



第四章

电 容

第四章 电 容

教学重点

1. 理解电容的概念及其计算。
2. 掌握电容器串、并联的性质及等效电容的计算。
3. 理解电容充、放电过程中的能量转换规律及有关计算。

教学难点

理解电容器的充、放电过程。

学时分配

序 号	内 容	学 时
1	第一节 电容器和电容	2
2	第二节 电容器的连接	1
3	第三节 电容器的充电和放电	1
4	实验4.1 电容器的充放电	2
5	第四节 电容器中的电场能量	1
6	本章小结	1
7	本章总学时	8

第四章 电 容

第一节 电容器和电容

第二节 电容器的连接

第三节 电容器的充电和放电

第四节 电容器中的电场能量

本章小结

第一节 电容器和电容

一、电容器

二、电容

三、平行板电容器的电容

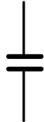
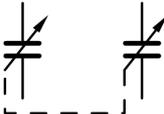
四、说明

一、电容器

1. 结构：两个彼此靠近又相互绝缘的导体，就构成了一只电容器。这对导体叫电容器的两个极板。

2. 种类：电容器按其电容量是否可变，可分为固定电容器和可变电容器，可变电容器还包括半可变电容器。它们在电路中的符号参见表 4-1。

表 4-1 电容器在电路中的符号

名称	电容器	电解电容器	半可变电容器	可变电容器	双连可变电容器
图形符号					



固定电容器的电容量是固定不变的，它的性能和用途与两极板间的介质有关。一般常用的介质有云母、陶瓷、金属氧化膜、纸介质、铝电解质等。

电解电容器是有正负极之分的，使用时不可将极性接反或接到交流电路中，否则会将电解电容器击穿。

电容量在一定范围内可调的电容器叫可变电容器。半可变电容器又叫**微调电容**。

常用的电容器如图 4-1 所示。

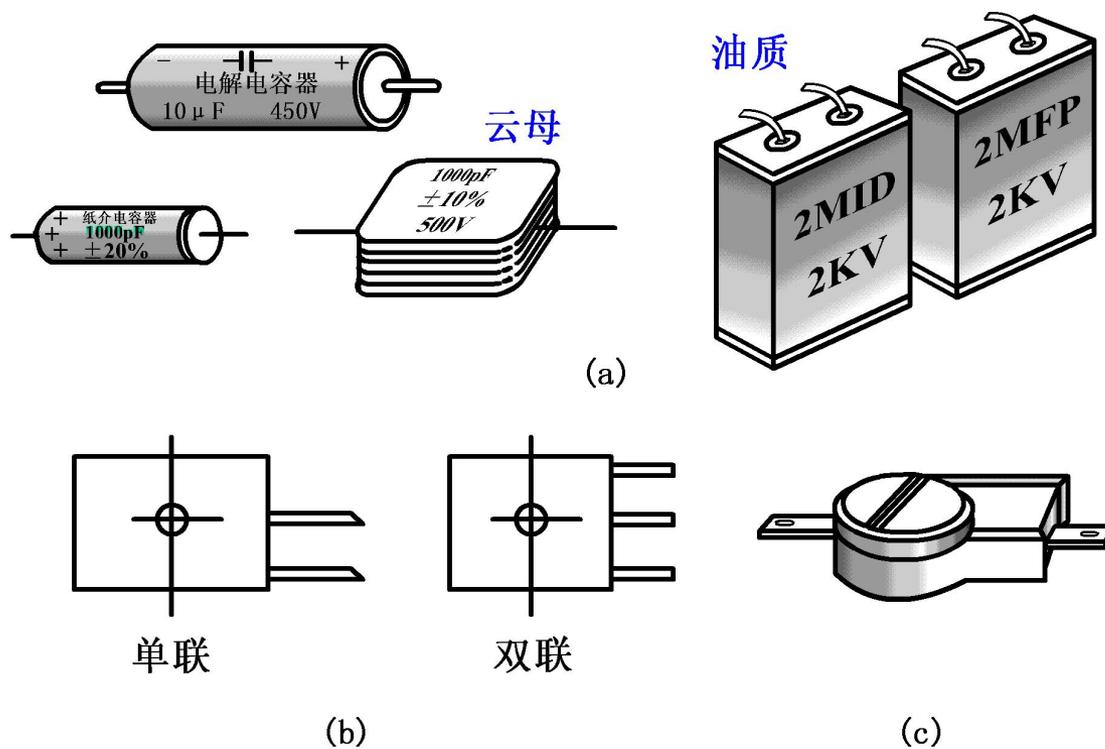


图 4-1 常用电容器

3. 作用：电容器是储存和容纳电荷的装置，也是储存电场能量的装置。电容器每个极板上所储存的电荷的量叫电容器的电量。

将电容器两极板分别接到电源的正、负极上，使电容器两极板分别带上等量异号电荷，这个过程叫电容器的**充电过程**。

电容器充电后，极板间有电场和电压。

用一根导线将电容器两极板相连，两极板上正、负电荷中和，电容器失去电量，这个过程称为电容器的**放电过程**。

