

电路理论基础

时间：星期三上午8:00至9:40，星期五上午8:00至9:40

地点：南校园1506

任课教师：栗涛（电子与信息工程学院）

考试方式：闭卷

成绩评定：平时分40%，期末考试60%。

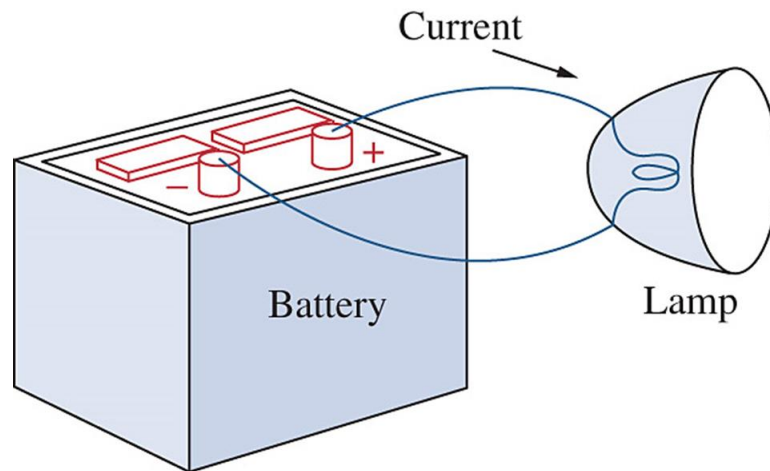
学分：4

基本概念

- 电路
- 计量单位
- 电荷与电流
- 电压
- 功率与能量
- 电路元件

电路的概念

- 在电子工程中，
 - 我们经常要研究一个点到另一个点的通信和能量传输；
 - 要实现这种功能需要将若干电气元件组合起来。
- 一个照明的例子：
 - 电灯具有发亮的功能；
 - 电池可以提供电能；
 - 将电池与电灯相连。
- 这种由电气元件相互连接而成的整体称为电路。
 - 电路中的每个组成部分称为元件；
 - 电路是由元件相互连接而成的整体。



计量单位

- 为了准确的、可比较的表达测量的结果，需要使用统一的单位。
- 1960年国际度量会议决定采用国际单位制（SI制）
 - 共有7个基本单位；由这7个基本单元可以导出其他单位。

量名称	单位	符号		量名称	单位	符号
长度 Length	米 meter	m		质量 Mass	千克 kilogram	kg
时间 Time	秒 second	s		电流 Current	安培 ampere	A
热力学温度 Thermodynamic temperature	开尔文 kelvin	K		物质的量 amount of matte	摩尔 mole	mol
发光强度 Luminous intensity	坎德拉 candela	cd		电荷 Charge	库伦 coulomb	C (A·s)

导出单位

- 电学中还会用到许多其他的导出单位
 - 这些单位是基础单位的乘除组合

物理量	Quantity	单位	Unit	符号	导出表达式
电荷	Electric charge	库仑	Coulomb	C	$A \cdot s$
电势	Electric potential	伏特	Volt	V	$W \cdot A^{-1}$
电阻	Resistance	欧姆	Ohm	Ω	$V \cdot A^{-1}$
电导	Conductance	西门子	Siemens	S	Ω^{-1}
电感	Inductance	亨利	Henry	H	$Wb \cdot A^{-1}$
电容	Capacitance	法拉第	Farad	F	$C \cdot V^{-1}$
频率	Frequency	赫兹	Hertz	Hz	s^{-1}
力	Force	牛顿	Newton	N	$kg \cdot m \cdot s^{-2}$
能量、功	Energy, Work	焦耳	Joule	J	$N \cdot m$
功率	Power	瓦特	Watt	W	$J \cdot s^{-1}$
磁通量	Magnetic flux	韦伯	Weber	Wb	$V \cdot s$
磁通量密度	Magnetic flux density	特斯拉	Tesla	T	$Wb \cdot m^{-2}$

