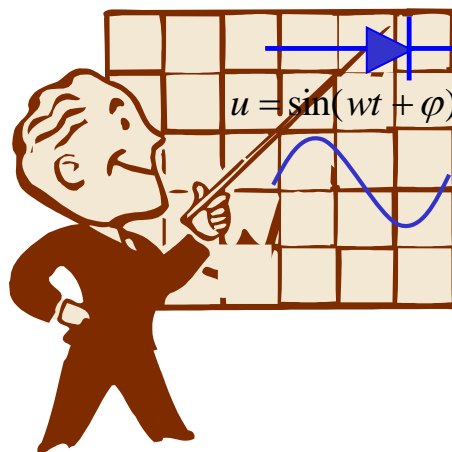




# 第一章 电路基本概念及基本定律



## Foreword





# What?

- |  |   |     |
|--|---|-----|
| <b>1. Fundaments of Circuit Analysis</b> |  | 35% |
| <b>2. Analogue Circuit Analysis</b>      |  | 25% |
| <b>3. Digital Logic Circuit Analysis</b> |  | 40% |

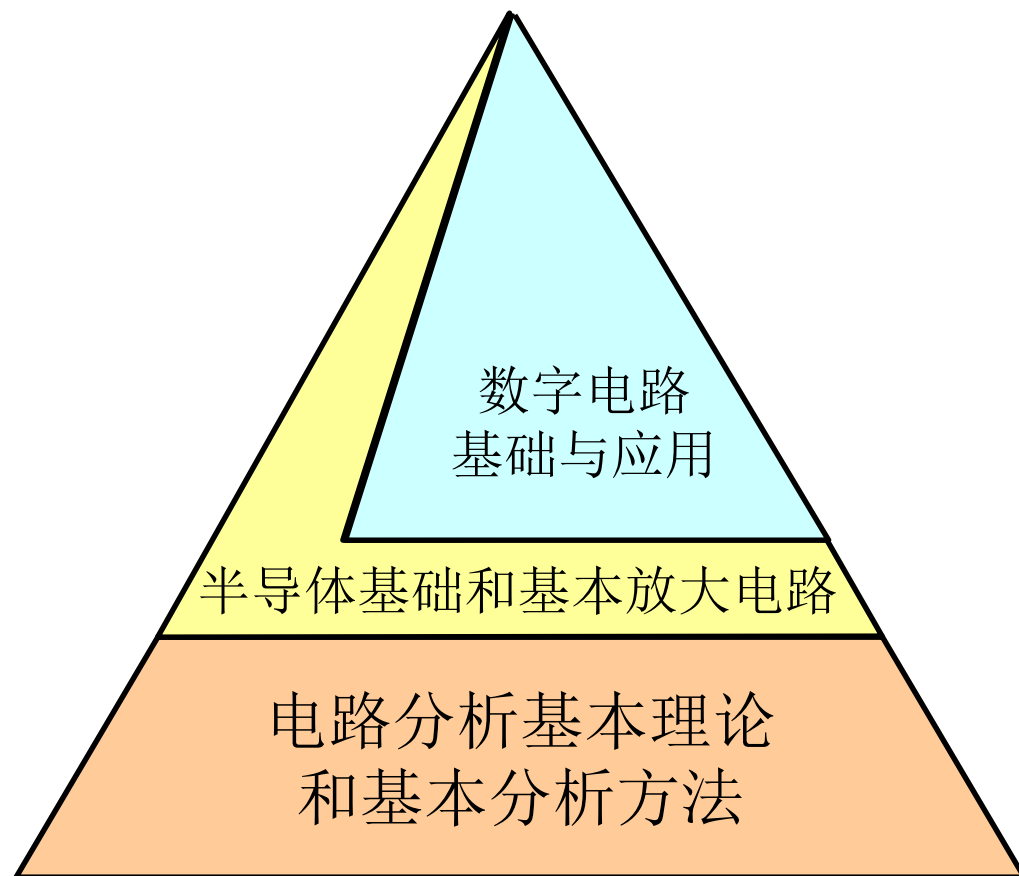
这三部分是相互关联的，第一部分是分析电路的基本知识和基础理论，只有在掌握了第一部分内容的基础上，才能学好第二部分内容。第二部分的半导体器件又是学习数字电路的基础，由于现在数字电路使用越来越多，因此数字电路部分讲授时间较多，因此，学习过程中，一定要学好每一部分内容，否则，会影响到后面的学习。





# 第一章 电路基本概念及基本定律

## 电路与电子技术基础





# why?

All of us face the challenging task of keeping pace with the latest advances. The **basic knowledge** plays a direct role in the creation of most of modern technology.

