

Ch1.3 电容元件

杨旭强

哈尔滨工业大学电气工程及自动化学院

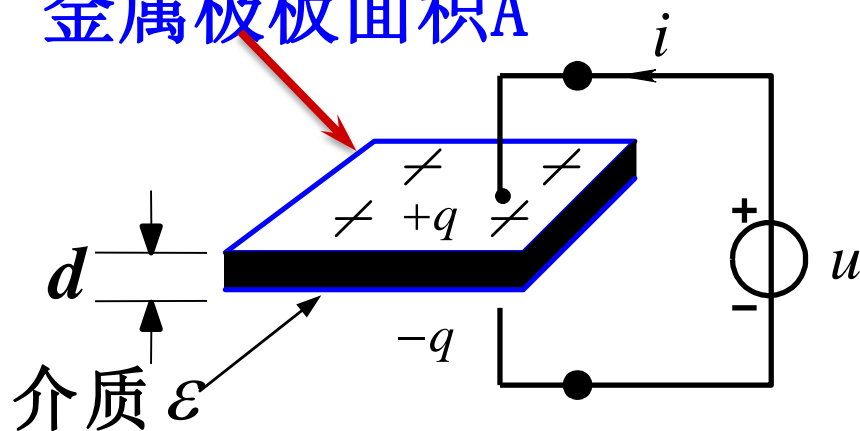


1.3 电容元件

基本要求：熟练掌握电容元件符号表示，单位、端口特性方程、功率、能量计算。

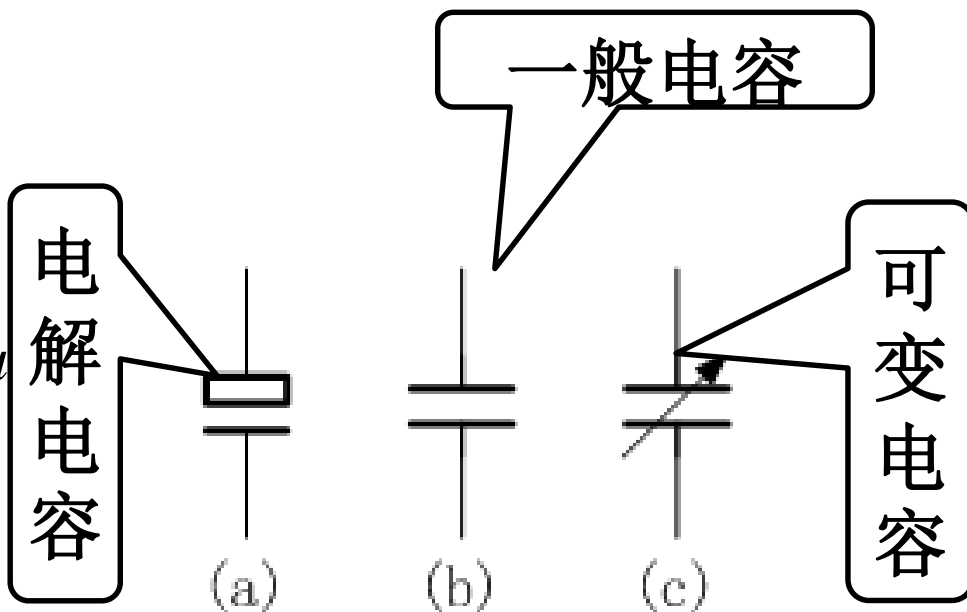
电容构成原理

金属极板面积 A



电容的基本构成图

1. 电容的电路符号



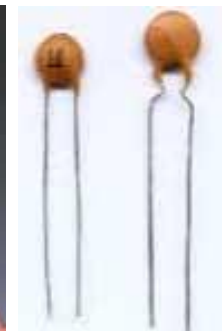
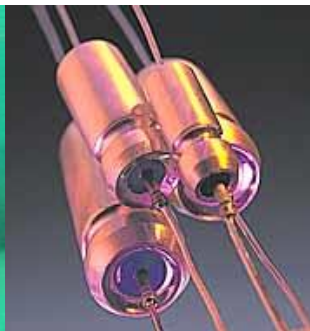
电容的电路符号

