

# 第1章 电路元件与电路基本定律

---

开课教师： 王灿

开课单位： 机电学院--电气工程学科



# 1.2 电阻元件

基本要求：了解电阻元件的种类，重点掌握线性电阻的欧姆定律及功率的计算。

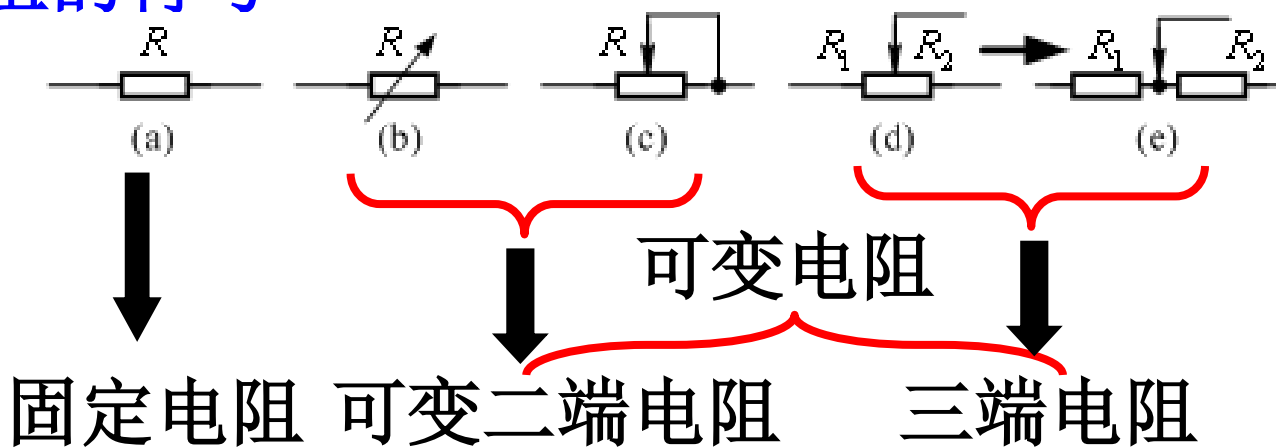


实际电阻器示例



实际电阻器示例

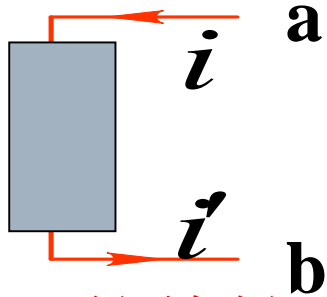
## 1. 电阻的符号



# 1.2 电阻元件

## 2. 端口的概念

将流过相同电流的两个端子称为一个**端口**(port)。



如果  $i = i'$  则称a, b之间为一个端口

**3.电阻的特性方程:** 对于线性二端电阻, 其端口电压与电流之间成正比关系--**欧姆定律**(Ohm's Law)。

1)  $u$ 、 $i$  取关联参考方向时

$$u = Ri \quad \text{或} \quad i = Gu$$

2)  $u$ 、 $i$  取非关联参考方向时

$$u = -Ri \quad \text{或} \quad i = -Gu$$

## 1.2 电阻元件

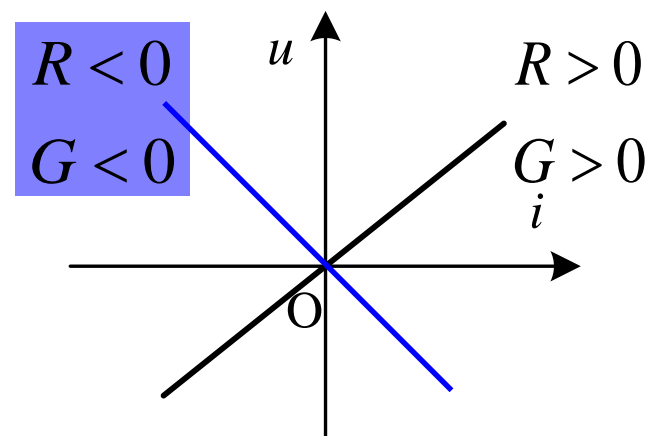
$R$ : 电阻 (参数), 单位: 欧姆 ( $\Omega$ )

