

电容全接触

信息来源：internet

一、电容的种类（按材料来分）：

1) 名称：聚酯（涤纶）电容（CL）

电容量：40p--4u

额定电压：63--630V

主要特点：小体积，大容量，耐热耐湿，稳定性差

应用：对稳定性和损耗要求不高的低频电路

2) 名称：聚苯乙烯电容（CB）

电容量：10p--1u

额定电压：100V--30KV

主要特点：稳定，低损耗，体积较大

应用：对稳定性和损耗要求较高的电路

3) 名称：聚丙烯电容（CBB）

电容量：1000p--10u

额定电压：63--2000V

主要特点：性能与聚苯相似但体积小，稳定性略差。其串联电阻小，电感值小，电容量相对时间、温度、电压很稳定。

应用：它适用于要求频率稳定性高的场合，可用于高频滤波、旁路、去耦。可代替大部分聚苯或云母电容，用于要求较高的电路。

4) 名称：云母电容（CY）

电容量：10p--0.1u

额定电压：100V--7kV

主要特点：高稳定性，高可靠性，温度系数小。其容体比很小，串联电阻小，电感值小，频率/容量特性稳定。

应用：它适用于电容量小、工作频率高（频率可达 500MHz）的场合，用于高频滤波、旁路、去耦。但这云母电容承受瞬态高压脉冲能力较弱，因此不能将它随便跨接在低阻电源线上，除非是特殊设计的。

5) 名称：高频瓷介电容（CC）

电容量：1--6800p

额定电压：63--500V

主要特点：高频损耗小，稳定性好

应用：适用于高频振荡、脉冲等要求较高的高频电路。

6) 名称：低频瓷介电容（CT）

电容量：10p--4.7u

额定电压：50V--100V

主要特点：体积小，价廉，损耗大，稳定性差

应用：要求不高的低频电路

7) 名称: 玻璃釉电容 (CI)

电容量: 10p--0.1u

额定电压: 63--400V

主要特点: 稳定性较好, 损耗小, 耐高温 (200 度)

应用: 脉冲、耦合、旁路等电路

8) 名称: 铝电解电容

电容量: 0.47--10000u

额定电压: 6.3--450V

主要特点: 体积小, 容量大, 损耗大, 漏电大。

铝电解电容的容体比较大, 串联电阻较大, 感抗较大, 对温度敏感。它适用于温度变化不大、工作频率不高 (不高于 25kHz) 的场合, 可用于低频滤波(在高频率得时候电解电容的并联滤波效果较低频差)。铝电解电容具有极性, 安装时必须保证正确的极性, 否则有爆炸的危险。铝电解电容器的额定电压的 1.3 倍作为电容器的浪涌电压, 工作电压高于 160V 时, 是额定工作电压+50V 作为浪涌电压, 这是生产厂家保证的电压, 可以允许在短时间内承受此电压。电容器处于浪涌电压时, 电流会很大, 通常是正常情况的 10~15 倍, 如果时间太长, 会爆开。所以一般选用铝电容器应该把电压选得稍高些, 实际工作电压为标称电压的 70~80% 为宜。

应用: 电源滤波, 低频耦合, 去耦, 旁路等

9) 名称: 钽电解电容 (CA) 钮电解电容 (CN)

电容量: 0.1--1000u

额定电压: 6.3--125V

主要特点: 损耗、漏电小于铝电解电容。与铝电解电容相比, 钽电解电容在串联电阻、感抗、对温度的稳定性等方面都有明显的优势。

应用: 在要求高的电路中代替铝电解电容

10) 名称: 空气介质可变电容器

可变电容量: 100--1500p

主要特点: 损耗小, 效率高; 可根据要求制成直线式、直线波长式、直线频率式及对数式等

应用: 电子仪器, 广播电视设备等

11) 名称: 薄膜介质可变电容器

可变电容量: 15--550p

主要特点: 体积小, 重量轻; 损耗比空气介质的大

应用: 通讯, 广播接收机等

12) 名称: 薄膜介质微调电容器

可变电容量: 1--29p

主要特点: 损耗较大, 体积小

应用: 收录机, 电子仪器等电路作电路补偿

13) 名称: 陶瓷介质微调电容器

可变电容量: 0.3--22p

主要特点: 损耗较小, 体积较小

应用：精密调谐的高频振荡回路

14) 名称：独石电容

电容量大、体积小、可靠性高、电容量稳定，耐高温耐湿性好等。

应用范围：广泛应用于电子精密仪器。各种小型电子设备作谐振、耦合、滤波、旁路。

容量范围：0.5PF--1UF

耐压：二倍额定电压。

独石又叫多层瓷介电容，分两种类型，I型性能挺好，但容量小，一般小于0.2U，另一种叫II型，容量大，但性能一般。独石电容最大的缺点是温度系数很高，做振荡器的稳漂让人受不了，我们做的一个555振荡器，电容刚好在7805旁边，开机后，用示波器看频率，眼看着就慢慢变化，后来换成涤纶电容就好多了。

就温漂而言：独石为正温系数+130左右，CBB为负温系数-230，用适当比例并联使用，可使温漂降到很小。就价格而言：钽、铌电容最贵，独石、CBB较便宜，瓷片最低，但有高频率温漂黑点瓷片稍贵，云母电容Q值较高，也稍贵。

15) 名称：纸介电容

用两片金属箔做电极，夹在极薄的电容纸中，卷成圆柱形或者扁柱形芯子，然后密封在金属壳或者绝缘材料（如火漆、陶瓷、玻璃釉等）壳中制成。它的特点是体积较小，容量可以做得较大。但是有固有电感和损耗都比较大，用于低频比较合适。

16) 名称：金属化纸介电容

结构和纸介电容基本相同。它是在电容器纸上覆上一层金属膜来代替金属箔，体积小，容量较大，一般用在低频电路中。

二、电容的种类（按用途来分）：

1. 隔直流：作用是阻止直流通过而让交流通过。
2. 旁路（去耦）：为交流电路中某些并联的元件提供低阻抗通路。
3. 耦合：作为两个电路之间的连接，允许交流信号通过并传输到下一级电路。
4. 滤波：这个对DIY而言很重要，显卡上的电容基本都是这个作用。
5. 温度补偿：针对其它元件对温度的适应性不够带来的影响，而进行补偿，改善电路的稳定性。
6. 计时：电容器与电阻器配合使用，确定电路的时间常数。
7. 调谐：对与频率相关的电路进行系统调谐，比如手机、收音机、电视机。
8. 整流：在预定的时间开或者关半闭导体开关元件。
9. 储能：储存电能，用于必须要的时候释放。例如相机闪光灯，加热设备等等。（如今某些电容的储能水平已经接近锂电池的水准，一个电容储存的电能可以供一个手机使用一天。）

什么叫安规电容

只要通过安全规则认证的都叫安规电容。

安规电容是指用于这样的场合，即电容器失效后，不会导致电击，不危及人身安全。

安规电容安全等级 应用中允许的峰值脉冲电压 过电压等级 (IEC664)

X1	$>2.5\text{kV} \leq 4.0\text{kV}$	III
----	-----------------------------------	-----

X2	$\leq 2.5\text{kV}$	II
----	---------------------	----

X3	$\leq 1.2\text{kV}$	—
----	---------------------	---

安规电容安全等级	绝缘类型	额定电压范围
----------	------	--------

Y1	双重绝缘或加强绝缘	$\geq 250\text{V}$
----	-----------	--------------------

Y2	基本绝缘或附加绝缘	$\geq 150\text{V} \leq 250\text{V}$
----	-----------	-------------------------------------

Y3	基本绝缘或附加绝缘	$\geq 150\text{V} \leq 250\text{V}$
----	-----------	-------------------------------------

Y4	基本绝缘或附加绝缘	$< 150\text{V}$
----	-----------	-----------------

Y 电容的电容量必须受到限制，从而达到控制在额定频率及额定电压作用下，流过它的漏电流的大小和对系统 EMC 性能影响的目的。GJB151 规定 Y 电容的容量应不大于 $0.1\mu\text{F}$ 。Y 电容除符合相应的电网电压耐压外，还要求这种电容器在电气和机械性能方面有足够的安全余量，避免在极端恶劣环境条件下出现击穿短路现象，Y 电容的耐压性能对保护人身安全具有重要意义

安规电容的参数选择：

1.X 电容和聚苯乙烯（薄膜乙烯）电容比较，聚苯乙烯 的耐电压较高，适合 EMI 电路的高压脉冲吸收作用。

2.容量计算：一般两级 X 电容，前一级用 $0.47\mu\text{F}$,第二级用 $0.1\mu\text{F}$; 单级则用 $0.47\mu\text{F}$.目前还没有比较方便的计算方法。(电容容量的大小 和电源的功率无直接关系)

电容选用的基本规则

1. 电容的原理

现在各种电容其实来自于最初的平行板电容，平行板电容的电容量 = $\epsilon \times S / d$ 。

式中， ϵ —是介电系数， S —是面积， d —是距离。

从电容量公式可以看出，增加介电系数、增大面积、减小距离，都可以增大电容。

电容的单位是法拉 (F)，由于实际单个电容的容量较小，一般采用微法 (μF) 和皮法 (pF) 两个主要单位和毫法 (mF) 和纳法 (nF) 两个辅助单位。这些单位制的换算为：

$1\text{F} = 1000 \text{ mF} = 1000,000 \mu\text{F}$

$1\mu\text{F} = 1000 \text{ nF} = 1000,000 \text{ nF}$

电解电容由于容量较大一些，主要使用毫法（mF）和微法（μF）作单位；其它电容由于容量较小一些，主要使用微法（μF）、纳法（nF）和皮法（pF）作单位。

由于平行板电容的容量小，体积大，不适合安装在电路板上，目前采用多种技术来减小体积、增大电容量。例如，将平行板 2 个平面卷绕，增大平行板面积；将平行板进行表面腐蚀，增加表面积；采用耐压薄膜作为平行板间的隔离介质，在保证耐压的前提下，减小平行板的距离；采用增加电解液来增大介电常数等等。由于采用的技术不同，形成了多种类型的电容，每种类型都有不同的特点。目前已经制作出 5V 的法拉级的电容。

1 电解电容

电解电容由于兼有介电常数大、卷绕层数多、电容极板经过腐蚀表面积得到极大扩张、电容内部极板的距离近的优势，所以具有容量大、有极性、一般内部电感较大、高频特性不好、漏电流较大的特点。

目前常用电解电容主要有铝电解电容和钽电解电容（其它种类用量较少），其中钽电解电容分为固体型和液体型。固体型采用烧结工艺制作。

铝电解电容的优点是工艺极为成熟、制造成本低，缺点是漏电大、温度系数大。一般情况下，铝电解电容的成本是钽电解电容的 1/3 或更低；铝电解电容的漏电流是钽电解电容的数倍以上；铝电解电容的全温度范围的内阻变化达到 3 倍，低温时内阻远大于同规格的钽电解电容，高温时反而内阻小于同规格的钽电解电容。

铝电解电容的安装方式有直插式和表贴式，其中国内主要生产直插式，质量不错。表贴式铝电解电容最初主要是***生产，国内较少使用，也不生产；国内为了配合手机生产，开始大量使用表贴式铝电解电容，近年国内开始生产，不过厂家还不多。