4. 平行板电容器：由两块相互平行、靠得很近、彼此绝缘的金属板所组成的电容器，叫平行板电容器。是一种最简单的电容器。图 4-2 给出了平板电容器的示意图。

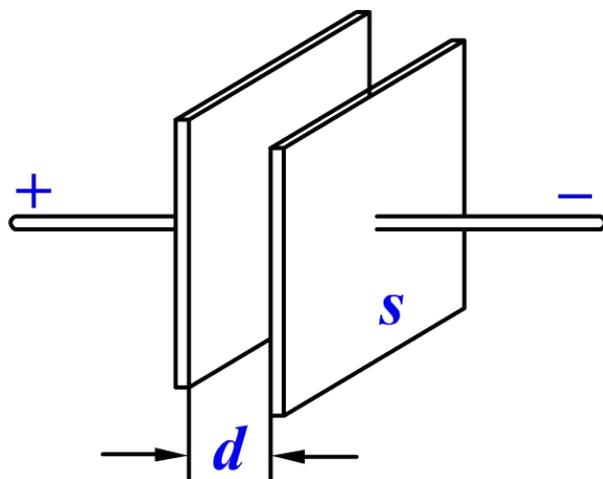


图 4-2 平行板电容器

二、电容

1. 电容 C : 如图 4-2 所示, 当电容器极板上所带的电量 Q 增加或减少时, 两极板间的电压 U 也随之增加或减少, 但 Q 与 U 的比值是一个恒量, 不同的电容器, Q/U 的值不同。

电容器所带电量与两极板间电压之比, 称为电容器的**电容**

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

电容反映了电容器储存电荷能力的大小, 它只与电容本身的性质有关, 与电容器所带的电量及电容器两极板间的电压无关。

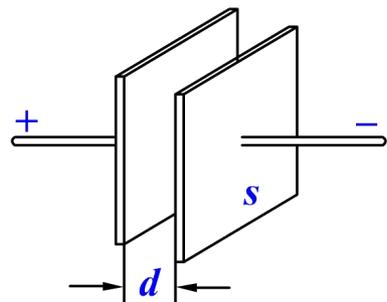


图 4-2 平行板电容器

2. 单位: 电容的单位有法拉(F)、微法(μF)、皮法(pF), 它们之间的关系为 $1 \text{ F} = 10^6 \mu\text{F} = 10^{12} \text{ pF}$

三、平行板电容器的电容

图 4-2 所示的平行板电容器的电容 C ，跟介电常数 ε 成正比，跟两极板正对的面积 S 成正比，跟极板间的距离成 d 反比，即

$$C = \frac{\varepsilon S}{d}$$

式中介电常数 ε 由介质的性质决定，单位是 F/m。真空介电常数为

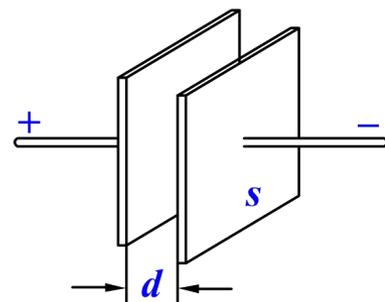


图 4-2 平行板电容器

$$\varepsilon_0 \approx 8.86 \times 10^{-12} \text{ F/m}$$

某种介质的介电常数 ε 与真空介电常数 ε_0 之比，叫做该介质的相对介电常数，用 ε_r 表示，即

$$\varepsilon_r = \varepsilon / \varepsilon_0$$

表 4-2 给出了几种常用介质的相对介电常数。

表 4-2 几种常用介质的相对介电常数

介质名称	相对介电常数 (F/m)	介质名称	相对介电常数/(F/m)
石英	4.2	聚苯乙烯	2.2
空气	1.0	三氧化二铝	8.5
硬橡胶	3.5	无线电瓷	6 ~ 6.5
酒精	35	超高频瓷	7 ~ 8.5
纯水	80	五氧化二钽	11.6
云母	7.0		