1.3 电容元件

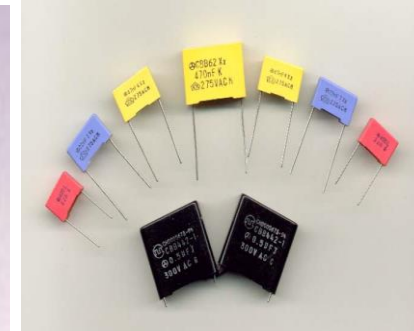
实际电容器示例



电解电容器

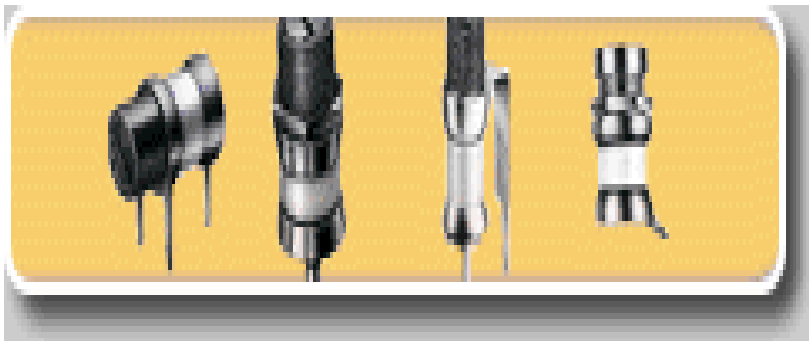


瓷质电容器



聚丙烯膜电
容器

固定电 容 器



管式空气可调电容器



片式空气可调电容器

可 变 电 容 器

1.3 电容元件

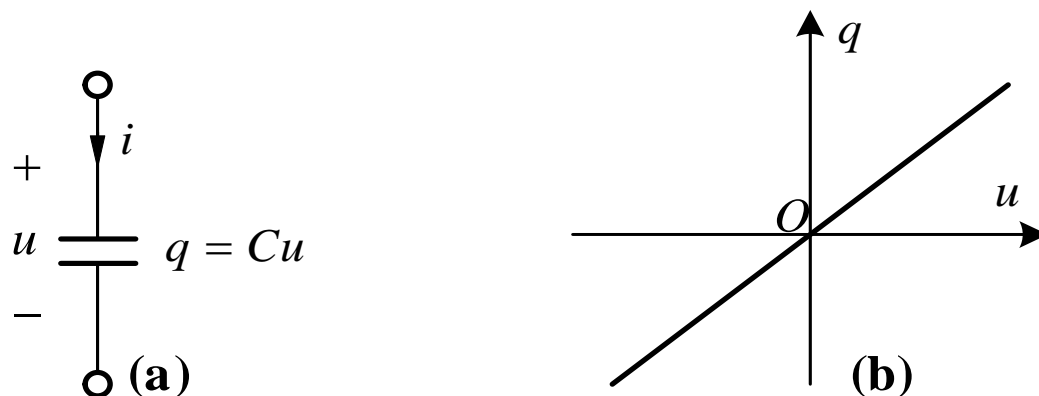
2. 电容的特性方程

1) 库伏特性

当电容器填充线性介质时，正极板上存储的电荷量 q 与极板间电压 u 成正比

$q = Cu$ 电容[系数]，单位：F(法拉)表示。常用单位有 μF (微法) 及 pF (皮法)，分别表示为。

线性电容的符号和它的电荷、电压关系曲线如图所示。



线性电容电路符号和特性

1.3 电容元件

2) 伏安特性

$$\left\{ \begin{array}{ll} i = \frac{dq}{dt} = \frac{d(Cu)}{dt} = C \frac{du}{dt} & \text{(关联)} \\ i = -C \frac{du}{dt} & \text{(非关联)} \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} \text{线性电容的端口电流} \\ \text{与端口电压的时间变} \\ \text{化率成正比[动态元件]} \end{array}$$