钽电解电容的生产国内十分成熟，从指标和具体应用看，国内的产品质量确实不错，完全可以替代进口。表贴式钽电解电容主要是固体型。

由于直插式电解电容的技术十分成熟，规格特别多，形成很多事实标准，没有统一规格。

表贴式电解电容的发展之初就是按照表贴式工业标准制造，目前主要是 B 型和 C 型，A 型也已经可以供货。

容量范围：

直插式电解电容的容量范围一般从 $0.47\mu\text{F} \sim 10000\mu\text{F}$ ，超级电容可以达到法拉级。表贴式电解电容的容量范围一般从 $0.1\mu\text{F} \sim 330\mu\text{F}$ 。

电容容差：

现代电解电容的电容容差一般在 $\pm 20\%$ 以内，很多达到 $\pm 10\%$ 或更精确。

电压等级：

直插式电解电容的电压等级一般从 $6.3\text{V} \sim 600\text{V}$ ，超级电容一般是 5V。表贴式电解电容的电压等级一般从 $4\text{V} \sim 50\text{V}$ 。

电容损耗角：

这个指标 非电解电容

本节参考了中国通讯学会科普读物研究会主编的《RC 电路及其应用》

非电解电容由于介电常数小、卷绕层数有限、电容内部极板的距离不太近，所以具有容量小、无极性、内部电感较小、高频特性较好、漏电流较小的特点。

目前常用非电解电容主要有瓷片电容、玻璃釉电容、涤纶电容、聚苯乙烯薄膜电容、纸介电容、金属化电容和云母电容。

纸介电容这种电容的单位体积的电容较大、电容量范围宽（可达 $1\mu\text{F} \sim 20\mu\text{F}$ ）、工作电压高（可达 30000V ）、成本低而被广泛应用。缺点是容差较大，损耗角较大 ($\text{tg}\delta \leq 0.01$)，温度稳定性差。一般用于低频。

金属化电容是纸介电容的改进型。在相同体积下，电容量是纸介电容的 4 倍，音频损耗较小，特别是击穿后能够自愈。

涤纶电容（聚酯电容）是电容量较宽、体积小、耐热好，但是损耗较大 ($\text{tg}\delta < 0.01$)，且随频率变化。多用于低频、对损耗要求不高的地方做旁路和隔直用。

聚苯乙烯薄膜电容是一种优质电容，绝缘电阻大、损耗小($\text{tg}\delta<0.0015$)、温度系数小、耐压强度高的特点。而且精度可以做到比较高。

瓷片电容分为高频瓷片电容和低频瓷片电容。高频瓷片电容体积小、稳定性高、高频特性好、损耗小($\text{tg}\delta<0.0015$)、绝缘强度高、结构简单、还可以做成不同温度特性的电容。高频瓷片电容主要用于电子设备中的高频电路和高频高压电路。低频瓷片电容具有体积小、容量大的优点，但是稳定性差、损耗角较大，主要用于低频旁路、隔直、以及滤波电路。

云母电容是一种优质电容，具有稳定性高、精度高、绝缘电阻高、损耗小，可以作为小电容的基准。缺点是电容量不易做大。

玻璃釉电容性能也不错，接近云母电容，但是容量可以做到较大，体积稍大。

以上电容都有直插产品，技术十分成熟，规格特别多，形成很多事实标准，没有统一规格，这里就不介绍了。

表贴式非电解电容主要是独石电容和有机电容，目前主要是 B 型和 C 型，其它型号也已经可以供货。

容量范围：

直插式非电解电容的容量范围一般从 $1\text{pF}\sim 10\mu\text{F}$ 。表贴式非电解电容的容量范围一般从 $1\text{pF}\sim 4.7\mu\text{F}$ 。

电容容差：

现代非电解电容的电容容差一般在 $\pm 20\%$ 以内，很多达到 $\pm 10\%$ 或更精确。

电压等级：

直插式非电解电容的电压等级一般从 $15\text{V}\sim 600\text{V}$ 。表贴式非电解电容的电压等级一般从 $15\text{V}\sim 250\text{V}$ 。

电容损耗角：

这个指标差距较大，从 $\text{tg}\delta<0.0015$ 到 $\text{tg}\delta<0.05$ 。

差距较大，一般小厂不愿给出。

铝聚合物电解电容器的特性及应用

摘要：本文主要介绍了铝聚合物电解电容器的电气性能及主要参数，重点阐述了其等效串联电阻(ESR)低、承载纹波电流能力强的优点，同时分析了铝聚合物电解电容器在电路中应用的特点。

关键词：聚合物；电解电容器；等效串联电阻

铝聚合物电解电容器

铝电解电容器种类很多，有的可以将 ESR 明显减小，但是还是没有质的变化。ESR 主要是由电解电容器的阴极电阻造成的，提高电解电容器的阴极材料电导率可以改善电解电容器的性能，而铝聚合物电解电容器的有机聚合物阴极可以使电导率达到 300ms/cm ，甚至 3000ms/cm ，这种阴极材料可以使电解电容器的 ESR 非常低。

铝聚合物电解电容器的结构与普通铝电解电容器相同，所不同的是引线式铝聚合物电解电容器的阴极材料用有机半导体浸膏替代电解液。固态铝聚合物贴片电容是结合了铝电解电容和钽电容的一种独特结构。同传统的铝电解电容一样，固态铝聚合物贴片电容的阳极铝电极板、氧化铝层通过阳极氧化过程制作在上面。固态铝聚合物贴片电容中，高导电率的聚合物电极薄膜沉积在氧化铝上，作为阴极，炭和银为阴极的引出电极，这一点与固态钽电解电容器相似。

铝聚合物电解电容器电气性能

ESR 和额定纹波电流

铝聚合物电解电容器最大的特点是 ESR 很小，固态铝聚合物贴片电容的 ESR 低于固态钽，甚至低于钽-聚合物组合电容，原因就是采用了固态导体聚合物，这就意味着承受纹波电流能力强。电解电容的 ESR 主要取决于电极的电阻，固态铝聚合物电容的电极阻值比其它电极的阻值小得多，几乎为 0。

阻抗频率特性

在低频段(低于 10kHz)和高频段(高于 20MHz)，铝聚合物电解电容器与低 ESR 铝电解电容器、钽电解电容

器的性能相差不多。而在对开关电源输出整流滤波和数字电路的电源旁路最有效的中频段，却有着明显的差别，特别是在 1MHz 左右，相差非常明显。铝聚合物电解电容器的阻抗最低，钽电解电容器次之，ESR 铝电解电容器相对阻抗最高相差接近一个半数量级。表明铝聚合物电解电容器在上述应用中更加有效。

ESR 与电容量的温度特性

铝聚合物电解电容器的 ESR 特性从 -55°C 到 +105°C 几乎没有变化，变化由大到小依次为铝电解电容器、X5U 陶瓷电容器、钽电解电容器、X5P 陶瓷电容器、铝聚合物电解电容器，其中铝电解电容器变化达数十倍。铝聚合物电解电容器的电容量在全温度范围内变化不到 15%，略高于钽电解电容器，低于其它电容器。

电压对电容量的影响

铝聚合物电解电容器的电容量与施加电压基本无关，而陶瓷电容器的电容量则随外加电压的增加而明显下降(大约下降 20%)。

铝聚合物电解电容器的应用

上电冲击电流的抑制

由于铝聚合物电解电容器的 ESR 极小，上电过程中电容器上没有初始电压，因此，将产生幅值很高的上电冲击电流。一般情况下，应将冲击电流幅值限制在 10A 以下或低于允许纹波电流的 10 倍以下。通常的 DC/DC 变换器的输入仅用一个低 ESR 电容器滤波，这时，如选用铝聚合物电解电容器作为输入滤波电容器(假设 ESR 和电源内阻分别为 90mW 和 50mW，输入电压为 24V)，其上电电流峰值可能达到：

(1) 远远高于铝聚合物电解电容器的纹波电流承受能力。必须考虑上电过程的冲击电流限制。可以采用 AC/DC 变换器上电电流限制方法，如串联限流电阻。

(2) 这种电路的最大特点是电路极其简单，所付出的代价则是降低了变换器的效率，在输入电压较低的 DC/DC 变换器应用中不宜采用。要解决这个问题，可以采用 AC/DC 变换器的方案，通过继电器的触点，上电后经过一个延迟时间将限流电阻短路。这种电路的问题是继电器的体积与 DC/DC 变换器体积矛盾，以及控制继电器所需的功率将影响变换器的效率。还可以在电源与 DC/DC 变换器的输入端串接负温度系数热敏电阻，这个方案看起来似乎特别合理，但是对于低电压输入的 DC/DC 变换器，其热态的电阻会影响变换器的效率，这种电路的缺点是在高温环境下热敏电阻将不能有效地起到限流作用。还可以采用热插拔电路，能很好地解决这个问题。当然也可以在变换器输入部分串接一个带有磁芯的电感。(3) 为防止限流电感释放储能时产生浪涌过压，可以在限流电感上反并联二极管。

用于输出整流滤波时的短路电流限制

由于铝聚合物电解电容器的 ESR 极小，用于输出整流滤波时，由于负载短路或其它原因，会出现瞬间的高幅值放电电流。因此，具有铝聚合物电解电容器的 AC/DC 变换器或 DC/DC 模块，可以采用类似热插拔的电路抑制输出短路电流。需要注意的是，这时的短路保护不再是关闭开关管，而是切断变换器的输出与外界的联系。

对于负载的上电过程，如果负载的输入滤波电容不是铝聚合物电解电容器，通常无需特意限制输出的放电电流值。其原因是，小的薄膜电容器的容量相对很小，上电的瞬时冲击电流持续时间极短，或可以通过回路的寄生电感加以限制。而负载用铝电解电容器作为输入滤波，则由于铝电解电容器的 ESR 相对很大，有效地限制了负载上电过程的冲击电流。

铝聚合物电解电容器的并联及与其它电容器的并联

为将铝聚合物电解电容器的纹波电流限制在允许范围内，可以采用多个容量小的铝聚合物电解电容并联。如 10V/4.7mF 电容器的额定纹波电流为 670mA，而 10V/47mF、10V/470mF 的铝聚合物电解电容器的额定纹波电流分别为 1620mA、4510mA，从纹波电流值考虑，一个 10V/47mF 和一个 10V/470mF 分别可以用两个半和 6.7 个 10V/4.7mF 替代。同样，10 个 10V/4.7mF 可以流过 6700mA 的纹波电流，而一个 10V/47mF 仅能流过 1620mA 的纹波电流。因此，在纹波电流比较大的应用中，可以考虑采用多个电容器并联的方式，在开关电源和电脑主板的电压变换部分也常采用这种解决方案。由于寄生电感的作用，通常产生纹波电流的电路可以认为是纹波电流源。

可以看到，若纹波电流峰值为 5A，ESR 为 10mW，则纹波峰值电压为 50mV，若 ESR 为 100mW，则纹

波峰值电压为 500mV。10V/4.7mF、10V/47mF 和 10V/470mF 铝聚合物电解电容器的 ESR 分别为：240 mW、50 mW 和 13 mW，如果这个纹波电流峰值分别流过上述电容器，则会产生 1200mV、250mV、75 mV 纹波峰值电压，如果用 5 个 10V/47mF 并联，尽管容量仅为 235mF，但是 ESR 可以下降到 10 mW，可以将纹波电压峰值限制在 50mV 以内。