四、说明

1. 电容是电容器的固有特性，它只与两极板正对面积、板间距离及板间的介质有关，与电容器是否带电、带电多少无关。
2. 任何两个导体之间都存在电容。
3. 电容器存在耐压值，当加在电容器两极板间的电压大于它的额定电压时，电容器将被击穿。

【例 4-1】 将一个电容为 $6.8 \mu\text{F}$ 的电容器接到电动势为 1000 V 的直流电源上，充电结束后，求电容器极板上所带的电量。

解：根据电容定义式，则

$$Q = CU = (6.8 \times 10^{-6} \times 1000) \text{ C} = 0.0068 \text{ C}$$

【例4-2】 有一真空电容器，其电容是 $8.2 \mu\text{F}$ ，其间充满云母介质，将两极板间距离增大一倍后，求云母电容器的电容。

解：查表 4-2 可知云母的相对介电常数 $\varepsilon_r = 7$ ，则真空电容器的电容为

$$C_1 = \varepsilon_0 \frac{S}{d}$$

云母电容器的电容为

$$C_2 = \varepsilon_r \varepsilon_0 \frac{S}{2d}$$

比较两式可得

$$C_2 = \frac{\varepsilon_r}{2} C_1 = \left(\frac{7}{2} \times 8.2\right) \mu\text{F} = 28.7 \mu\text{F}$$

第二节 电容器的连接

一、电容器的串联

二、电容器的并联

一、电容器的串联

把几个电容器首尾相接连成一个无分支的电路，称为电容器的串联，如图 4-3 所示。

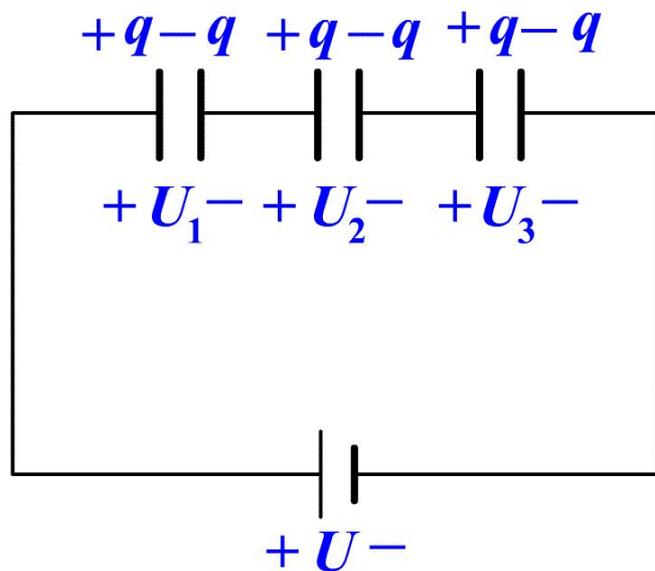


图 4-3 电容器的串联

串联时每个极板上的电荷量都是 q 。

设每个电容器的电容分别为 C_1 、 C_2 、 C_3 ，电压分别为 U_1 、 U_2 、 U_3 ，则

$$U_1 = \frac{q}{C_1}, \quad U_2 = \frac{q}{C_2}, \quad U_3 = \frac{q}{C_3}$$

总电压 U 等于各个电容器上的电压之和，所以

$$U = U_1 + U_2 + U_3 = q \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \right)$$

设串联总电容(等效电容)为 C ，则由 $C = \frac{q}{U}$ ，可得

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

即串联电容器总电容的倒数等于各电容器电容的倒数之和。

【例4-3】如图 4-3 中， $C_1 = C_2 = C_3 = C_0 = 200 \mu\text{F}$ ，额定工作电压为 50 V ，电源电压 $U = 120 \text{ V}$ ，求这组串联电容器的等效电容是多大？每只电容器两端的电压是多大？在此电压下工作是否安全？