$G$ : 电导 (参数), 单位: 西门子 (S)

对同一电阻  $R = \frac{1}{G}$  或  $R G = 1$

4. 负电阻:  $R < 0$ ,  $G < 0$

负电阻为有源元件



线性二端电阻的特性曲线

# 1.2 电阻元件

## 5. 电阻的功率和能量

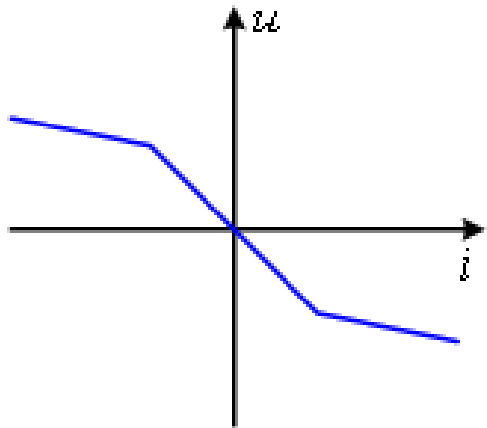
吸收功率：关联  $p = ui = Ri^2 = Gu^2 \geq 0$

非关联  $p = -ui = Ri^2 = Gu^2 \geq 0$

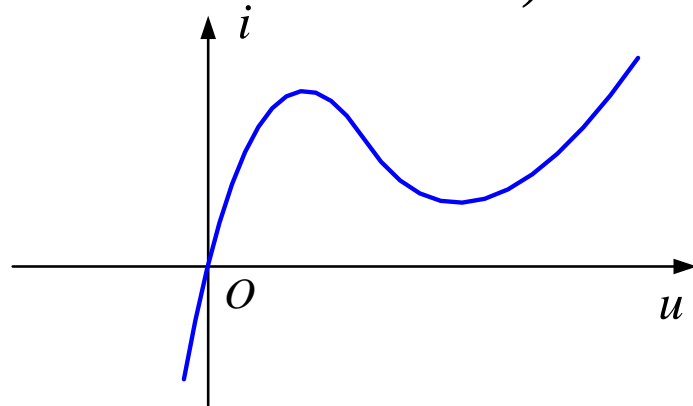
吸收能量： $w = \int_{-\infty}^t p(\xi)d\xi = \int_{-\infty}^t u(\xi)i(\xi)d\xi$   
 $= R \int_{-\infty}^t i^2(\xi)d\xi = G \int_{-\infty}^t u^2(\xi)d\xi$