与其它种类电容器并联时，在低频段，电容器呈容性，纹波电流根据电容量的比例分配。在中频段则以 ESR 的倒数比例进行分配，这是由于铝聚合物电解电容器的 ESR 比铝电解电容器和钽电解电容器小得多，因此，将分得较大比例的纹波电流。在高频段是按各电容器寄生电感的倒数比例进行分配，寄生电感小的电容器将流过比较大的纹波电流。种类不同但容量相同的电容器并联时，若在某个频段，各电容器分别呈现容性、阻性、感性，则呈现容性的电容器上的纹波电流最大，通常，这个呈现容性的电容器就是铝聚合物电解电容器，这就需要注意铝聚合物电解电容器上的纹波电流是否超过允许的纹波电流值。

结语

通过上述分析，可以看出铝聚合物电解电容器由于其结构和材料的不同，具有明显优于其它电解电容器的特点。在电路设计中应充分发挥其优点，使设计简捷、高效、可靠。

电容的型号命名及标志方法

各国电容器的型号命名很不统一，国产电容器的命名由四部分组成：

第一部分：用字母表示名称，电容器为 C。

第二部分：用字母表示材料。

第三部分：用数字表示分类。

第四部分：用数字表示序号。

2) 电容容量的标志方法：

电容器的单位以 F, uF, mF, nF, pF 表示。它们之间的关系是：1F=1000mF=1000000uF, 1F=1000nF=1000000pF。国际电工委员会规定表示法为：m 代表 1/1000, u 代表 1/1000000, n 代表 1/1000000000, p 代表 1/1000000000000。

(1) 直标法：用字母和数字把型号、规格直接标在外壳上。一般用二位数字表示有效数字，再用一个字母表示数值的量级。如：1p2 表示 1.2pF, 220n 表示 0.22uF, 3u3 表示 3.3uF, 2m2 表示 2200uF。

(2) 文字符号法：用数字、文字符号有规律的组合来表示容量。文字符号表示其电容量的单位：P、N、u、m、F 等。和电阻的表示方法相同。标称允许偏差也和电阻的表示方法相同。小于 10pF 的电容，其允许偏差用字母代替：B——±0.1pF, C——±0.2pF, D——±0.5pF, F——±1pF。

(3) 色标法：和电阻的表示方法相同，单位一般为 pF。小型电解电容器的耐压也有用色标法的，位置靠近正极引出线的根部，所表示的意义如下表所示：

颜色 黑 棕 红 橙 黄 绿 蓝 紫 灰

耐压 4V 6.3V 10V 16V 25V 32V 40V 50V 63V

(4) 进口电容器的标志方法：进口电容器一般有 6 项组成。

第一项：用字母表示类别：

第二项：用两位数字表示其外形、结构、封装方式、引线开始及与轴的关系。

第三项：温度补偿型电容器的温度特性，有用字母的，也有用颜色的，其意义如下表所示：

序号 字母 颜色 温度系数 允许偏差 字母 颜色 温度系数 允许偏差

1A 金+100R 黄-220

2B 灰+30S 绿-330

3C 黑 0T 蓝-470

4 G±30 U 紫 -750

5 H 棕 -30 ± 60 V -1000

6 J ± 120 W -1500

7 K ± 250 X -2200

8 L 红 -80 ± 500 Y -3300

9 M ± 1000 Z -4700

10 N ± 2500 SL $+350 \sim -1000$

11 P 橙 -150 YN $-800 \sim -5800$

备注：温度系数的单位 $10e -6/^\circ C$ ；允许偏差是 %。

第四项：耐压：电容器耐压的标注也有两种常见方法，一种是把耐压值直接印在电容器上，另一种是采用一个数字和一个字母组合而成。数字表示 10 的幂指数，字母表示数值，单位是 V (伏)。

字母	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	Z
----	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

耐压值	1.0	1.25	1.6	2.0	2.5	3.15	4.0	5.0	6.3	8.0	9.0
-----	-----	------	-----	-----	-----	------	-----	-----	-----	-----	-----

例如：

1J 代表 $6.3 \times 10 = 63V$

2F 代表 $3.15 \times 100 = 315V$

3A 代表 $1.0 \times 1000 = 1000V$

1K 代表 $8.0 \times 10 = 80V$

数字最大为 4，如 4Z 代表 90000V。

第五项：标称容量：

用三位数字表示电容量，最后用一个字母表示误差。三位数字中的前两位表示有效值，第三位表示 10 的 n 次方， n 一般为 1—8。特殊情况是：当 $n=9$ 时，不表示 10 的 9 次方，而表示为 10 的 -1 次方。

例如：

"102" 表示 $10 \times 100 = 1000pF$

"223" 表示 $22 \times 1000 = 22000pF = 0.022uF$

"474" 表示 $47 \times 10000 = 0.47uF$

"159" 表示 $15 \times 0.1 = 1.5pF$

普通电容器的单位是 pF，电解电容器的单位是 uF。

第六项：允许偏差。有效数字后面的字母表示误差值，由于制造电容的材料不同，误差范围也不相同，有的误差甚大。误差值与字母的对应关系如下表所示：

国外电容器容量误差与字母代号对照表

字母	D	F	G	J	K	M	N	P	S	Z
----	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

误差%	± 0.5	$\pm 1 \pm 2$	± 5	± 10	± 20	± 30	$(+100, -20)$	$(+50, -20)$	$(+80, -20)$	
-----	-----------	---------------	---------	----------	----------	----------	---------------	--------------	--------------	--

也有用色标法的，意义和国产电容器的标志方法相同。

电容的主要特性参数

(1) 容量与误差：实际电容量和标称电容量允许的最大偏差范围。一般分为 3 级：I 级 $\pm 5\%$ ，II 级 $\pm 10\%$ ，III 级 $\pm 20\%$ 。在有些情况下，还有 0 级，误差为 $\pm 20\%$ 。

精密电容器的允许误差较小，而电解电容器的误差较大，它们采用不同的误差等级。

常用的电容器其精度等级和电阻器的表示方法相同。用字母表示：D—005 级— $\pm 0.5\%$ ；F—01 级— $\pm 1\%$ ；G—02 级— $\pm 2\%$ ；J—I 级— $\pm 5\%$ ；K—II 级— $\pm 10\%$ ；M—III 级— $\pm 20\%$ 。

(2) 额定工作电压：电容器在电路中能够长期稳定、可靠工作，所承受的最大直流电压，又称耐压。对于结构、介质、容量相同的器件，耐压越高，体积越大。

(3) 温度系数: 在一定温度范围内, 温度每变化 1°C , 电容量的相对变化值。温度系数越小越好。

(4) 绝缘电阻: 用来表明漏电大小的。一般小容量的电容, 绝缘电阻很大, 在几百兆欧姆或几千兆欧姆。电解电容的绝缘电阻一般较小。相对而言, 绝缘电阻越大越好, 漏电也小。

(5) 损耗: 在电场的作用下, 电容器在单位时间内发热而消耗的能量。这些损耗主要来自介质损耗和金属损耗。通常用损耗角正切值来表示。

(6) 频率特性: 电容器的电参数随电场频率而变化的性质。在高频条件下工作的电容器, 由于介电常数在高频时比低频时小, 电容量也相应减小。损耗也随频率的升高而增加。另外, 在高频工作时, 电容器的分布参数, 如极片电阻、引线和极片间的电阻、极片的自身电感、引线电感等, 都会影响电容器的性能。所有这些, 使得电容器的使用频率受到限制。

不同品种的电容器, 最高使用频率不同。小型云母电容器在 250MHz 以内; 圆片型瓷介电容器为 300MHz; 圆管型瓷介电容器为 200MHz; 圆盘型瓷介可达 3000MHz; 小型纸介电容器为 80MHz; 中型纸介电容器只有 8MHz。

附:

十说电容(转于 展峻的笔记)

话说电容之一: 电容的作用

作为无源元件之一的电容, 其作用不外乎以下几种:

1、应用于电源电路, 实现旁路、去耦、滤波和储能的作用, 下面分类详述之:

1) 旁路

旁路电容是为本地器件提供能量的储能器件, 它能使稳压器的输出均匀化, 降低负载需求。就像小型可充电电池一样, 旁路电容能够被充电, 并向器件进行放电。为尽量减少阻抗, 旁路电容要尽量靠近负载器件的供电电源管脚和地管脚。这能够很好地防止输入值过大而导致的地电位抬高和噪声。地弹是地连接处在通过大电流毛刺时的电压降。

2) 去耦

去耦, 又称解耦。从电路来说, 总是可以区分为驱动的源和被驱动的负载。如果负载电容比较大, 驱动电路要把电容充电、放电, 才能完成信号的跳变, 在上升沿比较陡峭的时候, 电流比较大, 这样驱动的电流就会吸收很大的电源电流, 由于电路中的电感, 电阻(特别是芯片管脚上的电感, 会产生反弹), 这种电流相对于正常情况来说实际上就是一种噪声, 会影响前级的正常工作。这就是耦合。去耦电容就是起到一个电池的作用, 满足驱动电路电流的变化, 避免相互间的耦合干扰。将旁路电容和去耦电容结合起来将更容易理解。旁路电容实际也是去耦合的, 只是旁路电容一般是指高频旁路, 也就是给高频的开关噪声提高一条低阻抗泄防途径。高频旁路电容一般比较小, 根据谐振频率一般是 $0.1\mu\text{F}$, $0.01\mu\text{F}$ 等, 而去耦合电容一般比较大, 是 $10\mu\text{F}$ 或者更大, 依据电路中分布参数, 以及驱动电流的变化大小来确定。

旁路是把输入信号中的干扰作为滤除对象, 而去耦是把输出信号的干扰作为滤除对象, 防止干扰信号返回电源。这应该是他们的本质区别。

3) 滤波

从理论上(即假设电容为纯电容)说, 电容越大, 阻抗越小, 通过的频率也越高。但实际上超过 $1\mu\text{F}$ 的电容大多为电解电容, 有很大的电感成份, 所以频率高后反而阻抗会增大。有时会看到有一个电容量较大电解电容并联了一个小电容, 这时大电容通低频, 小电容通高频。电容的作用就是通高阻低, 通高频阻低频。电容越大低频越容易通过, 电容越大高频越容易通过。具体用在滤波中, 大电容($1000\mu\text{F}$)滤低频, 小电容($20\mu\text{F}$)滤高频。

曾有网友将滤波电容比作“水塘”。由于电容的两端电压不会突变, 由此可知, 信号频率越高则衰减越大,

可很形象的说电容像个水塘，不会因几滴水的加入或蒸发而引起水量的变化。它把电压的变动转化为电流的变化，频率越高，峰值电流就越大，从而缓冲了电压。滤波就是充电，放电的过程。

4) 储能

储能型电容器通过整流器收集电荷，并将存储的能量通过变换器引线传送至电源的输出端。电压额定值为 40~450VDC、电容值在 220~150 000uF 之间的铝电解电容器（如 EPCOS 公司的 B43504 或 B43505）是较为常用的。根据不同的电源要求，器件有时会采用串联、并联或其组合的形式，对于功率级超过 10KW 的电源，通常采用体积较大的罐形螺旋端子电容器。

2、应用于信号电路，主要完成耦合、振荡/同步及时间常数的作用：

1) 耦合

举个例子来讲，晶体管放大器发射极有一个自给偏压电阻，它同时又使信号产生压降反馈到输入端形成了输入输出信号耦合，这个电阻就是产生了耦合的元件，如果在这个电阻两端并联一个电容，由于适当容量的电容器对交流信号较小的阻抗，这样就减小了电阻产生的耦合效应，故称此电容为去耦电容。