所以，我们要学习**最现代**的技术，必须掌握**最基本**的知识，否则的话，我们很难掌握最先进的技术。特别是现今社会，我们无时无刻地与电打交道，如果不掌握有关电路和器件的特性。我们根本无法很好的应用它，也无法开发出更多适合我们要求的新装置。随着计算机技术飞速发展，电子技术的应用越来越广泛，而这方面的人才越来越缺乏。





# 第一章 电路基本概念及基本定律

## 第一章 电路的基本概念及基本定律

### 第一节 电路模型

### 第二节 电路分析的基本变量

#### 1.2.1 电流

#### 1.2.2 电压

#### 1.2.3 能量和功率

### 第三节 基尔霍夫定律

### 第四节 电路元件

#### 1.3.1 电阻元件

#### 1.3.2 独立电源

#### 1.3.3 动态电路元件

#### 1.3.4 四端电路元件





## 第一节 电路模型

**第一：**实际电路种类繁多、连接五花八门，在进行电路分析、计算时，要将实际的电路部件加以近似化、理想化——“**电路模型**”的概念。

### ☞注意

(1) 在一定的条件下，不同器件可具有同一种模型。如：电阻、白炽灯、电炉等

(2) 同一器件，在不同的应用条件下，往往采用不同形式的电路模型。如电感线圈等。

**第二：**我们所研究的电路元件是**集中参数**元件；所研究的电路是集中参数电路。

具体是指：所研究的电路元件或电路的几何尺寸与其工作波形的波长相比较可忽略不计。例如：对于音频电路，其最高频率为25kHz，对应的波长 $\lambda = (3 \times 10^8) / (25 \times 10^3) = 12\text{km}$ ；由于目前计算机的工作频率已高于1000M，此时的波长为 $\lambda = (3 \times 10^8) / (1 \times 10^9) = 0.3\text{m}$ ，用集中参数电路来描述就难于准确表达；至于微波电路， $\lambda$ 一般介于10cm和1mm，完全不可以用集中参数电路来描述。





## 第二节 电路分析的基本变量

电子和质子都是带电粒子，电子带负电荷，质子带正电荷。电荷的有规则移动形成**电流**（*current*）。

$$i(t) = \frac{dq(t)}{dt}$$

$$u(t) = \frac{dw(t)}{dq(t)}$$

电荷在电路中的一些部分（电源处）获的电能，而在另一些部分（如电阻处）失去电能。为了计量电荷的到或失去能量的大小，我们引入**电压**（*voltage*）。

我们既要为通过元件的电流**指定参考方向**，也要为该元件两端的电压指定参考方向，彼此是完全独立的。但为了方便起见，我们常采用关联的（*associated*）参考方向：**即电流的参考方向与电压的参考方向的“+”极到：“-”极的方向一致**，换句话说，电流与电压的参考方向一致



# 第一章 电路基本概念及基本定律

单位时间内消耗的电能即为电功率

$$p(t) = \frac{dw(t)}{dt} \quad \longrightarrow \quad p(t) = \frac{dw(t)}{dt} = u(t) \frac{dq(t)}{dt} \quad \searrow$$

注意：若为非关联参考方向，其前应加一负号  $p(t) = u(t)i(t)$

综合以上两种情况，将元件吸收功率的计算公式统一表示为

$$p = \pm ui$$

当 $p > 0$ 时，表示在 $dt$ 时间内电场力对电荷 $dq$ 做功 $dw$ ，这部分能量被元件吸收，所以 $p$ 是元件的吸收功率；在 $p < 0$ 时，表示元件吸收负功率，换句话说，就是元件向外部电路提供功率。