正电阻可称为：  
耗能元件  
无源元件

6. 非线性电阻：电压、电流关系不是过  $u-i$  平面原点的直线，称为非线性电阻(nonlinear resistance)。



$$u \neq Ri$$

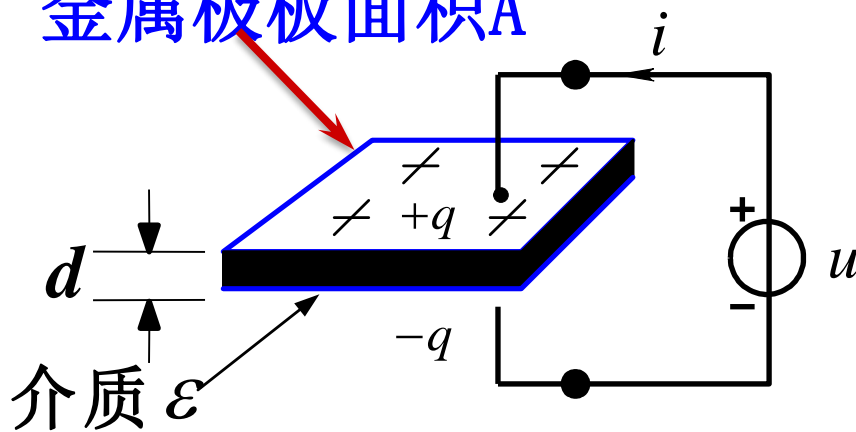


# 1.3 电容元件

基本要求：熟练掌握电容元件端口特性方程、能量计算及串并联等效变换。

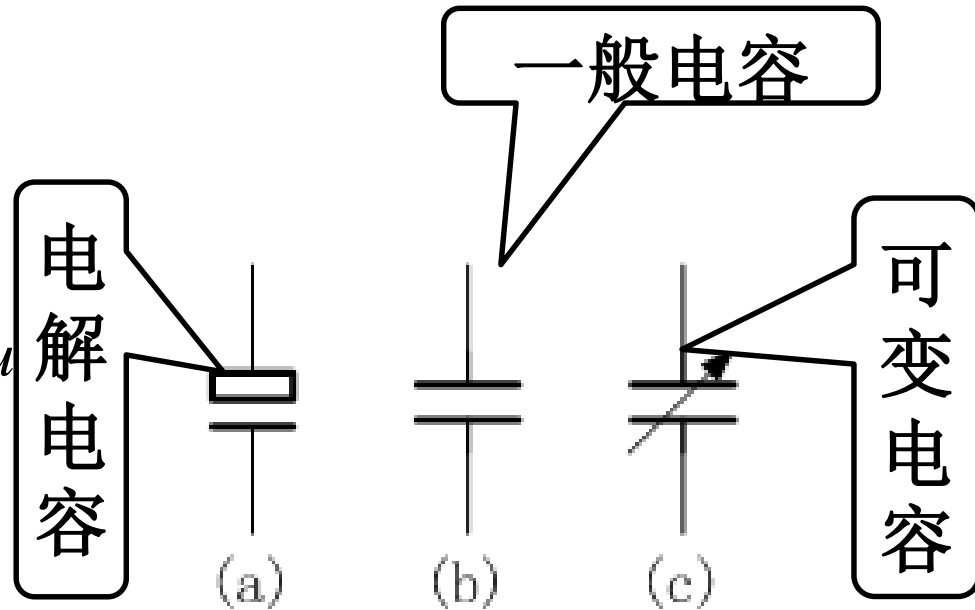
## 电容构成原理

金属极板面积A



电容的基本构成图

## 1. 电容的电路符号



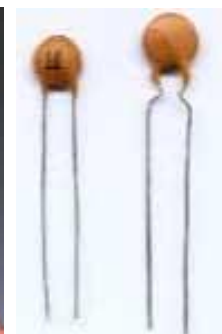
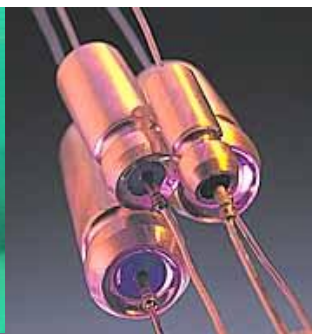
电容的电路符号