2) 振荡/同步

包括 RC、LC 振荡器及晶体的负载电容都属于这一范畴。

3) 时间常数

这就是常见的 R、C 串联构成的积分电路。当输入信号电压加在输入端时，电容 (C) 上的电压逐渐上升。而其充电电流则随着电压的上升而减小。电流通过电阻 (R)、电容 (C) 的特性通过下面的公式描述： $i = (V/R)e^{-(t/CR)}$

话说电容之二：电容的选择

通常，应该如何为我们的电路选择一颗合适的电容呢？笔者认为，应基于以下几点考虑：

- 1、静电容量
- 2、额定耐压
- 3、容值误差
- 4、直流偏压下的电容变化量
- 5、噪声等级
- 6、电容的类型
- 7、电容的规格

那么，又无捷径可寻呢？其实，电容作为器件的外围元件，几乎每个器件的 **Datasheet** 或者 **Solutions**，都比较明确地指明了外围元件的选择参数，也就是说，据此可以获得基本的器件选择要求，然后再进一步完善细化之。其实选用电容时不仅仅是只看容量和封装，具体要看产品所使用环境，特殊的电路必须用特殊的电容。下面是 **chip capacitor** 根据电介质的介电常数分类，介电常数直接影响电路的稳定性。

NP0 or CH (K<150):

电气性能最稳定，基本上不随温度、电压与时间的改变而改变，适用于对稳定性要求高的高频电路。鉴于 K 值较小，所以在 0402、0603、0805 封装下很难有大容量的电容。如 0603 一般最大的 10nF 以下。

X7R or YB (2000<K<4000):

电气性能较稳定，在温度、电压与时间改变时性能的变化并不显著($\Delta C < \pm 10\%$)。适用于隔直、偶合、旁路与对容量稳定性要求不太高的全频鉴电路。

Y5V or YF (K>15000):

容量稳定性较 X7R 差($\Delta C < +20\% \sim -80\%$)，容量、损耗对温度、电压等测试条件较敏感，但由于其 K 值较大，所以适用于一些容值要求较高的场合。

话说电容之三：电容的分类

基于电容的材料特性，其可分为以下几大类：

1、铝电解电容

电容容量范围为 $0.1\mu F$ – $22000\mu F$ ，高脉动电流、长寿命、大容量的不二之选，广泛应用于电源滤波、解耦等场合。

2、薄膜电容

电容容量范围为 $0.1pF$ – $10\mu F$ ，具有较小公差、较高容量稳定性及极低的压电效应，因此是 X、Y 安全电容、EMI/EMC 的首选。

3、钽电容

电容容量范围为 $2.2\mu F$ – $560\mu F$ ，低等效串联电阻 (ESR)、低等效串联电感 (ESL)。脉动吸收、瞬态响应及噪声抑制都优于铝电解电容，是高稳定电源的理想选择。

4、陶瓷电容

电容容量范围为 $0.5pF$ – $100\mu F$ ，独特的材料和薄膜技术的结晶，迎合了当今“更轻、更薄、更节能”的设计理念。

5、超级电容

电容容量范围为 $0.022F$ – $70F$ ，极高的容值，因此又称做“金电容”或者“法拉电容”。主要特点是：超高容值、良好的充/放电特性，适合于电能存储和电源备份。缺点是耐压较低，工作温度范围较窄。

话说电容之四：多层陶瓷电容 (MLCC)

对于电容而言，小型化和高容量是永恒不变的发展趋势。其中，要数多层陶瓷电容 (MLCC) 的发展最快。多层陶瓷电容在便携产品中广泛应用极为广泛，但近年来数字产品的技术进步对其提出了新要求。例如，手机要求更高的传输速率和更高的性能；基带处理器要求高速度、低电压；LCD 模块要求低厚度 ($0.5mm$)、大容量电容。而汽车环境的苛刻性对多层陶瓷电容更有特殊的要求：首先是耐高温，放置于其中的多层陶瓷电容必须能满足 150 度的工作温度；其次是在电池电路上需要短路失效保护设计。也就是说，小型化、高速度和高性能、耐高温条件、高可靠性已成为陶瓷电容的关键特性。陶瓷电容的容量随直流偏置电压的变化而变化。直流偏置电压降低了介电常数，因此需要从材料方面，降低介电常数对电压的依赖，优化直流偏置电压特性。应用中较为常见的是 X7R(X5R) 类多层陶瓷电容，它的容量主要集中在 $1000pF$ 以上，该类电容器主要性能指标是等效串联电阻(ESR)，在高波纹电流的电源去耦、滤波及低频信号耦合电路的低功耗表现比较突出。

另一类多层陶瓷电容是 C0G 类，它的容量多在 $1000pF$ 以下，该类电容器主要性能指标是损耗角正切值 $tg\delta(DF)$ 。传统的贵金属电极(NME)的 C0G 产品 DF 值范围是 $(2.0\sim8.0)\times10^{-4}$ ，而技术创新型贱金属电极(BME)的 C0G 产品 DF 值范围为 $(1.0\sim2.5)\times10^{-4}$ ，约是前者的 31~50%。该类产品在载有 T/R 模块电路的 GSM、CDMA、无绳电话、蓝牙、GPS 系统中低功耗特性较为显著。较多用于各种高频电路，如振荡/同步器、定时器电路等。

话说电容之五：钽电容替代电解电容的误区

通常的看法是钽电容性能比铝电容好，因为钽电容的介质为阳极氧化后生成的五氧化二钽，它的介电能力（通常用 ϵ 表示）比铝电容的三氧化二铝介质要高。因此在同样容量的情况下，钽电容的体积能比铝电容做得更小。（电解电容的电容量取决于介质的介电能力和体积，在容量一定的情况下，介电能力越高，体积就可以做得越小，反之，体积就需要做得越大）再加上钽的性质比较稳定，所以通常认为钽电容性能比铝电容好。但这种凭阳极判断电容性能的方法已经过时了，目前决定电解电容性能的关键并不在于阳极，而在于电解质，也就是阴极。因为不同的阴极和不同的阳极可以组合成不同种类的电解电容，其性能也大不相同。采用同一种阳极的电容由于电解质的不同，性能可以差距很大，总之阳极对于电容性能的影响远

远小于阴极。还有一种看法是认为钽电容比铝电容性能好，主要是由于钽加上二氧化锰阴极助威后才有明显好于铝电解液电容的表现。如果把铝电解液电容的阴极更换为二氧化锰，那么它的性能其实也能提升不少。可以肯定，**ESR** 是衡量一个电容特性的主要参数之一。但是，选用电容，应避免 **ESR** 越低越好，品质越高越好等误区。衡量一个产品，一定要全方位、多角度的去考虑，切不可把电容的作用有意无意的夸大。

---以上引用了部分网友的经验总结。

普通电解电容的结构是阳极和阴极和电解质，阳极是钝化铝，阴极是纯铝，所以关键是在阳极和电解质。阳极的好坏关系着耐压电介系数等问题。一般来说，钽电解电容的 **ESR** 要比同等容量同等耐压的铝电解电容小很多，高频性能更好。如果那个电容是用在滤波器电路（比如中心为 50Hz 的带通滤波器）的话，要注意容量变化后对滤波器性能（通带...）的影响。

话说电容之六：旁路电容的应用问题

嵌入式设计中，要求 **MCU** 从耗电量很大的处理密集型工作模式进入耗电量很少的空闲/休眠模式。这些转换很容易引起线路损耗的急剧增加，增加的速率很高，达到 **20A/ms** 甚至更快。通常采用旁路电容来解决稳压器无法适应系统中高速器件引起的负载变化，以确保电源输出的稳定性及良好的瞬态响应。旁路电容是为本地器件提供能量的储能器件，它能使稳压器的输出均匀化，降低负载需求。就像小型可充电池一样，旁路电容能够被充电，并向器件进行放电。为尽量减少阻抗，旁路电容要尽量靠近负载器件的供电电源管脚和地管脚。这能够很好地防止输入值过大而导致的地电位抬高和噪声。地弹是地连接处在通过大电流毛刺时的电压降。应该明白，大容量和小容量的旁路电容都可能是必需的，有的甚至是多个陶瓷电容和钽电容。这样的组合能够解决上述负载电流或许为阶梯变化所带来的问题，而且还能提供足够的去耦以抑制电压和电流毛刺。在负载变化非常剧烈的情况下，则需要三个或更多不同容量的电容，以保证在稳压器稳压前提供足够的电流。快速的瞬态过程由高频小容量电容来抑制，中速的瞬态过程由低频大容量来抑制，剩下则交给稳压器完成了。

还应记住一点，稳压器也要求电容尽量靠近电压输出端。

话说电容之七：电容的等效串联电阻 **ESR**

普遍的观点是：一个等效串联电阻（**ESR**）很小的相对较大容量的外部电容能很好地吸收快速转换时的峰值（纹波）电流。但是，有时这样的选择容易引起稳压器（特别是线性稳压器 **LDO**）的不稳定，所以必须合理选择小容量和大容量电容的容值。永远记住，稳压器就是一个放大器，放大器可能出现的各种情况它都会出现。由于 **DC/DC** 转换器的响应速度相对较慢，输出去耦电容在负载阶跃的初始阶段起主导的作用，因此需要额外大容量的电容来减缓相对于 **DC/DC** 转换器的快速转换，同时用高频电容减缓相对于大电容的快速变换。通常，大容量电容的等效串联电阻应该选择为合适的值，以便使输出电压的峰值和毛刺在器件的 **Dasheet** 规定之内。高频转换中，小容量电容在 **0.01μF** 到 **0.1μF** 量级就能很好满足要求。表贴陶瓷电容或者多层陶瓷电容（**MLCC**）具有更小的 **ESR**。另外，在这些容值下，它们的体积和 **BOM** 成本都比较合理。如果局部低频去耦不充分，则从低频向高频转换时将引起输入电压降低。电压下降过程可能持续数毫秒，时间长短主要取决于稳压器调节增益和提供较大负载电流的时间。用 **ESR** 大的电容并联比用 **ESR** 恰好那么低的单个电容当然更具成本效益。然而，这需要你在 **PCB** 面积、器件数目与成本之间寻求折衷。

话说电容之八：电解电容的电参数

这里的电解电容器主要指铝电解电容器，其基本的电参数包括下列五点：

1、电容值

电解电容器的容值，取决于在交流电压下工作时所呈现的阻抗。因此容值，也就是交流电容值，随着工作频率、电压以及测量方法的变化而变化。在标准 **JISC 5102** 规定：铝电解电容的电容量的测量条件

是在频率为 120Hz, 最大交流电压为 0.5Vrms, DC bias 电压为 1.5~2.0V 的条件下进行。可以断言, 铝电解电容器的容量随频率的增加而减小。

2、损耗角正切值 $\tan \delta$

在电容器的等效电路中, 串联等效电阻 ESR 同容抗 $1/\omega C$ 之比称之为 $\tan \delta$, 这里的 ESR 是在 120Hz 下计算获得的值。显然, $\tan \delta$ 随着测量频率的增加而变大, 随测量温度的下降而增大。