国际单位制前缀

- 在基本单位前，常使用10的幂次方来表达数量级。

因子	前缀名称	前缀符号		因子	前缀名称	前缀符号
10^{18}	艾	E		10^{-1}	分	d
10^{15}	拍	P		10^{-2}	厘	c
10^{12}	太	T		10^{-3}	毫	m
10^9	吉	G		10^{-6}	微	μ
10^6	兆	M		10^{-9}	纳	n
10^3	千	k		10^{-12}	皮	p
10^2	百	h		10^{-15}	飞	f
10^1	十	da		10^{-18}	阿	a

- 有了数量级作为前缀，
 - 就可以用一个单位同时表达很大的量和很小的量。
- 数量级之间的转换： $6000000 \text{ mg} = 6000 \text{ g} = 6 \text{ kg}$

电荷

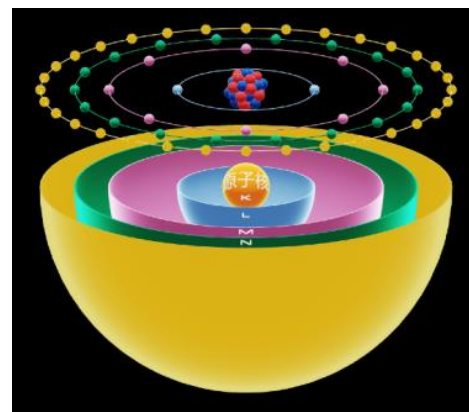
- 物质由原子构成。电荷是原子的一种电气特性，

- 电气特性：electrical property；
- 电荷的单位是库仑（C）。



- 关于电荷的进一步说明

- 单个电子携带 $1.62 \times 10^{-19} \text{ C}$ 的负电荷。
- 实际电荷只能是单个电子电量的整数倍。
 - 电子的盈余和缺失，导致带电特性。
- 库仑是一个非常大的单位。
 - 一个库仑对应 $6.24 \times 10^{+18}$ 个电子的电量；
 - 实际中，常用pC、nC、 μC 这样的单位。
- 电荷是守恒的：只能转移，不能被创造或消灭。
 - 一个系统中，电荷量的代数和是不变的。

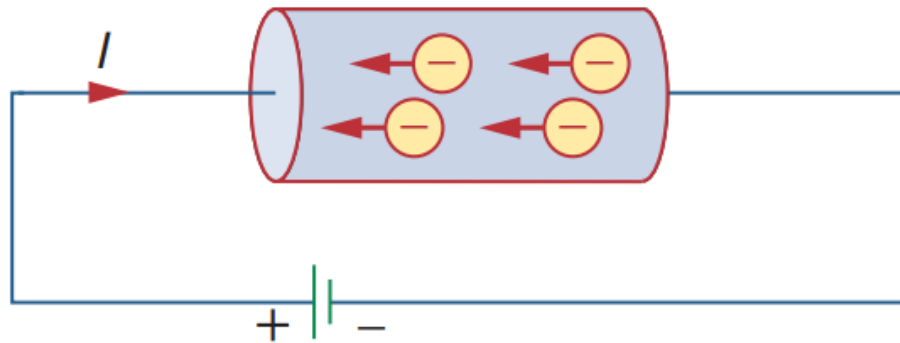


电荷例题

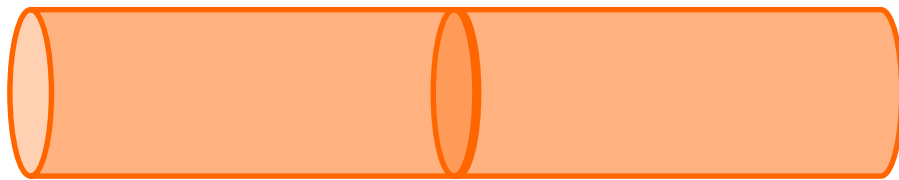
- 问：4600个电子带多少电荷量？
- 解答：
 - 首先，一个电子的电荷量为 $1.62 \times 10^{-19} \text{ C}$ ；
 - 代入计算 $1.62 \times 10^{-19} \times 4600 = 7.369 \times 10^{-16}$
 - 得到结果：4600个电子携带的电荷量为 $7.369 \times 10^{-16} \text{ C}$ ；
 - 注意：电子的电量为负，所以最终结果为 $-7.369 \times 10^{-16} \text{ C}$ 。