# 1.3 电容元件

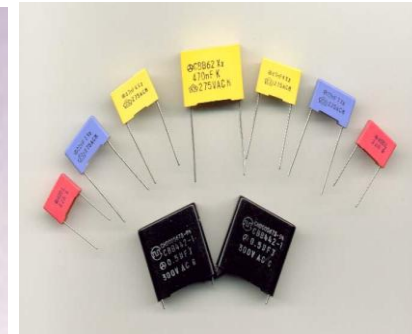
## 实际电容器示例



电解电容器

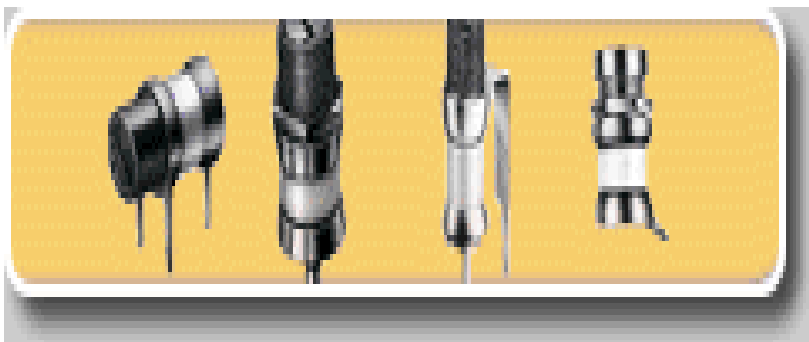


瓷质电容器

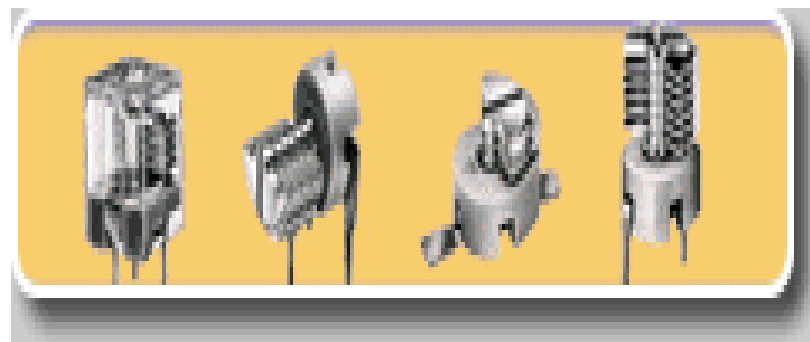


聚丙烯膜电  
容器

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

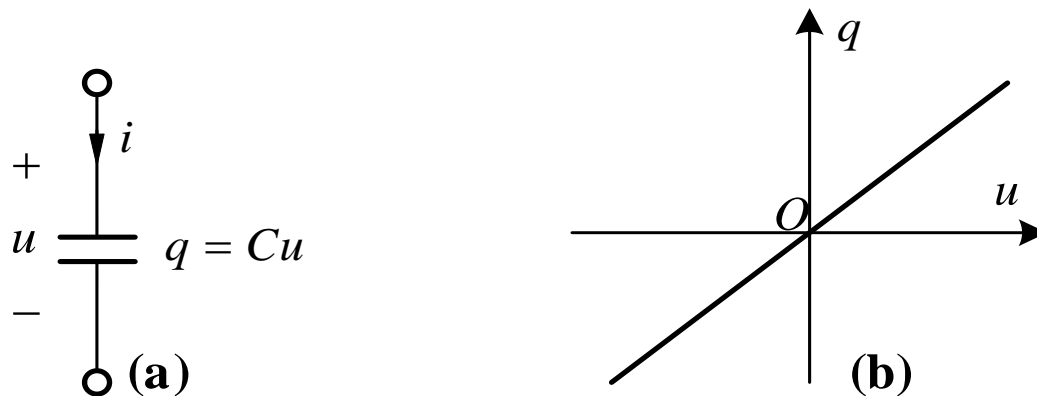
## 1. 电容的特性方程

### 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

$$q = Cu$$

**C**--电容[系数]，单位：F(法拉)、 $\mu\text{F}$ (微法)、 $\text{pF}$ (皮法)



线性电容电路符号和特性



# 1.3 电容元件

## 2) 伏安特性

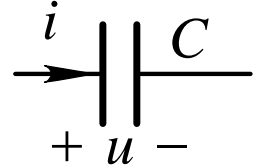
$$\left\{ \begin{array}{l} i = \frac{dq}{dt} = \frac{d(cu)}{dt} = C \frac{du}{dt} \quad (\text{关联}) \\ i = -C \frac{du}{dt} \quad (\text{非关联}) \end{array} \right.$$

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

任一时刻 $t$ 的电容电压，不仅取决于 $t$ 时刻的电流值，而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**。