3、阻抗 Z

在特定的频率下, 阻碍交流电流通过的电阻即为所谓的阻抗 (Z)。它与电容等效电路中的电容值、电感值密切相关, 且与 ESR 也有关系。

$$Z = \sqrt{ESR^2 + (XL - XC)^2} \quad (\text{此处开平方})$$

式中, $XC = 1 / \omega C = 1 / 2\pi f C$

$$XL = \omega L = 2\pi f L$$

电容的容抗 (XC) 在低频率范围内随着频率的增加逐步减小, 频率继续增加达到中频范围时电抗 (XL) 降至 ESR 的值。当频率达到高频范围时感抗 (XL) 变为主导, 所以阻抗是随着频率的增加而增加。

4、漏电流

电容器的介质对直流电流具有很大的阻碍作用。然而, 由于铝氧化膜介质上浸有电解液, 在施加电压时, 重新形成的以及修复氧化膜的时候会产生一种很小的称之为漏电流的电流。通常, 漏电流会随着温度和电压的升高而增大。

5、纹波电流和纹波电压

在有的资料中称作涟波电流和涟波电压, 其实就是 *ripple current, ripple voltage*。含义就是电容器所能耐受纹波电流/电压值。二者和 ESR 之间的关系密切, 可以用下面的式子表示:

$$Urms = Irms \times R$$

式中, $Urms$ 表示纹波电压

$Irms$ 表示纹波电流

R 表示电容的 ESR

由上可见, 当纹波电流增大的时候, 即使在 ESR 保持不变的情况下, 涟波电压也会成倍提高。换言之, 当纹波电压增大时, 纹波电流也随之增大, 这也是要求电容具备更低 ESR 值的原因。叠加入纹波电流后, 由于电容内部的等效串连电阻 (ESR) 引起发热, 从而影响到电容器的使用寿命。一般的, 纹波电流与频率成正比, 因此低频时纹波电流也比较低。

话说电容之九: 电容器参数的基本公式

1、容量 (法拉) :英制: $C = (0.224 \times K \cdot A) / TD$; 公制: $C = (0.0884 \times K \cdot A) / TD$.

2、电容器中存储的能量: $E = \frac{1}{2} CV^2$

3、电容器的线性充电量: $I = C (dV/dt)$

4、电容的总阻抗 (欧姆) : $Z = \sqrt{RS^2 + (XC - XL)^2}$

5、容性电抗 (欧姆) : $XC = 1/(2\pi f C)$

6、相位角 Φ : 理想电容器: 超前当前电压 90°; 理想电感器: 滞后当前电压 90°; 理想电阻器: 与当前电压的相位相同。

7、耗散系数 (%): $D.F. = \tan \delta$ (损耗角) = $ESR / XC = (2\pi f C)(ESR)$

8、品质因素: $Q = \cot \delta = 1 / DF$

9、等效串联电阻 ESR (欧姆) : $ESR = (DF) XC = DF / 2\pi f C$

10、功率消耗: $Power Loss = (2\pi f CV^2) (DF)$

11、功率因数: $PF = \sin \delta$ (loss angle) - $\cos \Phi$ (相位角)

12、均方根: $rms = 0.707 \times Vp$

13、千伏安 KVA (千瓦) : $KVA = 2\pi f CV^2 \times 10^{-3}$

- 14、电容器的温度系数: $T.C. = [(C_t - C_{25}) / C_{25} (T_t - 25)] \times 106$
- 15、容量损耗(%): $CD = [(C_1 - C_2) / C_1] \times 100$
- 16、陶瓷电容的可靠性: $L_0 / L_t = (V_t / V_0) X (T_t / T_0)^Y$
- 17、串联时的容值: n 个电容串联: $1/C_T = 1/C_1 + 1/C_2 + \dots + 1/C_n$; 两个电容串联: $C_T = C_1 \cdot C_2 / (C_1 + C_2)$
- 18、并联时的容值: $C_T = C_1 + C_2 + \dots + C_n$;
- 19、重复次数 (Aging Rate): $A.R. = \% \Delta C / \text{decade of time}$
- 上述公式中的符号说明如下:
- K = 介电常数
- A = 面积
- TD = 绝缘层厚度
- V = 电压
- t = 时间
- RS = 串联电阻
- f = 频率
- L = 电感感性系数
- δ = 损耗角
- Φ = 相位角
- L_0 = 使用寿命
- L_t = 试验寿命
- V_t = 测试电压
- V_0 = 工作电压
- T_t = 测试温度
- T_0 = 工作温度
- X, Y = 电压与温度的效应指数。

话说电容之十：电源输入端的 X, Y 安全电容

在交流电源输入端, 一般需要增加 3 个电容来抑制 EMI 传导干扰。交流电源输入分为 3 根线: 火线 (L) / 零线 (N) / 地线 (G)。在火线和地线之间及在零线和地线之间并接的电容, 一般称之为 Y 电容。这两个 Y 电容连接的位置比较关键, 必须需要符合相关安全标准, 以防引起电子设备漏电或机壳带电, 容易危及人身安全及生命, 所以它们都属于安全电容, 要求电容值不能偏大, 而耐压必须较高。一般地, 工作在亚热带的机器, 要求对地漏电电流不能超过 0.7mA; 工作在温带机器, 要求对地漏电电流不能超过 0.35mA。因此, Y 电容的总容量一般都不能超过 4700PF。

特别提示: Y 电容为安全电容, 必须取得安全检测机构的认证。Y 电容的耐压一般都标有安全认证标志和 AC250V 或 AC275V 字样, 但其真正的直流耐压高达 5000V 以上。因此, Y 电容不能随意使用标称耐压 AC250V, 或 DC400V 之类的普通电容来代用。

在火线和零线抑制之间并联的电容, 一般称之为 X 电容。由于这个电容连接的位置也比较关键, 同样需要符合安全标准。因此, X 电容同样也属于安全电容之一。X 电容的容值允许比 Y 电容大, 但必须在 X 电容的两端并联一个安全电阻, 用于防止电源线拔插时, 由于该电容的充放电过程而致电源线插头长时间带电。安全标准规定, 当正在工作之中的机器电源线被拔掉时, 在两秒钟内, 电源线插头两端带电的电压(或对地电位)必须小于原来额定工作电压的 30%。

同理, X 电容也是安全电容, 必须取得安全检测机构的认证。X 电容的耐压一般都标有安全认证标志和 AC250V 或 AC275V 字样, 但其真正的直流耐压高达 2000V 以上, 使用的时候不要随意使用标称耐压 AC250V, 或 DC400V 之类的普通电容来代用。

X 电容一般都选用纹波电流比较大的聚脂薄膜类电容，这种电容体积一般都很大，但其允许瞬间充放电的电流也很大，而其内阻相应较小。普通电容纹波电流的指标都很低，动态内阻较高。用普通电容代替**X** 电容，除了耐压条件不能满足以外，一般纹波电流指标也是难以满足要求的。

实际上，仅仅依靠用**Y** 电容和**X** 电容来完全滤除掉传导干扰信号是不可能的。因为干扰信号的频谱非常宽，基本覆盖了几十 **KHz** 到几百 **MHz** 甚至上千 **MHz** 的频率范围。通常，对低端干扰信号的滤除需要很大容量的滤波电容，但受到安全条件的限制，**Y** 电容和**X** 电容的容量都不能用大；对高端干扰信号的滤除，大容量电容的滤波性能又极差，特别是聚脂薄膜电容的高频性能一般都比较差，因为它是用卷绕工艺生产的，并且聚脂薄膜介质高频响应特性与陶瓷或云母相比相差很远，一般聚脂薄膜介质都具有吸附效应，它会降低电容器的工作频率，聚脂薄膜电容工作频率范围大约都在 **1MHz** 左右，超过 **1MHz** 其阻抗将显著增加。

因此，为抑制电子设备产生的传导干扰，除了选用**Y** 电容和**X** 电容之外，还要同时选用多个类型的电感滤波器，组合起来一起滤除干扰。电感滤波器多属于低通滤波器，但电感滤波器也有很多规格类型，例如有：差模、共模，以及高频、低频等。每种电感主要都是针对某一小段频率的干扰信号滤除而起作用，对其它频率的干扰信号的滤除效果不大。通常，电感量很大的电感，其线圈匝数较多，那么电感的分布电容也很大。高频干扰信号将通过分布电容旁路掉。而且，导磁率很高的磁芯，其工作频率则较低。目前，大量使用的电感滤波器磁芯的工作频率大多数都在 **75MHz** 以下。对于工作频率要求比较高的场合，必须选用高频环形磁芯，高频环形磁芯导磁率一般都不高，但漏感特别小，比如，非晶合金磁芯，坡莫合金等。

电容的作用

汹涌的河水流入到湖泊中，再让它流出来，那就显得平静而柔和了。电容就应该是充当了湖泊的作用吧。让电流更纯净没有杂波。

所谓电容，就是容纳和释放电荷的电子元器件。电容的基本工作原理就是充电放电，当然还有整流、振荡以及其它的作用。另外电容的结构非常简单，主要由两块正负电极和夹在中间的绝缘介质组成，所以电容类型主要是由电极和绝缘介质决定的。在计算机系统的主板、插卡、电源的电路中，应用了电解电容、纸介电容和瓷介电容等几类电容，并以电解电容为主。

纸介电容是由两层正负锡箔电极和一层夹在锡箔中间的绝缘蜡纸组成，并折叠成扁体长方形。额定电压一般在 **63V~250V** 之间，容量较小，基本上是 **pF**(皮法)数量级。现代纸介电容由于采用了硬塑外壳和树脂密封包装，不易老化，又因为它们基本工作在低压区，且耐压值相对较高，所以损坏的可能性较小。万一遭到电损坏，一般症状为电容外表发热。

瓷介电容是在一块瓷片的两边涂上金属电极而成，普遍为扁圆形。其电容量较小，都在 **pμF**(皮微法)数量级。又因为绝缘介质是较厚瓷片，所以额定电压一般在 **1~3kV** 左右，很难会被电损坏，一般只会出现机械破损。在计算机系统中应用极少，每个电路板中分别只有 **2~4** 枚左右。

电解电容的结构与纸介电容相似，不同的是作为电极的两种金属箔不同(所以在电解电容上有正负极之分，且一般只标明负极)，两电极金属箔与纸介质卷成圆柱形后，装在盛有电解液的圆形铝桶中封闭起来。因此，如若电容器漏电，就容易引起电解液发热，从而出现外壳鼓起或爆裂现象。电解电容都是圆柱形(图 1)，体积大而容量大，在电容器上所标明的参数一般有电容量(单位:微法)、额定电压(单位:伏特)，以及最高工作温度(单位:℃)。其中，耐压值一般在几伏特~几百伏特之间，容量一般在几微法~几千微法之间，最高工作温度一般为 **85℃~105℃**。指明电解电容的最高工作温度，就是针对其电解液受热后易膨胀这一特点的。所以，电解电容出现外壳鼓起或爆裂，并非只有漏电才出现，工作环境温度过高同样也会出现。

1. 电容器主要用于交流电路及脉冲电路中，在直流电路中电容器一般起隔断直流的作用。
2. 电容既不产生也不消耗能量，是储能元件。
3. 电容器在电力系统中是提高功率因数的重要器件；在电子电路中是获得振荡、滤波、相移、旁路、耦合等作用的主要元件。

4.因为在工业上使用的负载主要是电动机感性负载,所以要并电容这容性负载才能使电网平衡.