电流的定义

- 电荷在导体内流动，形成电流。



- 电流是单位时间内流过的电荷数量（微分）
 — 流过是指：穿过一个截面

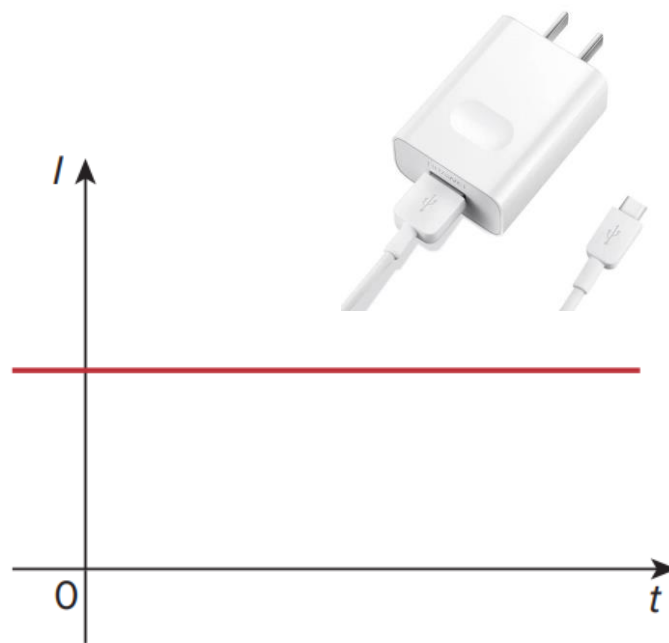
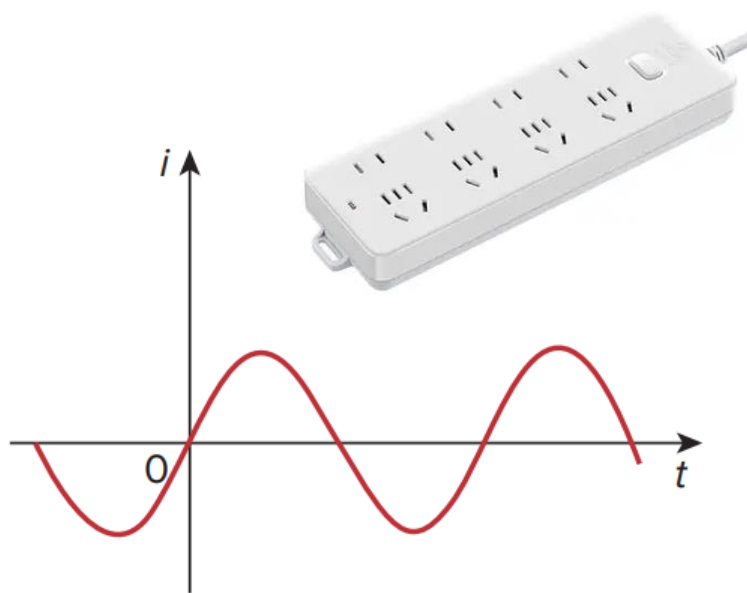


$$i = \frac{\Delta q}{\Delta t} \Rightarrow i = \frac{dq}{dt}$$

- 一段时间内流过的电荷数量（积分）： $Q = \int_{t_1}^{t_2} i dt$

电流的波形

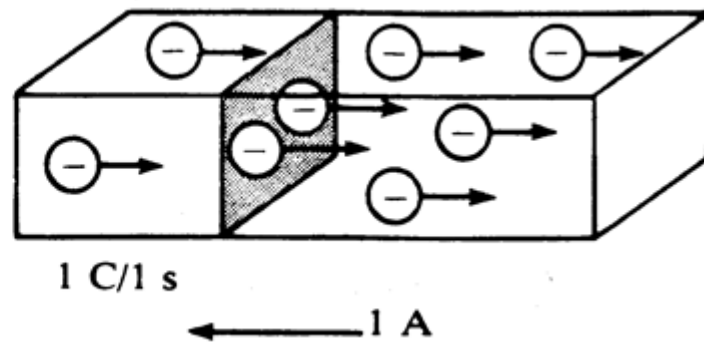
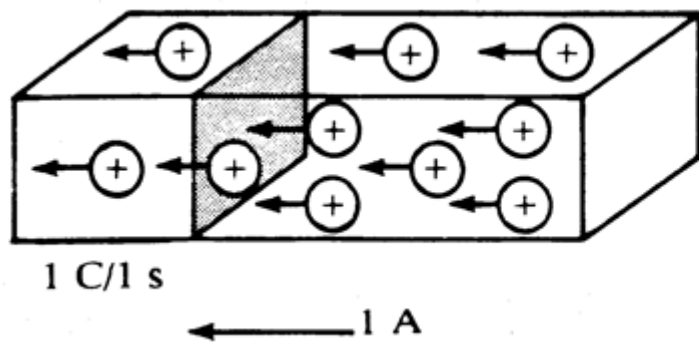
- 直流电流（Direct Current, DC）：
 - 只在一个方向上流动并且是恒定的或者随时间变化的。
- 交流电流（Alternating Current, AC）：
 - 随时间改变方向的电流。