### 第三节 基尔霍夫定律

#### 1.几个概念

支路(branch)—每个二端元件构成一条支路或若干元件串联、具有两个端点组成的电路；

节点(node)—两条或两条以上支路的联接点；

回路(loop)—电路中任一闭合路径

网孔(mesh)—回路内不含有支路的回路

网络(network)—网络是指含有较多元件的电路，本课程中网络与电路指相同概念

#### 2.两个定理

$$(1) \sum I = 0 \quad (\text{对于任一节点而言})$$

$$(2) \sum U = 0 \quad (\text{对于任一闭合回路而言})$$





## 第四节 电路元件

## 一、耗能元件--电阻元件

电阻元件是一种对电流呈现阻力（**消耗能量**）的元件，有阻碍电流流动的本性，电流要流过电阻就必然要消耗能量。因此，沿电流流动方向必然会出现电压降。常见的电阻元件有：电阻器、白炽灯、电炉等。如果电阻元件的电阻为 $R$ ，则电阻元件电压与通过其中电流的关系应为：

$$U=RI$$

式中 $R$ 为电阻，单位为欧姆（ $\Omega$ ）； $I$ 为流过该电阻的电流，单位为安培（A）； $U$ 为该电阻元件两端的电压，单位为伏特（V）。这就是大家所熟知的欧姆定律（*Ohm's law*）。它表明了电阻元件的特性，即：电流流过电阻，就会沿着电流的方向出现电压降，其值为电流与电压的乘积。



# 第一章 电路基本概念及基本定律

注意：

1. 由于电流和电压降的真实方向总是一致的，因此，只有在关联的参考方向的前提下才可以使用上式。如果电压降与电流的参考方向相反，则欧姆定律应写为：

$$U = -RI$$

2. 电阻元件是一种“无记忆”（*memoryless*）元件  
电阻元件也常用另一种形式描述，即电导。单位是西门子。

$$G = \frac{1}{R} \longrightarrow U = \frac{I}{G}$$

电阻的分类：

线性定常电阻  
线性时变电阻  
非线性电阻





## 二、供能元件—独立电源

电源可分为独立 (*independent*) 电源和非独立 (*dependent*)。独立电源的电压或电流是一定的时间函数。而非独立电源的电压或电流却是电路中其他部分的电压或电流的函数, 因此, 又称作受控源 (*controlled source*), 意思是它的电压或电流受其他电压或电流的控制。

### 电压源

在纯电阻电路中有电流流动时, 就会不断地消耗能量, 电路中必须要有能量的来源—电源不断提供能量才行。没有电源, 在一个纯电阻电路中是不可能存在电流和电压的。

如果一个二端元件接到任一电路后, 该元件的两端能保持规定的电压  $u_s(t)$ , 则此二端元件就称为理想电压源 (*ideal voltage source*)

与电阻元件不同, 理想电压源的电压与电流并无一定关系。它有两个基本性质: ①它的端电压是**定值**或是一定的**时间函数**  $u_s(t)$ , 与流过的电流无关; ②流过它的**电流**不是由电压源本身就能确定的, 而是由与之相联接的外部电路来决定的。



# 第一章 电路基本概念及基本定律

实际的电压源不可能是提供恒定或幅值一定的时间函数的电压，随着外不负载增加，输出电流增加，必然导致向外部输出电压减小，所以用理想的电压源串联一电阻来代表实际电压源，输出电压可表示为

$$U = U_S - U_{R_S} = U_S - R_S I$$

## 电流源

人们比较熟悉电压源，对于电流源（*current source*）则较为生疏。光电池是一个电流源的例子，在具有一定照度的光线照射下，光电池将被激发产生一定值的电流，这个电流与照度成正比，换句话说，光照度不变，则电流值不变。如果一个二端元件接到任一电路后，由该元件流入电路的电流能保持规定值 $i_s(t)$ ，则此二端元件成为理想电流源。它具有两个基本性质：①它的电流是**定值**，或是一定的**时间函数** $i_s(t)$ ，与端电压无关；②它的**端电压**不是由电流源本身就能确定的，而是由与之相联接的外电路来决定的。