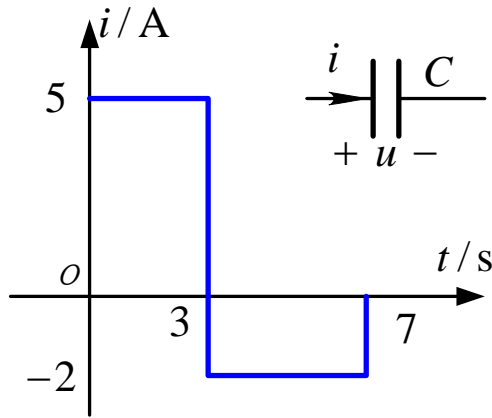
**能量**：截止到  $t$  时刻电容吸收的总能量

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

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

## 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

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

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

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

# 1.3 电容元件

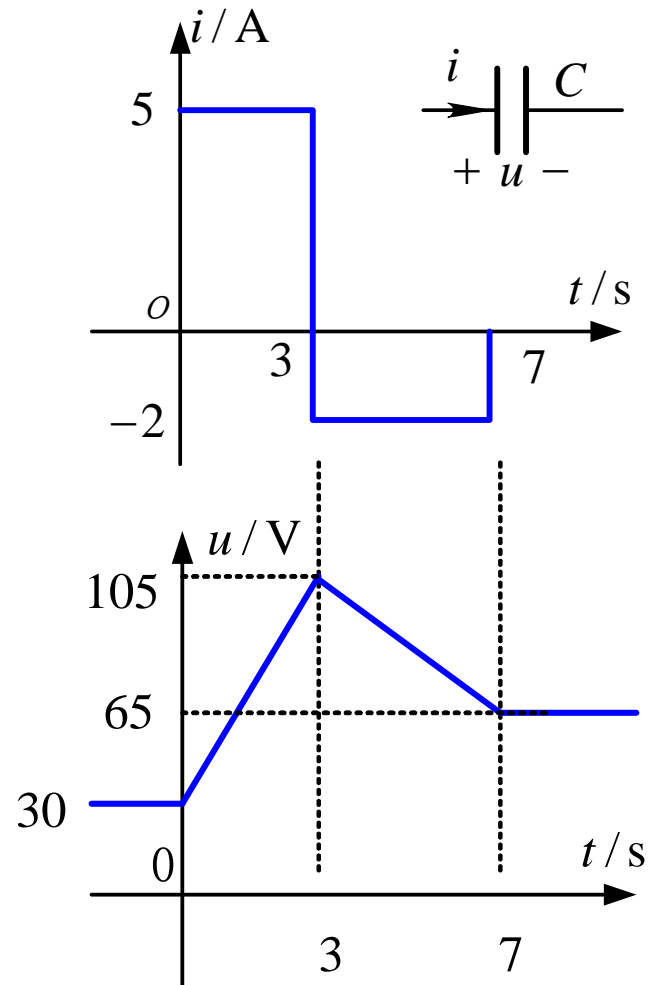
$$u = u(3s) + \frac{1}{C} \int_{3s}^t i(\xi) d\xi = 105 + \frac{1}{0.2} \int_{3s}^t (-2) d\xi = (135 - 10t) V$$