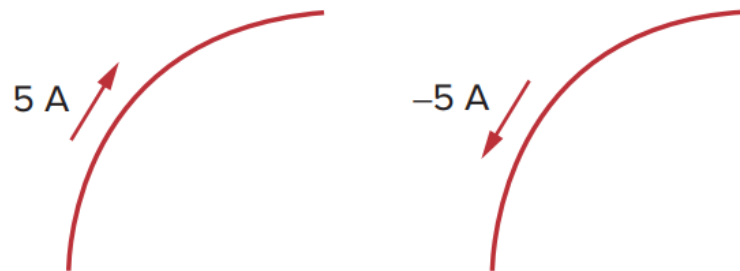
- 手机充电器提供直流电；市电插座提供交流电。

电流的方向

- 电流由电荷的运动产生
 - 正电荷运动的方向为电流的正方向；
 - 负电荷运动的方向为电流的负方向。

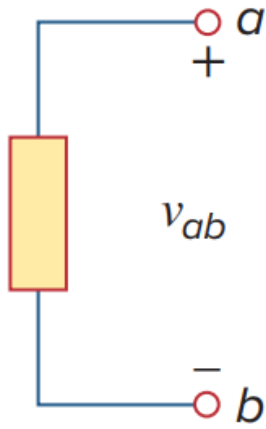


- 在电路分析中，常设定电流的“参考方向”
 - 电流的方向由“参考”方向和电流值符号共同决定。
 - 左图参考方向右上，符号正；
 - 右图参考方向左下，符号负；
 - 两图电流的实际方向都是右上。



电压

- 电压是一种推动电荷运动的势差。它的定义是：电力将单位电荷从一个位置（正极）推动到另一个位置（负极）所需要的能量（或者说，所做的功）。



$$V_{ab} = \frac{\Delta W_{a \rightarrow b}}{\Delta q} \Rightarrow V_{ab} = \frac{dW_{a \rightarrow b}}{dq}$$

V_{ab} : 节点 a 相对节点 b 的电压;
 $W_{a \rightarrow b}$: 从节点 a 移动到节点 b 所花的能量;
 q : 电荷量。

- 电压的单位是伏特 (V)。能量的单位是焦耳 (J)。两者之间的关系为：

$$\text{Volt} = \frac{\text{Joule}}{\text{Coulomb}}$$

电压的相对性

- 电压是一个位置（正）相对另一位置（负）的特性。
- 一个位置对应的是“势”，两个位置才有“势差”。
- 有时也把 **电压** 叫做 **电势差** 或 **电压降**。

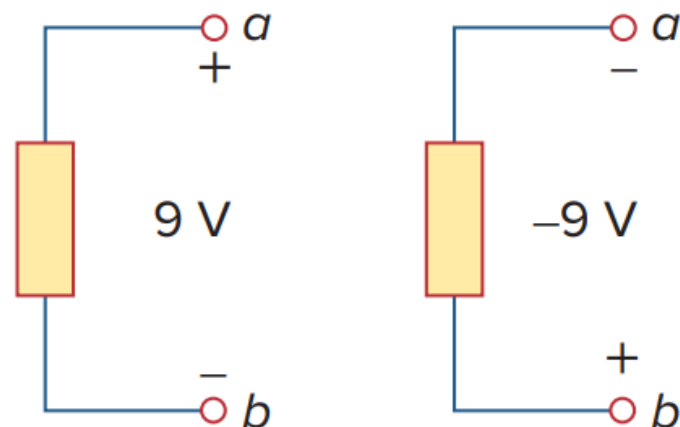
- 交换两个位置，电压将由正变负（或相反） $V_{ab} = -V_{ba}$

