

§2-2 电容与电容器

一、孤立导体的电容

1. 电容的定义

电荷在导体表面的分布必须保证满足导体的静电平衡条件。对于孤立导体，电荷在导体表面的相对分布情况由导体的几何形状唯一确定，因而带一定电量的导体外部空间的电场分布以及导体的电势亦完全确定。根据叠加原理，当孤立导体的电量增加若干倍时，导体的电势也将增加若干倍，即孤立导体的电势与其电量成正比：

$$q = CV$$

比例系数 C 称为孤立导体的电容。

在单位制确定以后，它的值只取决于孤立导体的几何形状。孤立导体电容的大小反映了该导体在给定电势的条件下储存电量能力的大小。

2. 孤立导体球的电容

一半径为 R 的导体球，当带有电荷 q 时，其电势为

$$V = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 R}$$

故其电容为

$$C = 4\pi\epsilon_0 R$$

由半径决定。若把地球作为一个孤立导体球，其电容也可由上式决定。

3. 电容的单位

电容的单位是对法拉(F)， $1\text{ F} = 1\text{ C} / \text{V}$ ，F 是一个很大的单位，电容为 1F 的孤立导体球的半径约 $9 \times 10^9\text{ m}$ ，而地球的半径只有 $6.4 \times 10^6\text{ m}$ 。由于法拉这一单位太大，使用不方便，通常取法拉的 10^{-6} 作为电容的单位，称为微法拉，记作 μF 。有时取法拉的 10^{-9} 作为电容的单位，称为皮法拉，记作 pF 。

$$1\text{ }\mu\text{F} = 10^{-6}\text{ F}$$

$$1\text{ pF} = 10^{-3}\text{ }\mu\text{F} = 10^{-9}\text{ F}$$

二、电容器

1. 两导体间的电容

当带电导体周围存在其他导体或者其他带电体时，不论其他导体是否带电，由于静电感应，这些导体上都会产生一定分布的感应电荷，而且这些感应电荷的分布将因其他带电体带电情况的改变而改变，从而改变所考察带电导体的电势。因此，在一般情况下，非孤立导体的电荷与其电势并不成正比。

对于两个导体组成的导体组，当周围不存在其他导体或带电体，而其中一个导体带电荷为 q ，另一导体带电荷 $-q$ 时，这两导体间的电势差 V 与电量成正比，或者说，电量与电势差的比值是一恒量。通常把这比值称为这两个导体构成的导体组的电容。

2. 电容器

当这两导体附近存在其他带电体或导体时，电量与电势差之间的正比关系将被破坏。可以采用静电屏蔽的方法，可保证两导体间的电势差与电量间的正比关系容器不受周围其他带电体或导体的影响。

空腔导体的屏蔽作用可以使带电物体不影响周围其它带电体，如图 2-28 所示，一个导体 B 包围成一空腔，另一导体 A 被绝缘地固定在该空腔之中，这时当导体 A 带一定电量，导体 B 的内表面必带等量异号的电量，由于导体 B 的屏蔽作用，导体 A 和 B 之间的电势差将仅与导体 A 的电量成正比，与导体 B 周围的其他带电体或导体无关。