并且  $u(7s) = 65V$

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

电容电压保持不变

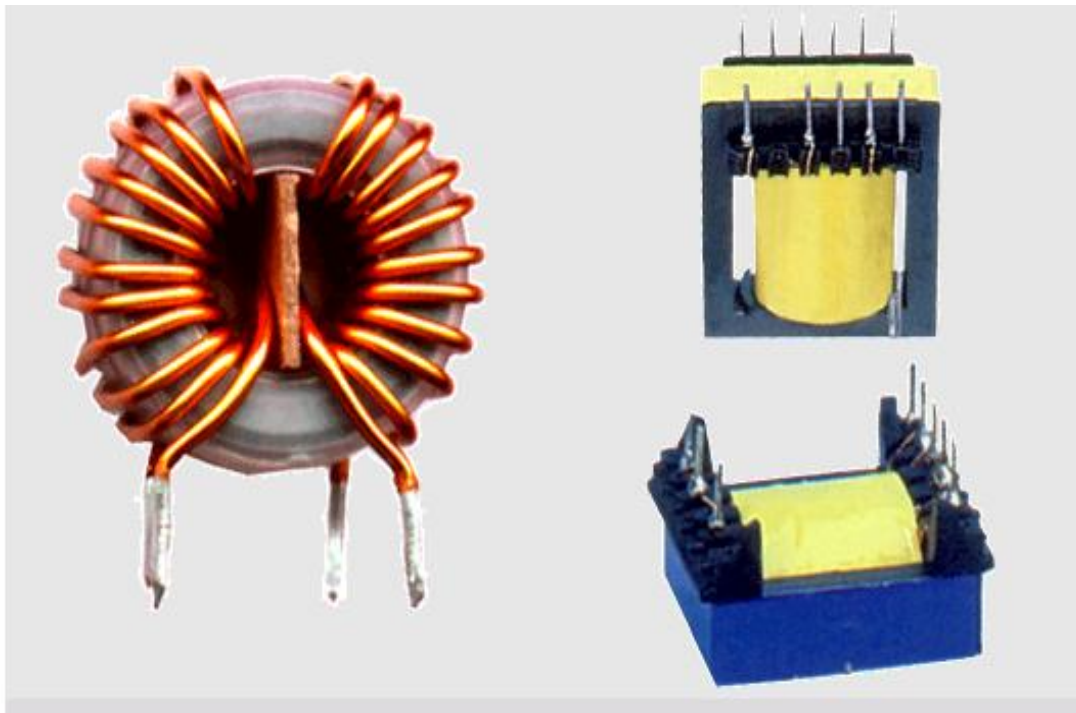
$$u(t) = u(7s) = 65V$$



# 1.4 电感元件

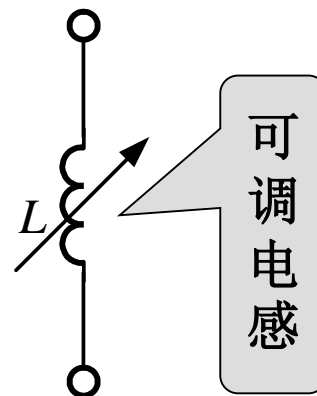
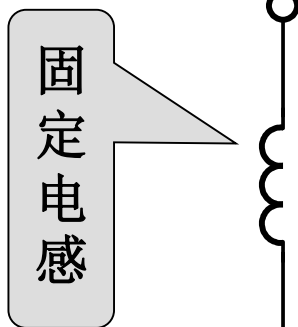
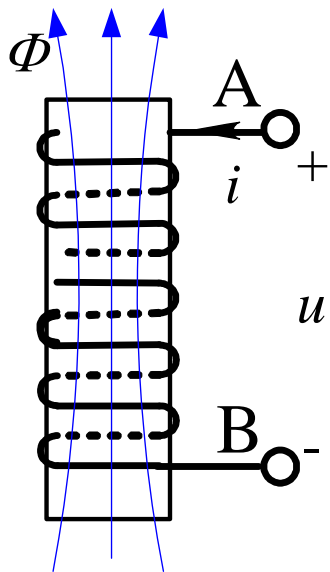
基本要求：熟练掌握电感元件端口特性方程、能量计算及串并联等效变换。

几种实际的电感线圈如图所示。



# 1.4 电感元件

## 1. 电感的电路符号

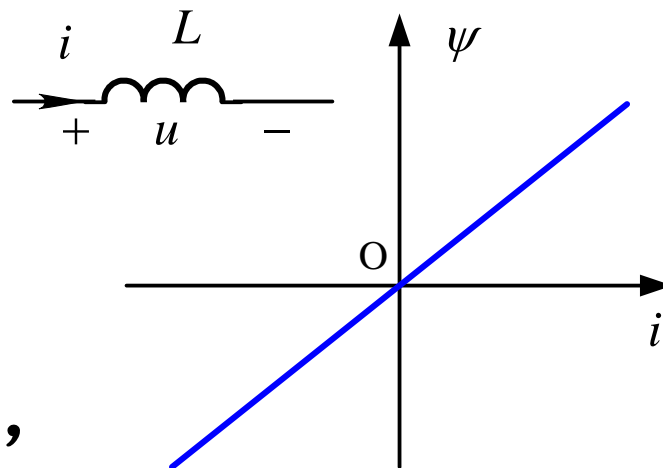


## 2. 电感的特性方程

### 1) 韦安特性

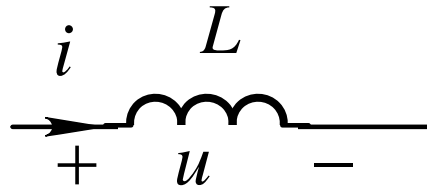
$$\psi = Li$$

$L$ : 电感, 单位:亨[利](符号H),  
 $\Psi$ : 磁链, 单位:韦[伯](符号Wb)。



# 1.4 电感元件

## 2) 伏安特性



$$e = -\frac{d\Psi}{dt} = -L \frac{di}{dt}$$

线性电感

$$\left\{ \begin{array}{l} u = -e = \frac{d\Psi}{dt} = L \frac{di}{dt} \quad (\text{关联}) \\ u = -L \frac{di}{dt} \quad (\text{非关联}) \end{array} \right.$$

$$\Psi(t) = \int_{-\infty}^t u(\xi) d\xi = \psi(t_0) + \int_{t_0}^t u(\xi) d\xi$$