与电压源类似，实际的电流源电流可表示为

$$I = I_s - \frac{U}{R_s}$$



# 第一章 电路基本概念及基本定律

**电源模型的等效互换**（仅适合**实际电源**，理想电源不可以进行互换，思考为什么？）

对于一个实际电源我们没有必要先确定它是电压源还是电流源，采用那种模型都行，因为对外电路来说两种模型是可以互换的。

$$U = U_s - R_s I$$

$$I = \frac{U_s - U}{R_s} = \frac{U_s}{R_s} - \frac{U}{R_s}$$

$$I = I_s - \frac{U}{R'_s}$$

$$U = R'_s I_s - R'_s I$$

$$\frac{U_s}{R_s} = I_s$$

$$R_s = R'_s$$

$$I = \frac{U_s}{R_s} - \frac{U}{R_s} = I_s - \frac{U}{R'_s}$$

$$U = U_s - R_s I = R_s I_s - R_s I = R'_s I_s - R'_s I$$





### 三、储能元件--动态元件

动态元件电压与电流关系不是简单的线性方程，而要用微分方程描述。为什么研究动态元件？

- 1.在实际电路中有意接入动态元件，以实现某一特定功能；
- 2.在信号变化较快的场合，实际的部件不能用纯电阻元件来描述。

#### 电容元件

电荷依靠电场力的作用聚集在极板上，所以电容是将能量储存在电场中。在任一时刻，板极上所聚集的电量取决于同一瞬间电容元件两端的电压。即 $q \propto u$ ，其比例常数 $C$ 叫做电容。

$$q(t) = Cu(t)$$

$$i(t) = \frac{dq(t)}{dt} = \frac{d[Cu(t)]}{dt} = C \frac{du(t)}{dt}$$







## 第一章 电路基本概念及基本定律

由上可知，流过电容的电流仅取决于该时刻的电压变化率，而于该时刻电压大小和电压的历史无关。特别要注意的是，通过电容的**电流只能为有限值→电压变化率为有限值→电压不可能发生跳变。特别是当电容两端电压无变化时，电流为0，但电压不一定为0。**

电容的单位是法拉。常用的有 $\mu F$ 、 $pF$ 。使用中还应注意额定电压，电压过高就会击穿介质。

### 电容元件的串并联

**并联：各电容电压相同，总电流等于各电流之和**

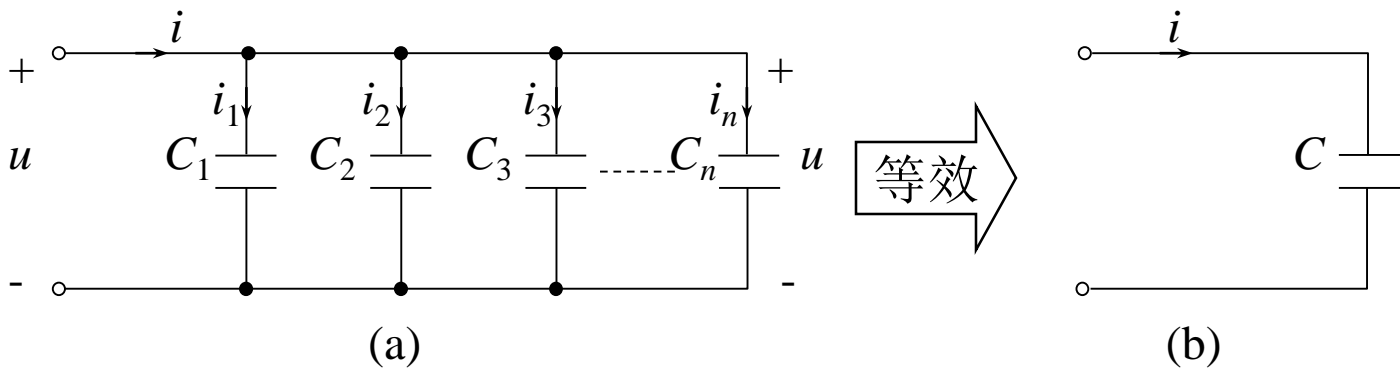
$$i=i_1+i_2+i_3+\dots+i_n$$

$$i_k = C_k \frac{du}{dt} \quad k=1,2,3\cdots n$$





# 第一章 电路基本概念及基本定律



电容的并联

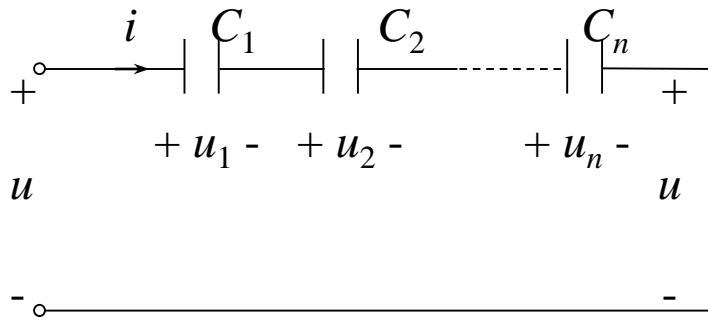
$$i = i_1 + i_2 + i_3 + \cdots + i_n = \left( \sum_{k=1}^n C_k \right) \frac{du}{dt} = C \frac{du}{dt} \quad \Rightarrow \quad C = \sum_{k=1}^n C_k$$



