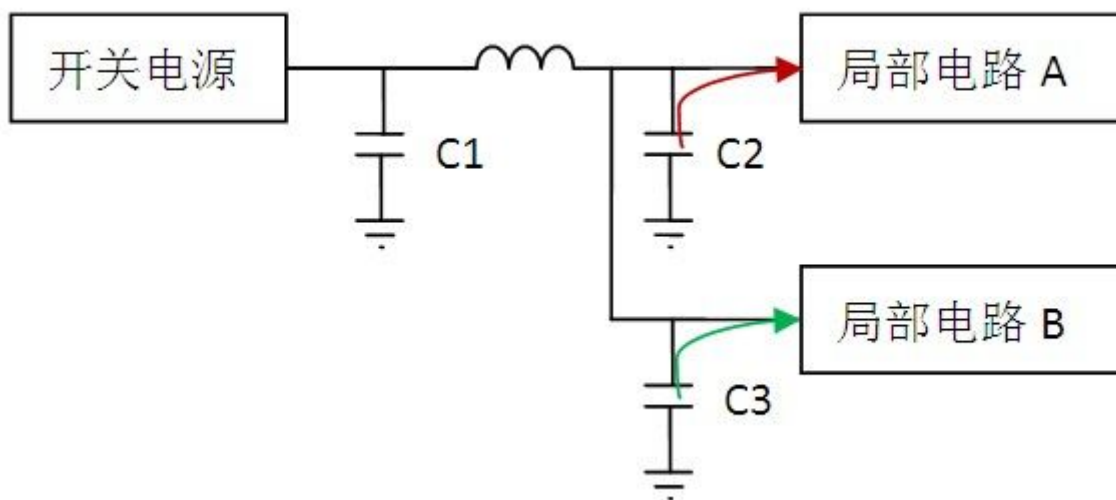
钽电容拥有体积小、容量大、速度快、ESR 低等优势，价格也比较高。决定钽电容容量和耐压的是原材料钽粉颗粒的大小。颗粒越细可以得到越大的电容，而如果想得到较大的耐压就需要较厚的 Ta205，这就要求使用颗粒大些的钽粉。所以体积相同要想获得耐压高而又容量大的钽电容难度很大。钽电容需引起注意的另一个地方是：钽电容比较容易击穿而呈短路特性，抗浪涌能力差。很可能由于一个大的瞬间电流导致电容烧毁而形成短路。这在使用超大容量钽电容时需考虑（比如 1000uF 钽电容）。

从上面可以了解到不同的电容有不同的应用场合，并不是价格越高越好。

2 电源设计中电容的作用

在电源设计应用中，电容主要用于滤波（filter）和退耦/旁路（decoupling/bypass）。

滤波主要指滤除外来噪声，而退耦/旁路（一种，以旁路的形式达到退耦效果，以后用“退耦”代替）是减小局部电路对外的噪声干扰。很多人容易把两者搞混。下面我们看一个电路结构：



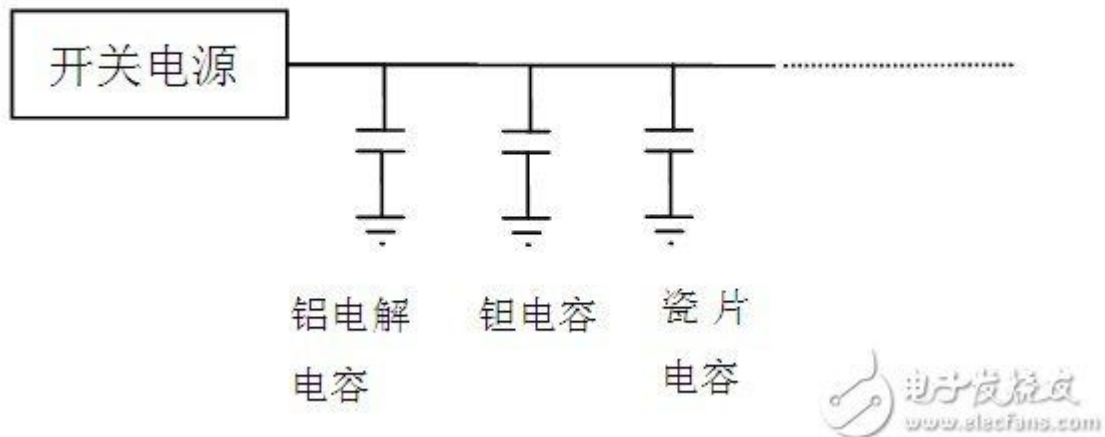
图中开关电源为 A 和 B 供电。电流经 C1 后再经过一段 PCB 走线（暂等效为一个电感，实际用电磁波理论分析这种等效是有误的，但为方便理解，仍采用这种等效方式。）分开两路分别供给 A 和 B。开关电源出来的纹波比较大，于是我们使用 C1 对电源进行滤波，为 A 和 B 提供稳定的电压。C1 需要尽可能的靠近电源放置。C2 和 C3 均为旁路电容，起退耦作用。当 A 在某一瞬间需要一个很大的电流时，如果没有 C2 和 C3，那么会因为线路电感的原因 A 端的电压会变低，而 B 端电压同样受 A 端电压影响而降低，于是局部电路 A 的电流变化引起了局部电路 B 的电源电压，从而对 B 电路的信号产生影响。同样，B 的电流变化也会对 A 形成干扰。这就是“共路耦合干扰”。

增加了 C2 后，局部电路再需要一个瞬间的大电流的时候，电容 C2 可以为 A 暂时提供电流，即使共路部分电感存在，A 端电压不会下降太多。对 B 的影响也会减小很多。于是通过电流旁路起到了退耦的作用。

一般滤波主要使用大容量电容，对速度要求不是很快，但对电容值要求较大。一般使用铝电解电容。浪涌电流较小的情况下，使用钽电容代替铝电解电容效果会更好一些。从上面的例子我们可以知道，作为退耦的电容，必需有很快的响应速度才能达到效果。如果图中的局部电路 A 是指一个芯片的话，那么退耦电容要用瓷片电容，而且电容尽可能靠近芯片的电源引脚。而如果“局部电路 A”是指

一个功能模块的话，可以使用瓷片电容，如果容量不够也可以使用钽电容或铝电解电容（前提是功能模块中各芯片都有了退耦电容-瓷片电容）。

滤波电容的容量往往都可以从开关电源芯片的数据手册里找到计算公式。如果滤波电路同时使用电解电容、钽电容和瓷片电容的话，把电解电容放的离开关电源最近，这样能保护钽电容。瓷片电容放在钽电容后面。这样可以获得最好的滤波效果。



退耦电容需要满足两个要求，一个是容量需求，另一个是 ESR 需求。也就是说一个 $0.1\mu\text{F}$ 的电容退耦效果也许不如两个 $0.01\mu\text{F}$ 电容效果好。而且， $0.01\mu\text{F}$ 电容在较高频段有更低的阻抗，在这些频段内如果一个 $0.01\mu\text{F}$ 电容能达到容量需求，那么它将比 $0.1\mu\text{F}$ 电容拥有更好的退耦效果。

很多管脚较多的高速芯片设计指导手册会给出电源设计对退耦电容的要求，比如一款 500 多脚的 BGA 封装要求 3.3V 电源至少有 30 个瓷片电容，还要有几个大电容，总容量要 $200\mu\text{F}$ 以上。