— 参考位置a，观察位置b；

- $V_{ab} = V_a - V_b$

— 参考位置b，观察位置a；

- $V_{ba} = V_b - V_a$



- 电压也由直流电压和交流电压之分。

功率

- 功率是电路的一个重要指标。它指：消耗或者吸收能量的时间变化率，单位是瓦特。

$$P = \frac{\Delta W}{\Delta t} \Rightarrow P = \frac{dW}{dt}$$

- 功率与电压电流的关系

$$P = \frac{dW}{dt} = \frac{dW}{dq} \times \frac{dq}{dt} = v \times i$$

- 由此可见，功率是电压和电流的乘积。增大电压或者增大电流都能增大功率。

5G芯片功耗性能评测	
芯片	功耗性能评价
华为麒麟9000	★★★★★
联发科技天玑1000+	★★★★☆
高通骁龙865+X55	★★★★
三星Exynos980	★★★

功率的正负

- 计算功率时，首先要规定电压和电流的“方向”。

- 先给定电压的正负极；

- 从正极流入的电流为正；

- 满足关联参考方向，
 - 电荷顺势而下，电能减少（消耗）。

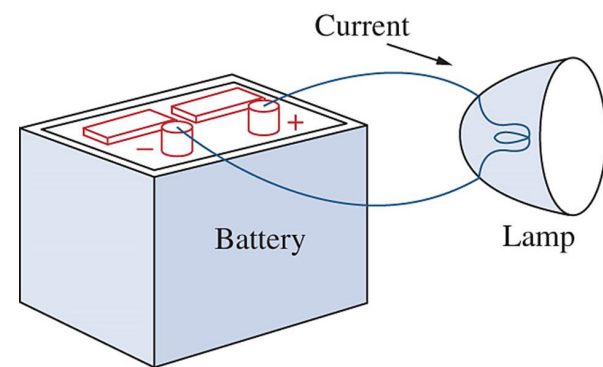
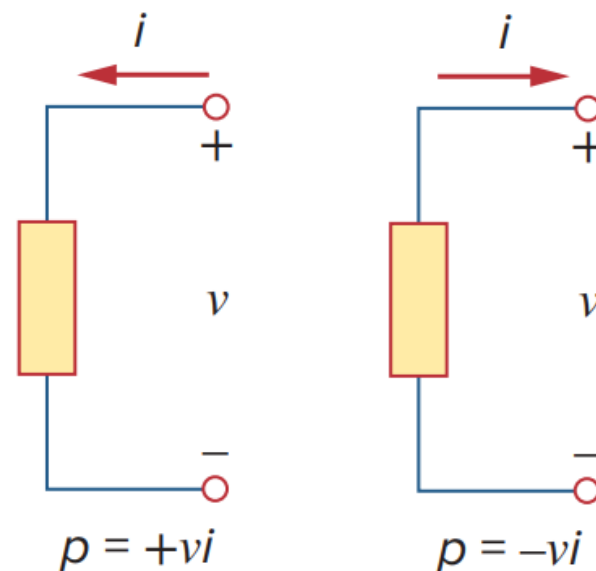
$$P = v \times i$$