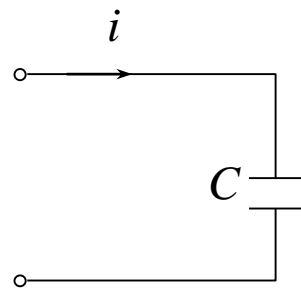
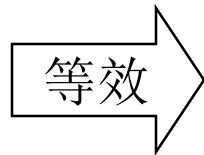
# 第一章 电路基本概念及基本定律

串联：各电容电流相同，总电压等于各电压之和

$$u = u_1 + u_2 + u_3 + \dots + u_n \quad u_k = \frac{1}{C_k} \int_{-\infty}^t i d\tau \quad k = 1, 2, 3, \dots, n$$



(a)



(b)

电容的串联

$$u = u_1 + u_2 + u_3 + \dots + u_n = \left( \sum_{k=1}^n \frac{1}{C_k} \right) \int_{-\infty}^t i d\tau = \frac{1}{C} \int_{-\infty}^t i d\tau \quad \Rightarrow \quad \frac{1}{C} = \sum_{k=1}^n \frac{1}{C_k}$$



## 电感元件

导线中有电流流过时，在导体周围产生磁场，将导线绕成线圈就构成一个磁场，这个线圈就是电感器，电感器是可以将能量存储在磁场中的器件。

线圈中有电流流过→产生磁通 $\Phi$ → $\Phi$ 与 $N$ 匝线圈相交链的磁链为

$$\Psi = N\Phi$$

当线圈周围为非铁磁物质，则 $\Psi \propto i$ ，其比例常数就是电感 $L$ 。即

$$\Psi = Li$$

根据电磁感应定理，感应电压等于磁链的变化率，即

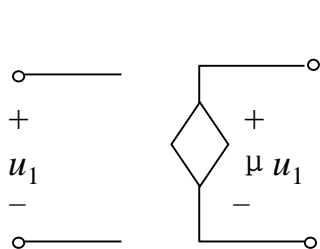
$$u = \frac{d\Psi}{dt} = \frac{d[Li(t)]}{dt} = L \frac{di(t)}{dt}$$

由上可知，电感两端的感应电压仅取决于该时刻流过电感的电流变化率，而于该时刻电流或电流的历史无关。特别要注意的是，通过电感的电压只能为有限值→电流变化率为有限值→电流不可能发生跳变。特别是当电流无变化时， $u=0$ ，但电流不一定为0。

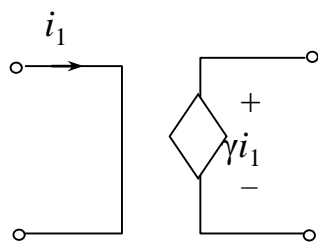
电感元件的串并联（同学自己证明）



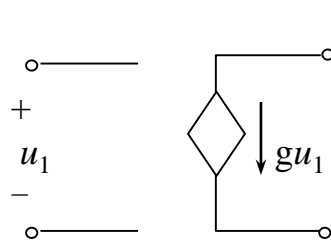
#### 四、控能元件--四端电路元件



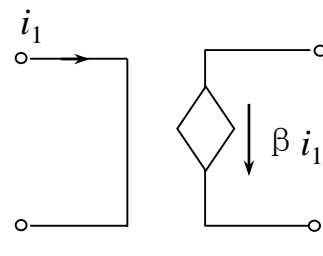
(VCVS,  $\mu$  称为  
电压放大系数



(b) CCVS,  $\gamma$  称为  
转移电阻



(c) VCCS,  $g$  称为  
转移电导



(d) CCCS,  $\beta$  称为  
电流放大系数

理想受控源的电路图符号

在分析含有受控源的电路时，可以将受受控源看作为独立电源进行等效变换，仅仅（特别）注意的一点是：在简化过程中不要把控制量消除掉。