线性电容的伏安特性有如下特点：

- ◆ 电容元件上任意时刻的电流取决于同一时刻电容电压的**变化率**，而与该时刻电容电压的数值无关；
- ◆ 电容电压变化越快，电流越大[**通交流**]。即使某时刻电压为零，也可能有电流；
- ◆ 当电容电压为恒定值时（直流电压），电容相当于开路，电容有**隔直流**作用；
- ◆ 若任一时刻电容电流为有限值，则电压**不能跃变**。

1.3 电容元件

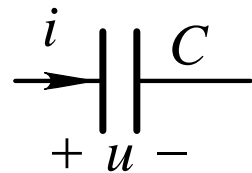
$$\begin{aligned} u(t) &= \frac{q(t)}{C} = \frac{1}{C} \int_{-\infty}^t i(t) dt \\ &= \frac{1}{C} \int_{-\infty}^{t_0} i(t) dt + \frac{1}{C} \int_{t_0}^t i(t) dt = u(t_0) + \frac{1}{C} \int_{t_0}^t i(t) dt \end{aligned}$$

$u(t_0)$: 初始电压。

上式说明：任一时刻 t 的电容电压，不仅取决于 t 时刻的电流值，而是取决于所有时刻的电流值，即与电流过去全部的历史状况有关。称电容为“**记忆元件**”。

1.3 电容元件

2. 电容的储能

功率（关联）  $p = ui = Cu \frac{du}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\frac{1}{2} Cu^2 \right)$

当 $|u(t)| \uparrow \rightarrow$ 储能 \uparrow 即吸收能量 \rightarrow 吸收功率

当 $|u(t)| \downarrow \rightarrow$ 储能 \downarrow 即释放能量 \rightarrow 发出功率

所以电容是**储能元件**。

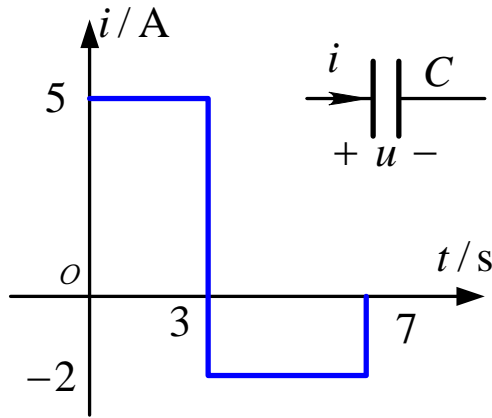
能量：截止到 t 时刻电容吸收的总能量

$$w_e(t) = \int_{-\infty}^t p(\xi) d\xi = \int_{-\infty}^t \left(Cu \frac{du}{d\xi} \right) d\xi = C \int_{-\infty}^t u du = \frac{1}{2} Cu^2 \Big|_{u(-\infty)}^{u(t)}$$

$$w_e(t) = \frac{1}{2} Cu^2 = \frac{q^2}{2C}$$

1.3 电容元件

【例题1.1】 设0.2F电容流过的电流波形如图所示，已知 $u(0)=30\text{V}$ 。试计算电容电压的变化规律并画出波形。



解：电容电压计算如下

$$(1) \quad 0 \leq t < 3\text{s}: \quad i = 5\text{A} > 0$$

电容充电

$$u = u(0) + \frac{1}{C} \int_0^t i(\xi) d\xi = 30\text{V} + \frac{1}{0.2\text{F}} \int_0^t 5\text{A} d\xi = 30\text{V} + 25t$$

并且 $u(3\text{s}) = (30 + 25 \times 3)\text{V} = 105\text{V}$

$$(2) \quad 3\text{s} \leq t < 7\text{s}: \quad i = -2\text{A} < 0$$

1.3 电容元件

$$u = u(3s) + \frac{1}{C} \int_{3s}^t i(\xi) d\xi = 105 + \frac{1}{0.2} \int_{3s}^t (-2) d\xi = (135 - 10t) V$$

并且 $u(7s) = 65V$

(3) $t \geq 7s$: $i = 0A$

电容电压保持不变

$$u(t) = u(7s) = 65V$$