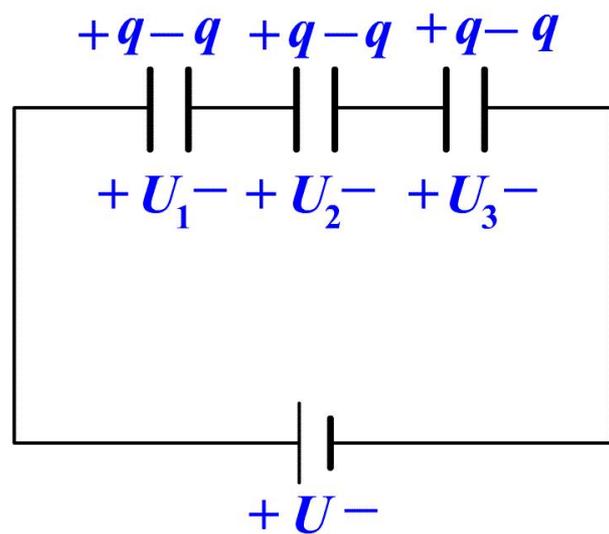


图 4-3 电容器的串联

解：三只电容串联后的等效电容为

$$C = \frac{C_0}{3} = \frac{200}{3} \mu\text{F} \approx 66.67 \mu\text{F}$$

每只电容器上所带的电荷量为

$$q = q_1 = q_2 = q_3 = CU = 66.67 \times 10^{-6} \times 120 \text{ C} \approx 8 \times 10^{-3} \text{ C}$$

每只电容上的电压为

$$U_1 = U_2 = U_3 = \frac{q}{C} = \frac{8 \times 10^{-3}}{200 \times 10^{-6}} \text{ V} = 40 \text{ V}$$

电容器上的电压小于它的额定电压，因此电容在这种情况下工作是安全的。

【例4-4】 现有两只电容器，其中一只电容器的电容为 $C_1 = 2 \mu\text{F}$ ，额定工作电压为 160 V ，另一只电容器的电容为 $C_2 = 10 \mu\text{F}$ ，额定工作电压为 250 V ，若将这两只电容器串联起来，接在 300 V 的直流电源上，如图 4-4 所示，问每只电容器上的电压是多少？这样使用是否安全？

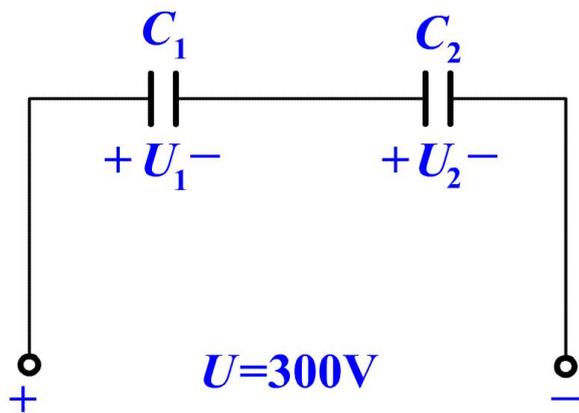


图 4-4 例题 4-4 图

解：两只电容器串联后的等效电容为

$$C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} = \frac{2 \times 10}{2 + 10} \mu\text{F} = 1.67 \mu\text{F}$$

各电容的电荷量为

$$q_1 = q_2 = CU = 1.67 \times 10^{-6} \times 300 \text{C} \approx 5 \times 10^{-4} \text{C}$$

各电容器上的电压为

$$U_1 = \frac{q_1}{C_1} = \frac{5 \times 10^{-4}}{2 \times 10^{-6}} \text{V} = 250 \text{V}$$

$$U_2 = \frac{q_2}{C_2} = \frac{5 \times 10^{-4}}{10 \times 10^{-6}} \text{V} = 50 \text{V}$$

由于电容器 C_1 的额定电压是 160 V，而实际加在它上面的电压是 250 V，远大于它的额定电压，所以电容器 C_1 可能会被击穿；当 C_1 被击穿后，300 V 的电压将全部加在 C_2 上，这一电压也大于它的额定电压，因而也可能被击穿。由此可见，这样使用是不安全的。本题中，每只电容器允许充入的电荷量分别为

$$q_1 = 2 \times 10^{-6} \times 160 \text{ C} = 3.2 \times 10^{-4} \text{ C}$$

$$q_2 = 10 \times 10^{-6} \times 250 \text{ C} = 2.5 \times 10^{-3} \text{ C}$$

为了使 C_1 上的电荷量不超过 $3.2 \times 10^{-4} \text{ C}$ ，外加总电压应不超过

$$U = \frac{3.2 \times 10^{-4}}{1.67 \times 10^{-6}} \text{ V} \approx 192 \text{ V}$$