5.在接地线上,为什么有的也要通过电容后再接地咧?

答:在直流电路中是抗干扰,把干扰脉冲通过电容接地(在这次要作用是隔直——电路中的电位关系);交流电路中也有这样通过电容接地的,一般容量较小,也是抗干扰和电位隔离作用.

6.电容补偿功率因数是怎么回事?

答:因为在电容上建立电压首先需要有个充电过程,随着充电过程,电容上的电压逐步提高,这样就会先有电流,后建立电压的过程,通常我们叫电流超前电压90度(电容电流回路中无电阻和电感元件时,叫纯电容电路)。电动机、变压器等有线圈的电感电路,因通过电感的电流不能突变的原因,它与电容正好相反,需要先在线圈两端建立电压,后才有电流(电感电流回路中无电阻和电容时,叫纯电感电路),纯电感电路的电流滞后电压90度。由于功率是电压乘以电流,当电压与电流不同时产生时(如:当电容器上的电压最大时,电已充满,电流为0;电感上先有电压时,电感电流也为0),这样,得到的乘积(功率)也为0!这就是无功。那么,电容的电压与电流之间的关系正好与电感的电压与电流的关系相反,就用电容来补偿电感产生的无功,这就是无功补偿的原理。

超级电容的概念、特点及与蓄电池的对比

随着社会经济的发展,人们对于绿色能源和生态环境越来越关注,超级电容器作为一种新型的储能器件,因为其无可替代的优越性,越来越受到人们的重视。在一些需要高功率、高效率解决方案的设计中,工程师已开始采用超级电容器来取代传统的电池。

电池技术的缺陷:

Li离子、NiMH等新型电池可以提供一个可靠的能量储存方案,并且已经在很多领域中广泛使用。众所周知,化学电池是通过电化学反应,产生法拉第电荷转移来储存电荷的,使用寿命较短,并且受温度影响较大,这也同样是采用铅酸电池(蓄电池)的设计者所面临的困难。同时,大电流会直接影响这些电池的寿命,因此,对于要求长寿命、高可靠性的某些应用,这些基于化学反应的电池就显出种种不足。

超级电容器的特点和优势:

超级电容器的原理并非新技术,常见的超级电容器大多是双电层结构,同电解电容器相比,这种超级电容器能量密度和功率密度都非常高。同传统的电容器和二次电池相比,超级电容器储存电荷的能力比普通电容器高,并具有充放电速度快、效率高、对环境无污染、循环寿命长、使用温度范围宽、安全性高等特点。

除了可以快速充电和放电,超级电容器的另一个主要特点是低阻抗。所以,当一个超级电容器被全部放电时,它将表现出小电阻特性,如果没有限制,它会拽取可能的源电流。因此,必须采用恒流或恒压充电器。10年前,超级电容器每年只能卖出去很少的数量,而且价格很贵,大约1~2美元/法拉,现在,超级电容器已经作为标准产品大批量供应市场,价格也大大降低,平均0.01~0.02美元/法拉。在最近几年中,超级电容器已经开始进入很多应用领域,如消费电子、工业和交通运输业等领域。

超级电容器的结构:

虽然,目前全球已有很多家超级电容器生产商,可以提供许多种类的超级电容器产品,但大部分产品都是基于一种相似的双电层结构,超级电容器在结构上与电解电容器非常相似,它们的主要区别在于电极材料。超级电容器和电池或电解电容器的主要区别是电极材料。早期的超级电容器的电极采用碳,碳电极材料的表面积很大,电容的大小取决于表面积和电极的距离,这种碳电极的大表面积再加上很小的电极距离,使超级电容器的容值可以非常大,大多数超级电容器可以做到法拉级,一般容值范围为1~5000F。

使用超级电容器:

超级电容器具有广泛的用途。与燃料电池等高能量密度的物质相结合,超级电容器能提供快速的能量释放,满足高功率需求,从而使燃料电池可以仅作为能量源使用。目前,超级电容器的能量密度可高达20kW/kg,已经开始抢占传统电容器和电池之间的这部分市场。在那些要求高可靠性而对能量要求不高的应用中,可以用超级电容器来取代电池,也可以将超级电容器和电池结合起来,应用在对能量要求很高的场合,从而可以采用体积更小、更经济的电池。超级电容器的ESR值很低,从而可以输出大电流,也可以

快速吸收大电流。同化学充电原理相比，超级电容器的工作原理使这种产品的性能更稳定，因此，超级电容器的使用寿命更长。对于像电动工具和玩具这种需要快速充电的设备来说，超级电容器无疑是一个很理想的电源。

一些产品适合采用电池 / 超级电容器的混合系统，超级电容器的使用可以避免为了获得更多的能量而使用大体积的电池。如消费电子产品中的数码相机就是一个例子，超级电容器的使用使数码相机可以采用便宜的碱性电池（而不是使用昂贵的 Li 离子电池）。

超级电容器单元（cell）的额定电压范围为 2.5~2.7V，因此，很多应用需要使用多个超级电容器单元。当串联这些单元时，设计工程师需要考虑单元之间的平衡和充电情况。

任何超级电容器都会在通电的情况下，通过内部并联电阻放电，这个放电电流就称为漏电流，它会影响超级电容器单元的自放电。同某些二级电池技术相似，超级电容器的电压在串联使用时需要平衡，因为存在漏电流，内部并联电阻的大小将决定串联的超级电容器单元上的电压分配。当超级电容器上的电压稳定后，各个单元上的电压将随着漏电流的不同而发生变化，而不是随着容值不同而变化。漏电流越大，额定电压越小，反之，漏电流小，额定电压高。这是因为，漏电流会造成超级电容器单元放电，使电压降低，而这个电压会随后影响和它串联在一起的其他单元的电压（这里假定这些串联的单元都使用同一个恒定电压供电）。为了补偿漏电流的变化，常采用的方法是，在每一个单元旁边并联一个电阻，来控制整个单元的漏电流。这种方法有效地降低了各单元之间相应并联电阻的变化。另一个推荐使用的方法是主动单元平衡法（active cell-balancing），采用这种方法，每一个单元都会被主动监视，当有电压变化时，即进行互相平衡。这种方法可以降低单元上的任何额外负载，使工作效率更高。如果电压超过单元的额定电压，将会缩短单元的使用寿命。对于高可靠性超级电容器来说，如何维持电压在要求的范围内是关键的一点，必须控制充电电压，以保证它不能超过每个单元的额定电压。

超级电容器的技术特点

超级电容器的研制成功是储能设备（蓄电池）的一次革命：其他储能设备，都是由电能转变成化学能，再由化学能转变成电能，两次转变能量有损失，超级电容器直接充电，再直接放电，能量形式没有转变，能量也没有损失；充放电效率高达 98%，这个特性经济价值大，铅酸电池只有 70%。

超级电容器是上个世纪七十年代末，新发明的一种产品，它突破了传统的电容器设计思想，电容器由微法拉级，提高到法拉级（1 法拉=106 微法拉），创造出 1000 法拉级超级电容器，到上个世纪末，又先后出现了 10,000-100,000 法拉的牵引型超级电容器，从此超级电容器，开始进入电池应用市场，出现了超级电容器电动车的新概念，它以其优异的性能，改变了人们的传统认识，建立了全新的交通运输电动车的设计思想。

以下 130,000 法拉级牵引型超级电容器的主要指标：

工作电压，V 1.6~0.8

工作温度 -40~50

静电容量，F 130,000 超大电容量

等效串联电阻，mΩ 0.4 在 25 度时

储存能量，Wh 33 从 1.6~0.8V 时放出的能量

充电时间，min 12~15 充电电流在 120A

循环使用寿命 10,000

重量，kg 2.8 带电解液时

外型尺寸，mm 98.5×98.5×245

超级电容器比功率大，其特性是：充电时，充电量大，充电量快；放电时，放电量大，放电量快。在电动车辆运行时，起步快，加速快，爬坡有力，比铅酸电池大 30 多倍，这是电动车能用得上最重要的性能。

超级电容器比能量小，其特性是：同等重量超级电容器续驶里程，仅为铅酸电池的 1/3，这是超级电容器一大缺陷。超级电容器续驶里程短，跑不远；但充电速度快，可以弥补续驶里程短的缺陷，补救的方法

是在城市交通线路的两头建立充电站，这样超级电容器电动车的续驶里程，可以不受限制。

超级电容器的优点

1、超级电容器是绿色能源（绿色电池），不污染环境；铅酸电池污染环境，这个性能，为汽车行业解决了一大污染源。

2、超级电容器寿命长（1-50 万次）；铅酸电池寿命短（500 次），易损坏，难管理，是铅酸电池的 20~200 倍，可以与设备同命运，寿命成本低。

3、超级电容器充电速度快（0.3 秒~15 分钟）；铅酸电池充电时间长（5~8 小时），很多电池就是充电时间长，续驶里程短。

4、超级电容器充放电效率高（98%）；铅酸电池充放电效率低（70%）；

5、超级电容器功率密度高（10.000W/kg）；铅酸电池功率密度低（300W/kg），差 30 多倍。

6、超级电容器彻底免维护，工作温度范围（-40~50）；铅酸电池电动车在-40℃续驶里程减少 90%，超级电容器只减少 10%。

7、超级电容器电动大客车能量回收强，紧急制动能量回收高达 75%；铅酸电池能量回收仅为 5%，这点对公共大客车太重要了，可以节约大量的燃料。

8、相对成本低。超级电容器价格比铅酸电池高三倍；但寿命，超级电容器比铅酸电池高 20 倍，这点对公共大客车产业化非常重要。

基于碳纳米管的超级电容器

作者：马仁志、魏秉庆、徐才录、梁 吉、吴德海

摘要 通过不同工艺手段制备了碳纳米管的固体电极。以这种电极为基础的超级电容器的体积比电容达到 $107F/cm^3$ ，证明这种电极是超级电容器的理想候选材料。在碳纳米管表面沉积 $RuO_2 \times H_2O$ ，制备出碳纳米管和 $RuO_2 \times H_2O$ 的复合电极。采用复合电极的电容器的比电容较之于纯碳纳米管电极有显著提高。当复合电极中 $RuO_2 \times H_2O$ 的含量为 75% 时，比电容达到 $600F/g$ ，基于这种复合电极的电容器同时具有高能量和高功率密度的特点。

关键词 碳纳米管 氧化钌 超级电容器

超级电容器（supercapacitor）是指采用高比表面积活性炭或 RuO_2 等贵金属氧化物作电极，容量为传统电容器的 20~200 倍的电化学电容器[1~ 3]。从储存电能的机理来讲，采用活性炭的超级电容器的储能机理是基于碳电极 / 电解液界面上电荷分离所产生的双电层电容（double layer capacitance）；采用 RuO_2 的电容器的电容产生是在氧化物电极表面及体相发生的氧化还原反应而产生的吸附电容，由于该类电容的产生机制与双电层电容不同并伴随电荷传递过程的发生，这种电容被称为 Faraday 准电容（Faradaic pseudocapacitance）。在相同的电极面积的情况下，后者的比电容是前者的 10~100 倍，但前者瞬间大电流放电的功率特性（功率密度）好于后者。对碳电极来讲，通过化学处理使碳表面吸附化学官能团或在表面沉积 RuO_2 纳米颗粒，可以制备双电层电容和 Faraday 准电容的复合电容器，这种电容