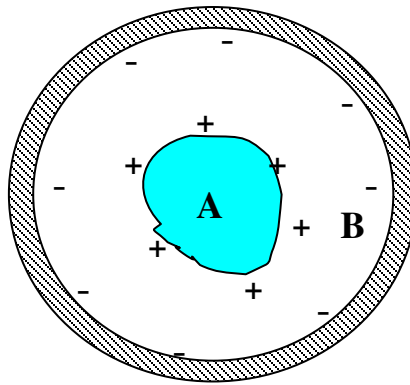


图 2-28 电容器

这种特殊的导体组称为电容器，组成电容器的两个导体分别称为电容器的两个极板。电容器的电容值为：

$$C = \frac{q}{U_1 - U_2}$$

电容器的电容与电容器的带电状态无关，与周围的带电体也无关，完全由电容器的几何结构决定。电容的大小反映了当电容器两极间存在一定电势差时，极板上贮存电量的多少。

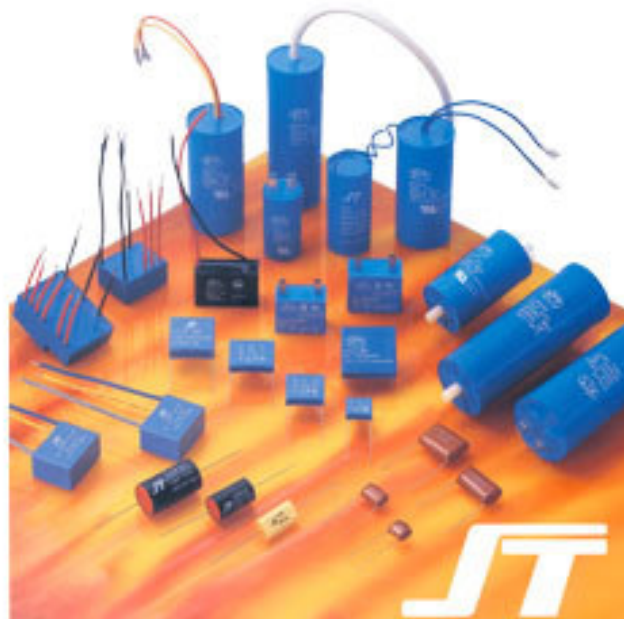


图 2-29 常用的电容器

三、几种常见电容器的电容

1. 平行板电容器

这是一种常见的电容器。最简单的平行板电容器由两块平行放置的金属板组成，如图 2-30 所示，极板的面积 S 足够大，两极板间的距离 d 足够小，两极板均匀带电，带电量为 $\pm q$ ，极板间的电场由极板上的电荷分布唯一确定。忽略极板的边缘效应，两板之间的电势差为

$$U_{ab} = \int \vec{E} \cdot d\vec{l} = Ed = \frac{\sigma_e d}{\epsilon_0}$$

故平行板电容器的电容为

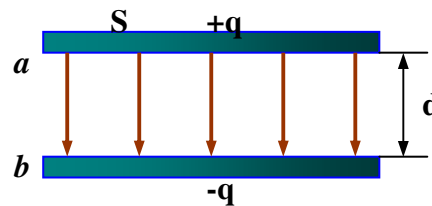


图 2-30 平行板电容器

$$C = \frac{q}{U_{ab}} = \frac{\epsilon_0 S}{d}$$

由此可见，增大极板面积，减少两极板间的距离可使电容器的电容量增大。严格讲，平行板电容器并不是屏蔽得很好的导体组，它们的电势差或多或少受到周围导体和带电体的影响，以上的结论只有在其他导体或带电体远离平行板电容器时才严格成立；实际使用中的平行板电容器往往加有屏蔽罩或卷成筒状，使屏蔽效果改善。

2. 球形电容器

由两个同心金属球壳制成的电容器。设内球壳 A 的外半径为 R_A ，外球壳 B 的内半径为 R_B ，A 带正电荷 q 时，B 的内壁带负电 q ，两球壳间的场强为

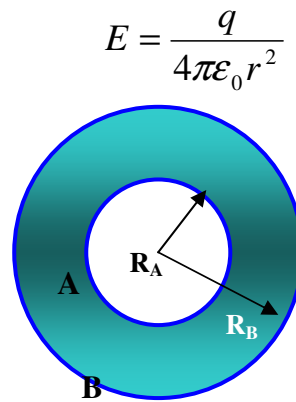


图 2-31 同心金属球壳电容器

两球壳的电势差

$$U_{ab} = \int_a^b E \cdot dl = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{R_A} - \frac{1}{R_B} \right)$$

其电容为

$$C = \frac{q}{U_{ab}} = \frac{4\pi\epsilon_0 R_A R_B}{R_B - R_A}$$

若 $R_B \gg R_A$ ，即外球壳 B 远离球 A，则回到孤立导体球的电容公式；若 R_A 和 R_B 都很大，而比 $R_B - R_A = d$ 很小，则 $R_A \times R_B = R^2$ ，则回到平板电容器的公式。

3. 圆柱形电容器

由两个同轴导体圆筒 A 和 B 组成的电容器。设圆筒半径分别为 R_A 和 R_B ，长为 L ，当 $L \gg R_B - R_A$ 时，可近似认为圆筒是无限长的，边缘效应可忽略。若 η 为单位长度的内圆筒所带的电量，则两圆筒间的场强 E 为：

$$E = \frac{\eta}{2\pi\epsilon_0 r}$$

电势差为：

$$U_{ab} = \int_{R_A}^{R_B} \frac{\eta}{2\pi\epsilon_0 r} dr = \frac{\eta}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{R_B}{R_A}$$