电容值不等的电容器串联使用时，每只电容上分配的电压与其电容成反比。

二、电容器的并联

如图 4-5 所示，把几只电容器的一端连在一起，另一端也连在一起的连接方式，叫电容器的并联。

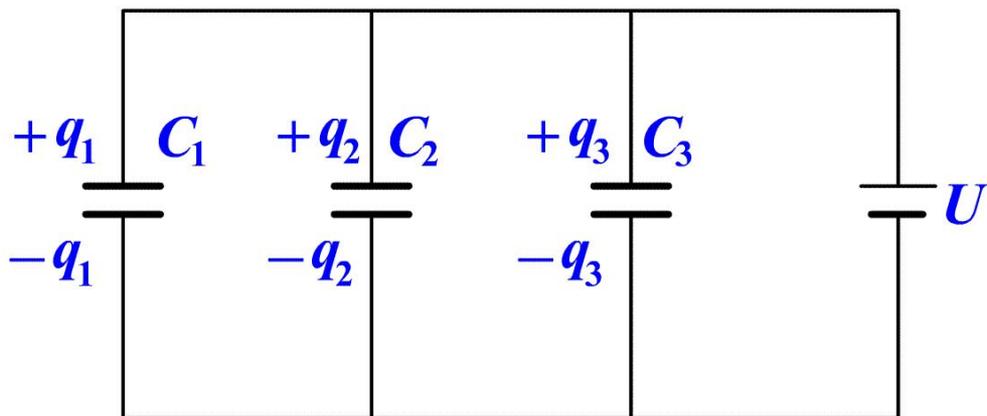


图 4-5 电容器的并联

电容器并联时，加在每个电容器上的电压都相等。设电容器的电容分别为 C_1 、 C_2 、 C_3 ，所带的电量分别为 q_1 、 q_2 、 q_3 ，则

$$q_1 = C_1 U, \quad q_2 = C_2 U, \quad q_3 = C_3 U$$

电容器组储存的总电量 q 等于各个电容器所带电量之和，即

$$q_1 + q_2 + q_3 = (C_1 + C_2 + C_3) U$$

设并联电容器的总电容(等效电容)为 C ，由 $q = CU$ ，得

$$C = C_1 + C_2 + C_3$$

即并联电容器的总电容等于各个电容器的电容之和。

【例4-5】 电容器 A 的电容为 $10\ \mu\text{F}$ ，充电后电压为 $30\ \text{V}$ ，电容器 B 的电容为 $20\ \mu\text{F}$ ，充电后电压为 $15\ \text{V}$ ，把它们并联在一起，其电压是多少？

解：电容器 A、B 连接前的带电量分别为

$$q_1 = C_1 U_1 = 10 \times 10^{-6} \times 30\ \text{C} = 3 \times 10^{-4}\ \text{C}$$

$$q_2 = C_2 U_2 = 20 \times 10^{-6} \times 15\ \text{C} = 3 \times 10^{-4}\ \text{C}$$

它们的总电荷量为

$$q = q_1 + q_2 = 6 \times 10^{-4}\ \text{C}$$

并联后的总电容为

$$C = C_1 + C_2 = 3 \times 10^{-5}\ \mu\text{F}$$

连接后的共同电压为

$$U = \frac{q}{C} = \frac{6 \times 10^{-4}}{3 \times 10^{-5}}\ \text{V} = 20\ \text{V}$$

第三节 电容器的充电和放电

一、电容器的充电

二、电容器的放电

三、电容器充、放电电流

四、电容器质量的判别

一、电容器的充电



动 画

动画 [M4-1 电容器的充放电](#)

充电过程中，随着电容器两极板上所带的电荷量的增加，电容器两端电压逐渐增大，充电电流逐渐减小，当充电结束时，电流为零，电容器两端电压

$$U_C = E$$

二、电容器的放电

放电过程中，随着电容器极板上电量的减少，电容器两端电压逐渐减小，放电电流也逐渐减小直至为零，此时放电过程结束。

三、电容器充、放电电流

充放电过程中，电容器极板上储存的电荷发生了变化，电路中有电流产生。其电流大小为

$$i = \frac{\Delta q}{\Delta t}$$

由 $q = Cu_C$ ，可得 $\Delta q = C\Delta u_C$ 。所以

$$i = \frac{\Delta q}{\Delta t} = C \frac{\Delta u_C}{\Delta t}$$

需要说明的是，电路中的电流是由于电容器充、放电形成的，并非电荷直接通过了介质。

四、电容器质量的判别

利用电容器的充、放电作用，可用万用表的电阻挡来判别较大容量电容器的质量。将万用表的表棒分别与电容器的两端接触，若指针偏转后又很快回到接近于起始位置的地方，则说明电容器的质量很好，漏电很小；若指针回不到起始位置，停在标度盘某处，说明电容器漏电严重，这时指针所指处的电阻数值即表示该电容的漏电阻值；若指针偏转到零欧位置后不再回去，说明电容器内部短路；若指针根本不偏转，则说明电容器内部可能断路。