器同时具有较高的能量和功率密度[4,5]。

碳纳米管作为一种新型的纳米材料，由于其独特的中空结构和纳米尺寸，预计在复合材料增强、催化剂、场发射等领域具有潜在的应用优势[6~8]。而且，由于其巨大的比表面积和良好的导电性，碳纳米管被认为是超级电容器的理想候选材料。据 Niu 等人[9]报道，采用直径为 8nm 的碳纳米管制备的厚度为 25.4μm 的薄膜电极，在不同频率下，比电容达到 49~113F/g 或 39.2~90.4F/cm³。由于这种电极的微孔是由交互缠绕的碳纳米管形成的网状结构，所以，用碳纳米管制备的超级电容器具有优于一般活性炭的比表面利用率和功率特性。但是，在制备实用的超大容量的超级电容器时，薄膜电极必须采用卷绕结构，因此带来一定的工艺问题。由于上述原因，应用于超级电容器的碳纳米管的固体电极的研究具有重要的意义。本文通过不同的工艺手段制备碳纳米管固体电极，研究基于此类电极的超级电容器的表现。

1 实验

采用高温催化裂解 C₂H₄/H₂ 混合气体制备碳纳米管。使用前，经过硝酸纯化处理，即经过 20% 硝酸浸泡 24h 去除金属催化剂。采用两种不同的工艺来制备碳纳米管固体电极：一种是在氩气保护下，采用 25MPa 的压力在 2000℃ 热压纯碳纳米管成型；另一种是将碳纳米管和 20% 酚醛树脂混合，在低温(100℃)和一定压力下成型，然后在氮气气氛中于 800℃ 炭化。炭化后电极在浓硝酸溶液中进行化学后处理。为了制备碳纳米管和 RuO₂ 的复合电容器电极，首先经过浓硝酸处理，使碳纳米管吸附上化学官能团，然后把一定量的碳纳米管和 0.1mol/L 的 RuCl₃ 水溶液混合，边搅拌边加入适当浓度 NaOH 溶液。当混合溶液的 pH 值达到 7 时停止搅拌。反应产物在 NaCl 溶液中沉淀的 RuO₂·H₂O 粉末。经过多次过滤后在 150℃ 左右烘干，得到碳纳米管和 RuO₂·H₂O 的混合粉末。往混合粉末中添加 10% 的酚醛树脂，在 100℃ 下压制成型。两片大小相同的电极在 38% 的硫酸溶液中浸泡后，电极之间用浸满硫酸溶液的玻璃纤维隔板分开，组装在一个塑料封装盒中，从而获得用于测量电容器性能的单元。电容器的容量采用恒流放电测量法，即用 100mA 的充电电流充至 1V，在 1V 恒压 30min，然后以 10mA 的放电电流恒流放电，根据 $C=I \times \Delta t / \Delta V$ 来计算电容量，其中 Δt 指放电时间， ΔV 指此段时间内的电压降。漏电流(IL)是指电容器在 1V 恒压充电 30min 后的充电电流。采用如下方法测量等效串联电阻(eSR)：在频率为 1000Hz 时，使电容器单元通过 1mA 的电流，测定其电压降(ΔV)，计算出 $eSR = \Delta V / 10 \cdot 3\Omega$ 。

2 结果与讨论

2.1 碳纳米管的形貌

图 1 显示催化裂解法制备的碳纳米管的透射电子显微镜形貌像。碳纳米管直径为 10~30nm，长度为几个微米，管与管互相缠绕在一起。经过硝酸处理后，粘附在碳纳米管端部的催化剂颗粒被去掉，有些管端部开口。

图 1 催化裂解法制备的碳纳米管的透射电子显微镜形貌(略)

图 2 热压碳纳米管电极的扫描电子显微镜照片(略)

2.2 热压工艺制备电极

图 2 是热压工艺制备的碳纳米管固体电极的扫描电子显微镜照片。碳纳米管互相缠绕在(第 2 期，马仁志等：基于碳纳米管的超级电容器，113)一起，从而在碳纳米管之间形成相互连通的网络孔隙，硫酸电

解液可以被吸附在这些孔隙中和碳纳米管表面，形成双电层电容。表 1 列出采用这种电极的电容器性能指标。通过与活性炭电极的对比，可以看出，碳纳米管的几项性能都优于活性炭，表明碳纳米管是超级电容器的理想电极材料。采用热压工艺制备碳纳米管电极时，不需要添加任何粘结剂，而加入粘结剂一般均会降低电极的导电性，从而使电容器性能受到损害。但是就工程应用来看，采用高温热压工艺成本太高，因此仍然有必要采用粘结剂成型工艺。

表 1 热压电极的电容器性能指标（略）

2.3 酚醛树脂压制电极

表 2 列出采用粘结剂压制成型的电极制备的电容器各项性能指标。由于未炭化的电极中含有 20% 的酚醛树脂，降低电极的导电性，使得电容器的电容量不高，等效串联电阻较大。经过 800°C 炭化后，电极中粘结剂转变成能导电的碳颗粒，使得电容器各项指标趋于与热压电极相似。炭化后，电极经过化学后处理，在碳纳米管表面形成化学官能团。图 3 是化学处理后的碳纳米管的红外谱图，表明这些官能团为—OH，—COOH 和 CO。由于这些官能团在碳纳米管表面产生 Faraday 准电容，使得电容器的容量进一步上升，达到 107F/cm³。

表 2 粘结剂成型电极的电容器性能指标(略)

图 4 是碳纳米管上粘附 RuO₂·xH₂O 的透射电子显微镜照片。

图 3 化学处理后碳纳米管的红外谱图（略）

图 4 碳纳米管表面粘附的 RuO₂·xH₂O（略）

根据 Zheng[10]的分析，反应沉淀过程中不停搅拌，并在 150°C 左右干燥退火所得到的 RuO₂·xH₂O 为非晶态。在我们的实验中，在反应沉淀过程中由于碳纳米管表面提供 RuO₂·xH₂O 形核的基底，所以形成非晶 RuO₂·xH₂O 和纳米晶的混合体。随着 RuO₂·xH₂O 的加入量的增多，RuO₂·xH₂O 向非晶态转变。图 5 为两种不同含量 RuO₂·xH₂O 的 X 射线衍射图。当 RuO₂·xH₂O 的含量由 45% 增为 75% 时，RuO₂·xH₂O 几乎成为完全非晶。晶态 RuO₂ 的比电容为 340~380F/g，而非晶态 RuO₂·xH₂O 的比电容最大可达 720F/g。对由碳纳米管和 RuO₂·xH₂O 构成的复合电极来说，随着 RuO₂·xH₂O 加入量的增大，RuO₂·xH₂O 逐渐向非晶态转变，并且由于碳纳米管的比电容远小于 RuO₂·xH₂O 的比电容，所以复合电极比电容显著增大。但是，由于碳纳米管为 RuO₂·xH₂O 提供高比表面的基底，所以复合电极中保留一定量碳纳米管，使电容器在大电流放电时功率特性变好。

图 6 是复合电极的比电容随 RuO₂·xH₂O 含量变化曲线，表明随着 RuO₂·xH₂O 的增多，复合电极的比电容增大。但是如前面所述，RuO₂·xH₂O 的含量增多会恶化电容器大电流放电的特性。所以，最佳 RuO₂·xH₂O 含量为 55%~75%，这种组分的复合电极同时具有高比电容和功率密度。

图 5 两种不同 RuO₂·xH₂O 含量的 X 射线衍射图（略）

上曲线：45%，下曲线：75%。(002)峰是碳纳米管的衍射峰

图 6 比电容随 RuO₂·xH₂O 含量的变化（略）

3 结论

(1) 高温热压纯碳纳米管或采用粘结剂压制成型的固体电极是超级电容器的理想候选材料。经过化学处理后，比电容达到 107F/cm^3 。

(2) 碳纳米管与 $\text{RuO}_2 \times \text{H}_2\text{O}$ 的复合电极比电容达到 600F/g ，碳纳米管的加入改善电容器的功率特性，从而使这种电容器同时具有高能量和高功率密度。

美国研制出超级电容器 将对传统电池构成冲击

2007年1月16日，美国德州一家研制电动汽车储能装置、名为 EEstor 的公司打破沉默，对外宣告了他们“里程碑”式的成果：他们的自动生产线已经由独立的第三方分析验收，其产品的关键物质钡钛酸盐粉末已经完成了最初的纯化，纯度已经达到了 99.9994%。

这一技术一旦进入成熟的工业生产，他们所研制的新型超级电容器动力系统将替代包括从电动汽车到笔记本电脑的一切电化学电池；他们的发明今年就可能应用在电动车上。

人们最初怀疑 EEstor 公司这一扬言的可信度，但现在看来，他们还真不太像是在“吹牛”。

超级电容器的诞生

按照 2006 年 4 月发表的专利，EEStor 这种能量存储装置是用陶瓷粉末涂在铝氧化物和玻璃的表面。从技术上说，它并不是电池，而是一种超级电容器，它在 5 分钟内充的电能可以让一个电动车走 500 英里，电费只有 9 美元——而烧汽油内燃机的车走相同里程则要花费 60 美元。

与传统的电化学电池相比，超级电容器有很多好处。它可以无限制地接受无数次放电和充电，换句话说，超级电容器没有“记忆”。但是，一般的超级电容器也有其弱点，就是能量存储率有限，今天市场上的高端超级电容器每磅的存储能量只有锂电池的 $1/25$ 。

而 EEstor 开发的超级电容器，由于钡钛酸盐有足够的纯度，存储能量的能力大大提高。EEStor 公司负责人声称，该超级电容器每公斤所存储的能量可达 0.28 千瓦时，相比之下，每公斤锂电池是 0.12 千瓦时，铅酸电池只有 0.032 千瓦时，这就让超级电容器有了用在从电动车、起搏器到武器等其他领域的可能。

好的铅酸电池能充电 500~700 次，而根据 EEstor 的声明，新的超级电容器可反复充电 100 万次以上，也不会出现材料降解问题。而且，由于它不是化学电池，而是一种固体状态的能量储存系统，不会出现锂电池那种过热甚至爆炸的危险，没有安全隐患。

对传统电池构成冲击？

早在 2004 年 5 月，EEStor 公司就声称，他们已经制造出一种每千瓦时的成本价格是铅酸电池的一半、能量储存率是铅酸电池 10 倍的超级电容器。这种产品重约 336 磅(153 公斤)，可以储存 52 千瓦时的能量，这种系统将戏剧性地从能量密度、价格到充电时间和安全性上都超过目前市场的锂电池。这种技术是以钡钛酸盐为电介质的一个基本平行板电容器，制造这种陶瓷电池-超级电容器技术系统不需要有毒材料和化学物质。

EEStor 的雄心来自其“替代电气化学电池”的专利。EEStor 在 2004 年就开始计划建造自己的装配线，进而获得批量生产的技术许可。从他们的计划看，其装置在生产成本上也有可能比传统锂电池更具有优势。

有评论说，这一发明的意义相当重大，该突破不仅从根本上改变了电动车在交通运输中的位置，也将改进诸如风能、太阳能等间歇性能源的利用性能，更增进了电网的效率和稳定性，也将满足人们能源安全的需求，减少对石油的依赖。

显然，该突破也对下一代锂电池的研制者造成威胁。EEStor 公司负责人暗示，他们的技术不仅适用于小型旅客电动车，还可能取代 300 马力的大型汽车。

加州大学戴维斯分校的安德鲁(Andrew Burke)是运输能量系统的专家, 他对 EEstor 的发明依然有些怀疑, 认为这种发明与现实有距离。他说: “假如这项技术最后比我想象的结果好, 我不会难过, 只会高兴。”

另一位专家、曾在福特汽车公司做了 18 年工程研究的超级电容专家吉姆·米勒(Jim Miller)也觉得这种说法不太可信。“我们怀疑的第一点就是泄漏, 因为高压电容器有一个快速自我放电的趋势, 这就是说, 如果你把电池放一夜, 它就没有电了, 那么早上用的时候, 你还是要充电。”

他也不相信陶瓷结构, 认为这种物质的性质很脆, 使用这种材料需要控制好温度和压力, 使得陶瓷不会发生微裂并最终破损。而 EEstor 公司回答说他们的系统可以在-20°C——而不是以前所说的-40°C——条件下工作。

米勒说: “对自动推进的汽车, -20°C 是不够好的, -40°C 比较合适, 而相比之下, 一些锂电池可以在-30°C 使用。”

安全性是另外一个值得关心的话题。如果一个车载的 3500 伏电能装置破损了, 会发生怎么样的灾难?