$\psi(t_0)$  : 初始磁链

$$i(t) = \frac{1}{L} \int_{-\infty}^t u(\xi) d\xi = i(t_0) + \frac{1}{L} \int_{t_0}^t u(\xi) d\xi$$

$i(t_0)$  : 初始电流

## 1.4 电感元件

---

线性电感吸收的**功率**为

$$p = ui = Li \frac{di}{dt}$$

截止到  $t$  时刻电感吸收的**能量**为:

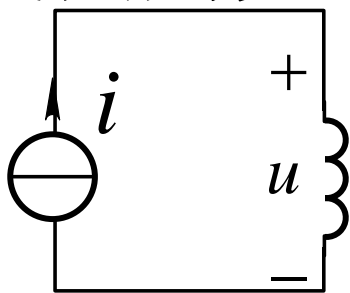
$$w_m = \int_{-\infty}^t p(\xi) d\xi = L \int_{i(-\infty)}^i i(\xi) di(\xi) = \frac{1}{2} Li^2 \Big|_{i(-\infty)}^{i(t)}$$

$$w_m = \frac{1}{2} Li^2 = \frac{\psi^2}{2L}$$

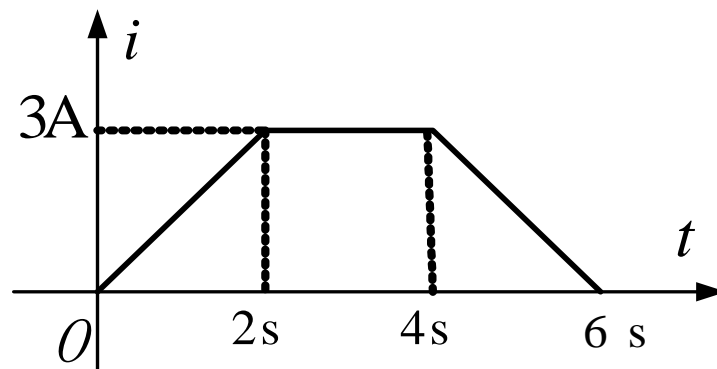


## 1.4 电感元件

【例题1.2】电路如图 (a)所示，0.1H电感通以图 (b)所示的电流。求时间 $t>0$ 电感电压、吸收功率及储存能量的变化规律。



(a)



(b)

例题1.2图

解：根据电流的变化规律，分段计算如下

$$(1) 0 < t < 2\text{s} : i = 1.5t \text{ A}$$

$$u = L \frac{di}{dt} = (0.1 \times 1.5) \text{ V} = 0.15 \text{ V}$$

$$p = ui = 0.225t \text{ W} \quad w_m = \frac{1}{2} Li^2 = 0.1125t^2 \text{ J}$$

# 1.4 电感元件

(2)  $2\text{s} < t < 4\text{s}$  :  $i = 3\text{ A}$

$$u = L \frac{di}{dt} = 0$$

$$p = ui = 0$$

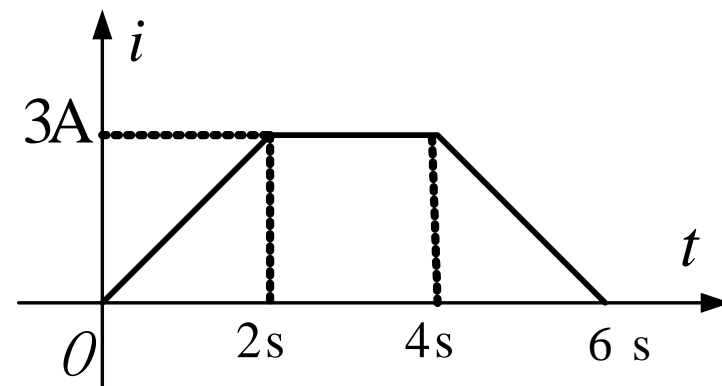
$$w_m = \frac{1}{2} Li^2 = 0.45\text{ J}$$