由于电容器每个电极上的电量 $q = \eta L$ ，故电容为

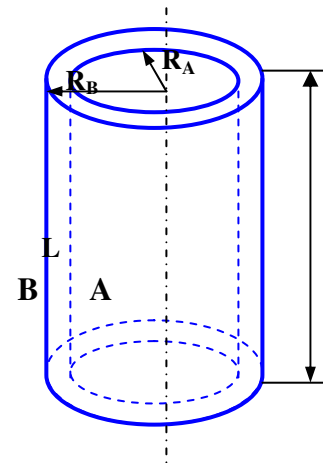


图 2-32 同轴导体圆柱形电容器

$$C = \frac{q}{U_{ab}} = \frac{2\pi\epsilon_0 L}{\ln \frac{R_B}{R_A}}$$

四、 电容器的联结

1. 电容器串联

电容器串联的特点是各电容器极板上的电量的绝对值都相等。注意到串联电容器组两端的总电压等于各电容器两极板间的电压之和，电容分别为 $C_1, C_2, C_3, \dots, C_n$ 的 n 个电容器串联后，其等值电容 C 与各电容器的电容有下面的关系：

$$\frac{1}{C} = \sum_i^n \frac{1}{C_i}$$

电容器串联时，各电容器两极间的电压小于总电压。但实际电容器很少串联使用，因为一旦一只电容器被击穿，会使其他电容器相继被击穿。

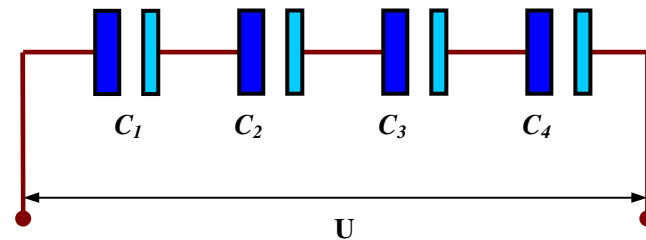


图 2-33 电容器串联

2. 电容器并联

电容器并联的特点是各电容器两极间的电压都相等。电容分别为 C_1 , C_2 , C_3 , ..., C_n 的 n 个电容器并联后，其等值电容 C 与各电容器的电容有下面的关系：

$$C = \sum_i^n C_i$$

电容器并联后可以获得较大的电容。

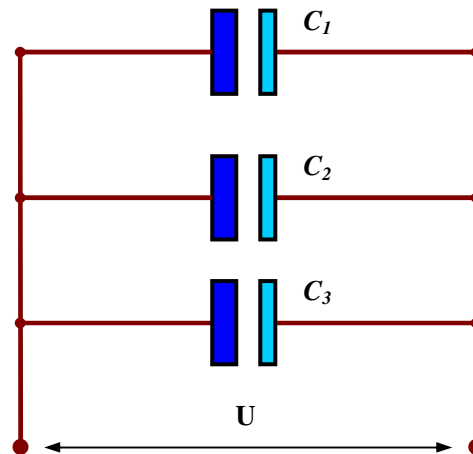


图 2-34 电容器并联

五、 几点说明

1. 电容器是一种特制的两导体系统

利用空腔导体的屏蔽作用使空腔内的电场分布仅由电容器的两电极的几何形状和相对位置决定,而两极板带的电量一定是等量异号的。对电容器这一特殊的两导体系统,所谓导体的几何形状就是指两极板的几何形状,电容器的电量就是任一极板上的电量。

2. 任意导体组,当导体带电并达到静电平衡时,每个导体上有一定的电荷分布,有一定的总电量和一定的电势

根据叠加原理,若各个导体的电量都增加若干倍,静电平衡条件并不破坏,这时空间的场强亦增加若干倍,各个导体的电势亦相应增加若干倍。所以,其中任意两导体之间都有电容,但任意两导体间的电容并不完全取决于自己的几何形状和相对位置,而是与周围其他导体都有关系。在这种情况下,任意两导体之间都有电容,但一般不称这两个导体为电容器。