第四节 电容器中的电场能量

一、电容器中的电场能量

二、电容器在电路中的作用

一、电容器中的电场能量

1. 能量来源

电容器在充电过程中，两极板上有电荷积累，极板间形成电场。电场具有能量，此能量是从电源吸取过来储存在电容器中的。

2. 储能大小的计算

电容器充电时，极板上的电荷量 q 逐渐增加，两板间电压 U_C 也在逐渐增加，电压与电荷量成正比，即 $q = Cu_C$ ，如图 4-6 所示。

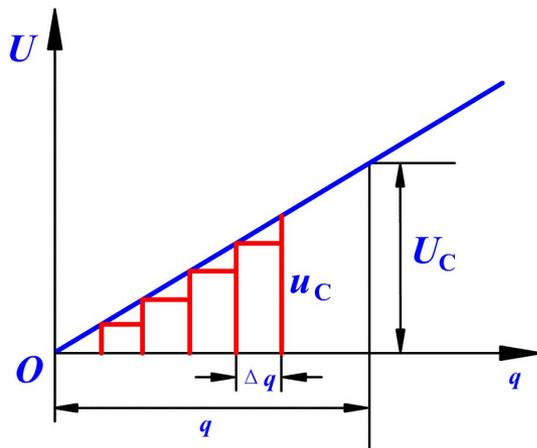


图 4-6 $u_C - q$ 关系

把充入电容器的总电量 q 分成许多小等份，每一等份的电荷量为 Δq 表示在某个很短的时间内电容器极板上增加的电量，在这段时间内，可认为电容器两端的电压为 U_C ，此时电源运送电荷做功为

$$\Delta W_C = u_C \Delta q$$

即为这段时间内电容器所储存的能量增加的数值。

当充电结束时，电容器两极板间的电压达到稳定值 U_C ，此时，电容器所储存的电场能量应为整个充电过程中电源运送电荷所做的功之和，即把图中每一小段所做的功都加起来。利用积分的方法可得

$$W_C = \frac{1}{2} q U_C = \frac{1}{2} C U_C^2$$

式中，电容 C 的单位为 F，电压 U_C 的单位为 V，电荷量 q 的单位为 C，能量的单位为 J。

电容器中储存的能量与电容器的电容成正比，与电容器两极板间电压的平方成正比。

二、电容器在电路中的作用

当电容器两端电压增加时，电容器从电源吸收能量并储存起来；当电容器两端电压降低时，电容器便把它原来所储存的能量释放出来。即电容器本身只与电源进行能量交换，而并不损耗能量，因此电容器是一种储能元件。

实际的电容器由于介质漏电及其他原因，也要消耗一些能量，使电容器发热，这种能量消耗称为电容器的损耗。

本章小结

一、电容器

二、电容

三、电容器的连接

一、电容器

1. 任何两个相互靠近又彼此绝缘的导体，都可看成是一个电容器。
2. 平行板电容器是最简单的电容器，是由两块相互绝缘，彼此靠得很近的平行金属板组成。
3. 电容器是储能元件。充电时把能量储存起来，放电时把储存的能量释放出去。储存在电容器中的电场能量为

$$W_C = \frac{1}{2} q U_C = \frac{1}{2} C U_C^2$$

若电容器极板上所储存的电荷量不变，则电路中没有电流流过；当电容器极板上的所带的电量发生变化时，电路中就有电流流过，其电流大小为

$$i = \frac{\Delta q}{\Delta t} = C \frac{\Delta u_c}{\Delta t}$$

4. 加在电容器两端的电压不能超过它的额定电压，否则电容器将有可能被击穿。

二、电容

1. 电容器所带的电量与它的两极板间的电压的比值，称为电容器的电容。

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

2. 电容是电容器的固有特性，外界条件变化、电容器是否带电或带电多少都不会使电容改变。平行板电容器的电容是由两极板的正对面积、极板间距离以及两板间的介质所决定的。即

$$C = \frac{\varepsilon S}{d} = \varepsilon_r \varepsilon_0 \frac{S}{d}$$

3. 电容反映了电容器储存电荷的能力。

三、电容器的连接

1. 电容器的连接方法有串联、并联和混联三种。
2. 串联电容器的总电容的倒数等于各电容器电容的倒数之和，各电容器上的电压与它的电容成反比；并联电容器的总电容等于各电容器电容之和。