(3)  $4\text{s} < t < 6\text{s}$  :  $i = (-1.5t + 9)\text{ A}$

$$u = L \frac{di}{dt} = -0.1 \times 1.5\text{ V} = -0.15\text{ V}$$

$$p = ui = (0.225t - 1.35)\text{ W}$$

$$w_m = \frac{1}{2} Li^2 = (0.1125t^2 - 1.35t + 0.45)\text{ J}$$



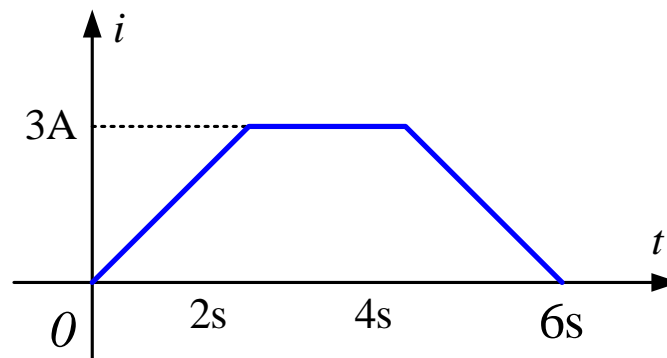
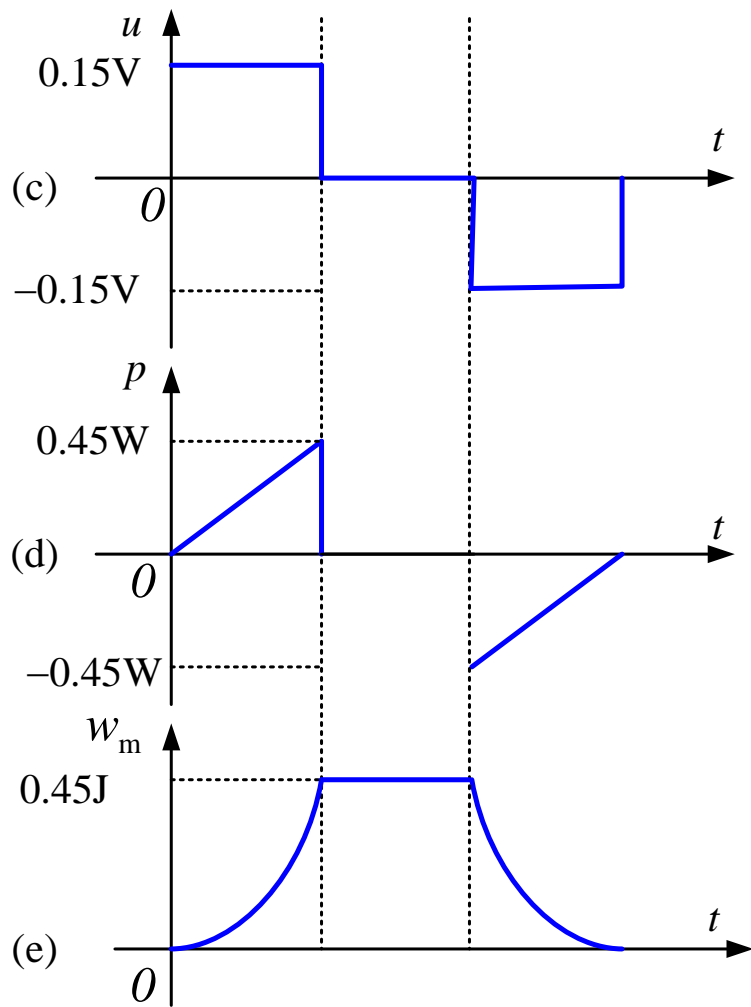
(b)

(4)  $t > 6\text{s}$  :  $i = 0$

电压、功率及  
能量均为零。

# 1.4 电感元件

电压、功率、能量的变化规律:





谢

谢！