- 从正极流出的电流为负。

- 与关联参考方向相反，
 - 电荷逆势而上，电能增长（产生）。

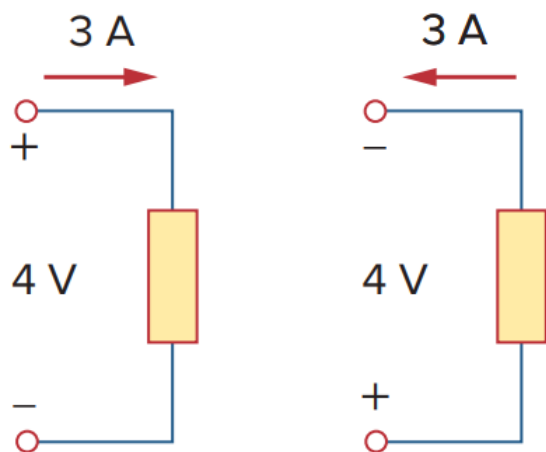
$$P = v \times (-i) = -v \times i$$

- 电灯的功率为正，电池的功率为负。



功率的计算

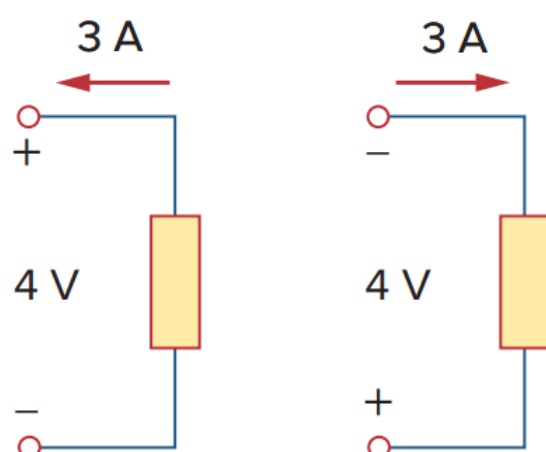
- 下面给出计算功率的例子。
 - 左边这个例子对应功率都是正的情况。
 - 右边这个例子对应功率都是负的情况。



(a)

(b)

$$P = 4 \times 3 = 12 \text{ (W)}$$



(a)

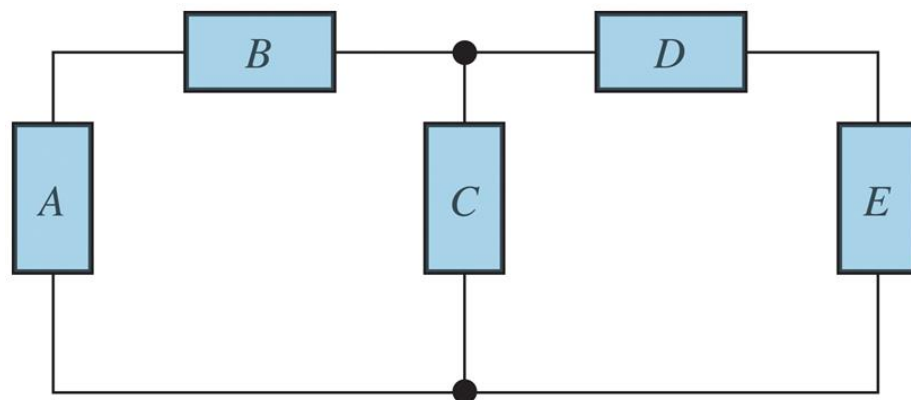
(b)

$$P = -4 \times 3 = -12 \text{ (W)}$$

- 对于一段路径，或者两极元件，电流从正极进入，就肯定从负极出来。

能量守恒

- 一个电路通常由多个元件组成。每个元件都产生功率。某些元件消耗的电能量，另一些元件产生电能量。作为一个独立系统，总电能量应该守恒。



$$P = \sum_k P_k = 0$$

具有多个元件的独立电路，这些元件的功率的代数和为0。

- 功率的积累就是功，表示电能的变化。

$$W = \int_{t_0}^t P dt = \int_{t_0}^t v i dt$$

$$\frac{dW}{dt} = \sum_k \frac{dW_k}{dt} = 0$$

例题

- 问：某电源使得 **2 A** 的恒定电流流过灯泡 **10 s**，如果灯泡以光能和热能的形式消耗的能量为 **2.3 kJ**，计算灯泡两端的电压降。
- 解答：
 - 灯泡发光和发热，这个光能和热能都来自电能。
 - 由题目知道，所耗电能为 2.3 kJ，有