EEStor 公司对这一问题回答说, 电压将由一个双向转化器逐渐降低, 整个系统将被安置在一个接地的金属盒子里。

“让保险商实验室出具安全证明一点儿都不困难。即使你在两极之间放一根小棍儿, 我们也有办法让这个东西融化而不会让它短路, 这将是世界上你所看到的最安全的电池。”

但对于温度、泄漏和陶瓷脆度等问题, 大概与专利技术有关, EEstor 公司没有解释他们是如何解决这些问题的。

一种新型储能器件——超级电容器

[转帖]一种新型储能器件——超级电容器

李红芳

随着社会经济的发展, 人们对于绿色能源和生态环境越来越关注, 超级电容器作为一种新型的储能器件因为其无可替代的优越性, 受到广大科研工作者的重视。众所周知, 化学电池是通过电化学反应, 产生法拉第电荷转移来储存电荷的, 而超级电容器的电荷储存发生在电极\电解质的形成的双电层上以及在电极表面进行欠电位沉积、电化学吸附、脱附和氧化还原产生的电荷的迁移。与传统的电容器和二次电池相比, 超级电容器的比功率是电池的 10 倍以上, 储存电荷的能力比普通电容器高, 并具有充放电速度快、对环境无污染、循环寿命长、使用的温限范围宽等特点, 是本世纪最具有希望的一种新型绿色能源。

表一 三种储能器件的比较

	普通电容器	超级电容器	二次电池
功率密度 (wh/kg)	104 ~ 10.6	102 ~ 104	< 500
能量密度 (w/kg)	< 0.2	0.2 ~ 20.0	20 ~ 200
循环寿命	> 105	> 105	< 103
充电时间	10-3 ~ 10-6 s	0.3 ~ 30 s	1 ~ 5h
放电时间	10-3 ~ 10-6 s	0.3 ~ 30 s	0.3 ~ 3h
充放电效率	> 95%	85% ~ 98%	70% ~ 85%

超级电容器具有广泛的用途。它与蓄电池组成的混合动力系统可用来满足汽车在加速、启动、爬坡时的高功率要求, 以保护蓄电池系统, 并且在汽车紧急刹车是可以瞬间回收能量, 从而减少能源浪费, 节省能源。超级电容器也用于其它系统中, 如用作燃料电池的启动动力、作移动通讯和计算机的备用电源等。根据储能机理, 可以将超级电容器分为双电层电容器和法拉第准电容器两大类。双电层电容器是建立在双电层理论基础上。充电时, 电解质发生离解, 阴阳离子分别向着正负极运动并吸附在电极表面, 形成双电层, 电荷储存在双电层中。放电时, 电子通过外负载运动到正极, 与正极的阳离子发生了电中和, 同时电极表面的阴阳离子发生了解吸, 重新回到电解质主体中。法拉第准电容在法拉第电荷转移的电化学变化过程中

产生。H 或一些碱金属 (Pb, Bi, Cu) 在 Pt 或 Au 上发生单层欠电势沉积或多孔过渡金属氧化物 (如 RuO₂、IrO₂)发生氧化还原反应时，电荷发生了迁移和存储。法拉第准电容不仅发生在电极表面，而且可深入电极内部，因而可获得比双电层电容更高的电容量和能量密度。

一个完整的超级电容器包含双电极、电解质、集流体、隔离物四个部件。其中，电极材料的研究是目前的研究热点。目前研究的超级电容器的电极材料主要在四个方面：碳电极材料，金属氧化物及其水合物电极材料，导电聚合物电极材料，以及混合超级电容器。碳电极材料比表面极大，原料低廉，有利于实现工业化大生产，但是比容量相对比较低。金属氧化物及其水合物电极材料的比容量较高，但是其昂贵的成本以及对环境存在的安全隐患限制了它们的工业化规模。导电聚合物电极材料的工作电压高，从而可以提高能量存储的能力。但是，这一类材料在有机电解质中浸泡后容易发生膨胀，造成稳定性差。混合超级电容，对电极采用不同的材料体系组成，可以提高其存储的能量密度，但是其循环的稳定性比较差。

电解质需要具有很高的导电性和足够的电化学稳定性，以便超级电容器可以在尽可能高的电压下工作。现有的电解质材料主要由固体电解质、有机物电解质和水溶液电解质。有机物电解质的分解电压高，一般都高于 2.5V，但导电性比较差；水溶液电解质主要是 KOH 和 H₂SO₄，它们的分解电压受到水的分解电位的限制，只有 1.23V，但是其导电性是有机电解质的 4 倍以上。

隔膜的适当使用也是十分关键的。有机电解质通常使用聚合物（特别是 PP）或者纸作为隔膜，水溶液电解质，可以采用玻璃纤维或者陶瓷隔膜。隔膜允许带电离子通过，阻止电子通过。

集流体则通常是选用导电性能良好的金属和石墨等来充当。

一个性能良好的超级电容器，需要以上的四个部件达到最佳优化。电解质和隔膜的离子电导高、隔膜具有高的电子隔离阻力，电极电子电导高、比表面积大，隔膜和电极尽量薄。其中，电极材料和电解质的选择对电容量影响最大。

超级电容器由于具有其他储能器件所不可比拟的优越性，因而具有广泛的应用领域。

通用汽车公司采用超级电容器组成并联电源系统和串联电源系统用在货车和汽车上。与相应的蓄电池组比起来，超级电容器贮能装置重量只有前者的 1/3，体积只有前者的一半。将蓄电池与超级电容器组合起来，它们的优点可以互补，成为一个极佳的贮能系统，它在大电流以及高低温条件下工作，都会有很长的寿命。由于它具有由于它具有快速充电的特性，对于像电动工具和玩具这种需要快速充电的设备来说，超级电容器无疑也是一个很理想的电源。现有超级电容器产品，它不仅已经用作光电功能电子手表和计算机存贮器等小型装置的电源，而且还可用于固定电站。

现有的 UPS 系统大多使用铅蓄电池作为应急电源。在频繁停电情况下使用，会因长期充电不足而使电池硫酸盐化，从而缩短使用寿命。而超级电容器，由于可以在数分钟之内充足电，就完全不会受到频繁停电的影响。另外，在某些特殊情况下，超级电容器的高功率密度输出特性，会使它成为很好的应急电源。

美国军方对超级电容器用于重型卡车、装甲运兵车以及坦克很感兴趣。Maxwell 公司正在向 oshkosh 汽车公司提供 Power Cache 超级电容器，为美国军方制造 HEMTT LMS 概念车，所用的动力就是该公司生产的 ProNlse 混合电力推进系统。

超极电容器以其足够的优势在现有的储能器件中占有重要的地位。目前，关于超极电容器电极材料的研究也正方兴未艾。如何制备一种综合性能优异的电极材料，在全世界范围都是一个新课题，对于该课题的研究具有广泛的实用性和创新性。

射 频 和 天 线 设 计 培 训 课 程 推 荐

易迪拓培训(www.edatop.com)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立，致力并专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养；我们于 2006 年整合合并微波 EDA 网(www.mweda.com)，现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地，成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 ADS、HFSS 等专业软件使用培训课程，广受客户好评；并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书，帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司，以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

易迪拓培训课程列表：<http://www.edatop.com/peixun/rfe/129.html>



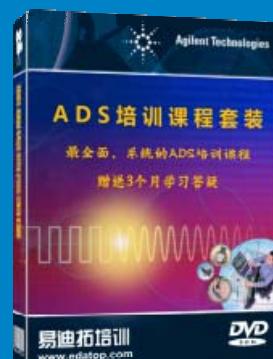
射频工程师养成培训课程套装

该套装精选了射频专业基础培训课程、射频仿真设计培训课程和射频电路测量培训课程三个类别共 30 门视频培训课程和 3 本图书教材；旨在引领学员全面学习一个射频工程师需要熟悉、理解和掌握的专业知识和研发设计能力。通过套装的学习，能够让学员完全达到和胜任一个合格的射频工程师的要求…

课程网址：<http://www.edatop.com/peixun/rfe/110.html>

ADS 学习培训课程套装

该套装是迄今国内最全面、最权威的 ADS 培训教程，共包含 10 门 ADS 学习培训课程。课程是由具有多年 ADS 使用经验的微波射频与通信系统设计领域资深专家讲解，并多结合设计实例，由浅入深、详细而又全面地讲解了 ADS 在微波射频电路设计、通信系统设计和电磁仿真设计方面的内容。能让您在最短的时间内学会使用 ADS，迅速提升个人技术能力，把 ADS 真正应用到实际研发工作中去，成为 ADS 设计专家…



课程网址：<http://www.edatop.com/peixun/ads/13.html>



HFSS 学习培训课程套装

该套课程套装包含了本站全部 HFSS 培训课程，是迄今国内最全面、最专业的 HFSS 培训教程套装，可以帮助您从零开始，全面深入学习 HFSS 的各项功能和在多个方面的工程应用。购买套装，更可超值赠送 3 个月免费学习答疑，随时解答您学习过程中遇到的棘手问题，让您的 HFSS 学习更加轻松顺畅…

课程网址：<http://www.edatop.com/peixun/hfss/11.html>

CST 学习培训课程套装

该培训套装由易迪拓培训联合微波 EDA 网共同推出, 是最全面、系统、专业的 CST 微波工作室培训课程套装, 所有课程都由经验丰富的专家授课, 视频教学, 可以帮助您从零开始, 全面系统地学习 CST 微波工作的各项功能及其在微波射频、天线设计等领域的设计应用。且购买该套装, 还可超值赠送 3 个月免费学习答疑…



课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/cst/24.html>



HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书, 课程从基础讲起, 内容由浅入深, 理论介绍和实际操作讲解相结合, 全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程, 可以帮助您快速学习掌握如何使用 HFSS 设计天线, 让天线设计不再难…

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程, 培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合, 全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作, 同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习, 可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试…



详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>

我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年, 10 多年丰富的行业经验,
- ※ 一直致力并专注于微波射频和天线设计工程师的培养, 更了解该行业对人才的要求
- ※ 经验丰富的一线资深工程师讲授, 结合实际工程案例, 直观、实用、易学

联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>