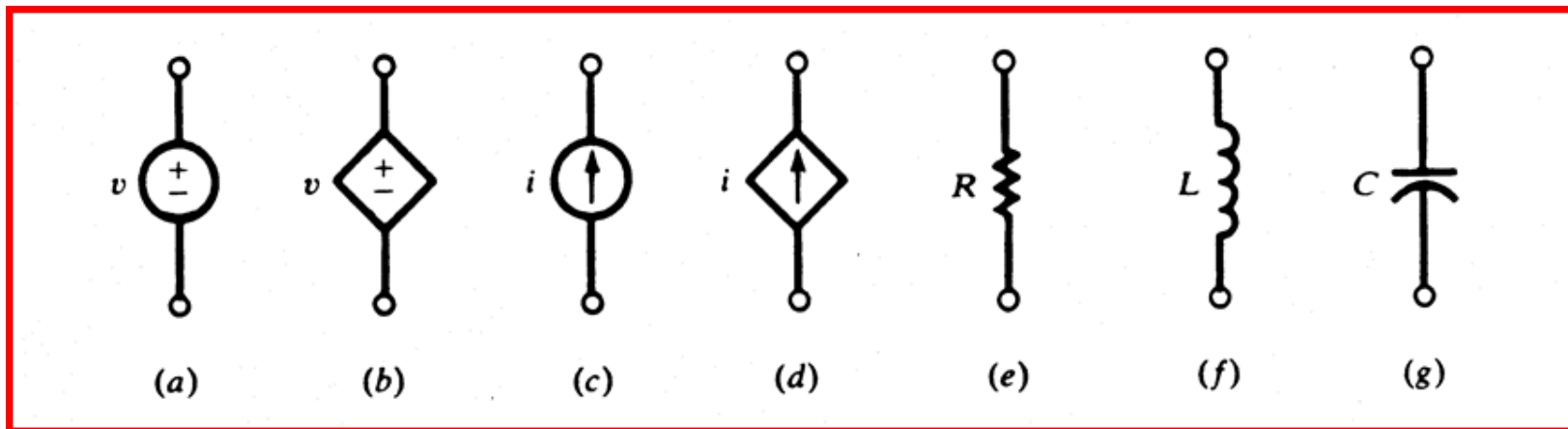
$$W = v \times i \times t = 2.3 \times 1000$$

- 代入推导 $W = v \times 2 \times 10 = 2300$

- 算出电压 $v = 115 \text{ (V)}$

电路元件

- 电路元件是电路的基本组成部分。电路就是由若干元件相互连接而成的总体。



- 电路的元件有两种：有源元件和无源元件。

有源元件

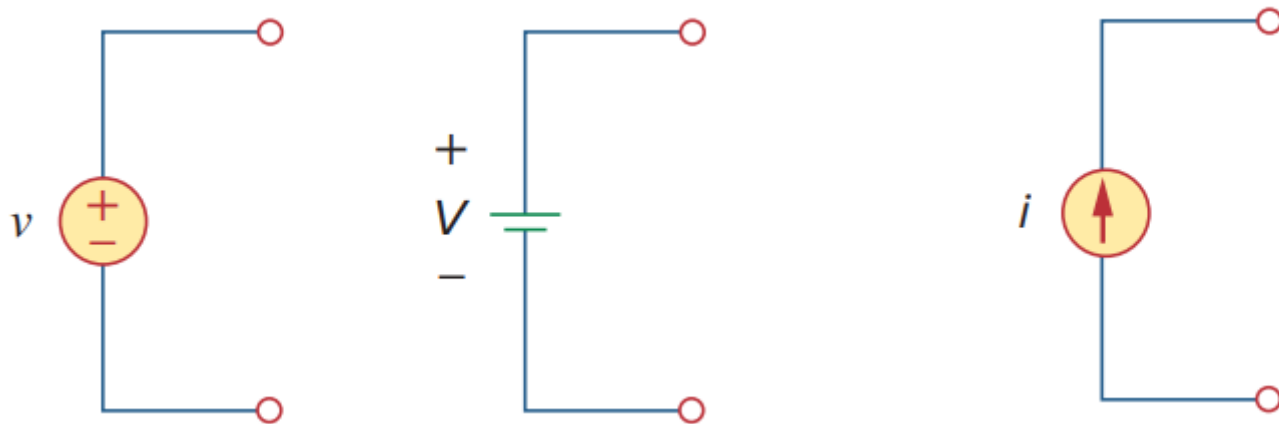
- 能够产生能量的元件；
- 发电机、电池、运算放大器、等。

无源元件

- 不能够产生能量的元件；
- 电阻、电感、电容、等。

理想独立源

- 理想独立源是指能够提供与其他电路元件完全无关的特定电压或电流的有源元件。



- 常见的独立源如上所示。
 - 左边第一个是：独立的电压源，恒压或者时变电压；
 - 左边第二个是：独立的电压源，恒压；
 - 右边第这个是：独立的电流源。
- 注意：独立源的电压或电流不受外接元件影响。

理想非独立源

- 理想的非独立源，即受控源，是指其所提供的电压或电流受到其他电压或电流控制的有源元件。

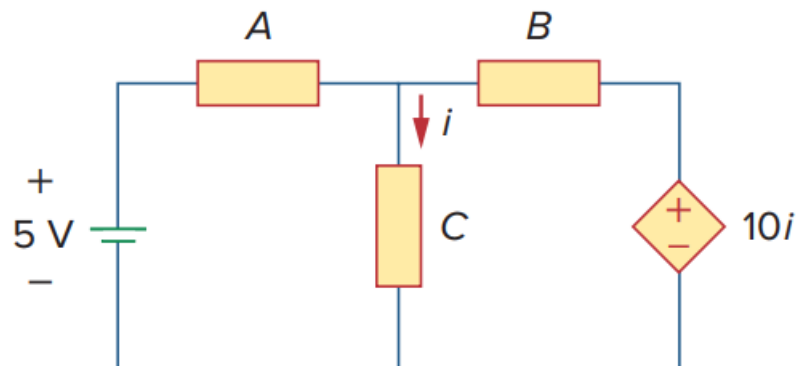
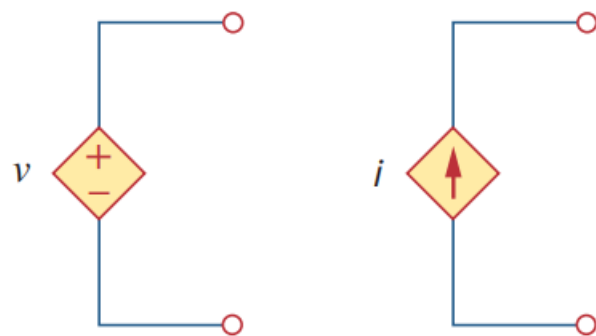
- 通常有四种受控源

— 电压控制电压源

— 电流控制电压源

— 电压控制电流源

— 电流控制电流源



- 受控源经常用菱形表示，旁边标注源的表达式。

例题

- 问：计算下图中各个元件的功率。

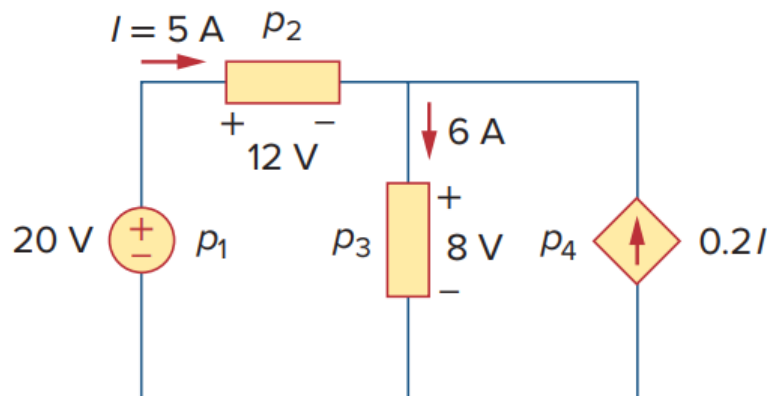
- 解答：

$$P_2 = 12 \times 5$$

$$P_2 = 60 \text{ (W)}$$

$$P_1 = -20 \times 5$$

$$P_1 = -100 \text{ (W)}$$



$$P_4 = -8 \times 0.2 \times 5$$

$$P_4 = -8 \times 1$$

$$P_4 = -8 \text{ (W)}$$

$$P_3 = 8 \times 6$$

$$P_3 = 48 \text{ (W)}$$

能量守恒

$$P_1 + P_2 + P_3 + P_4 = 0$$

作业

- 画出本章的思维导图
- 1.18
- 1.20
- 1.23
- 1.36
- 自学：微积分初步