



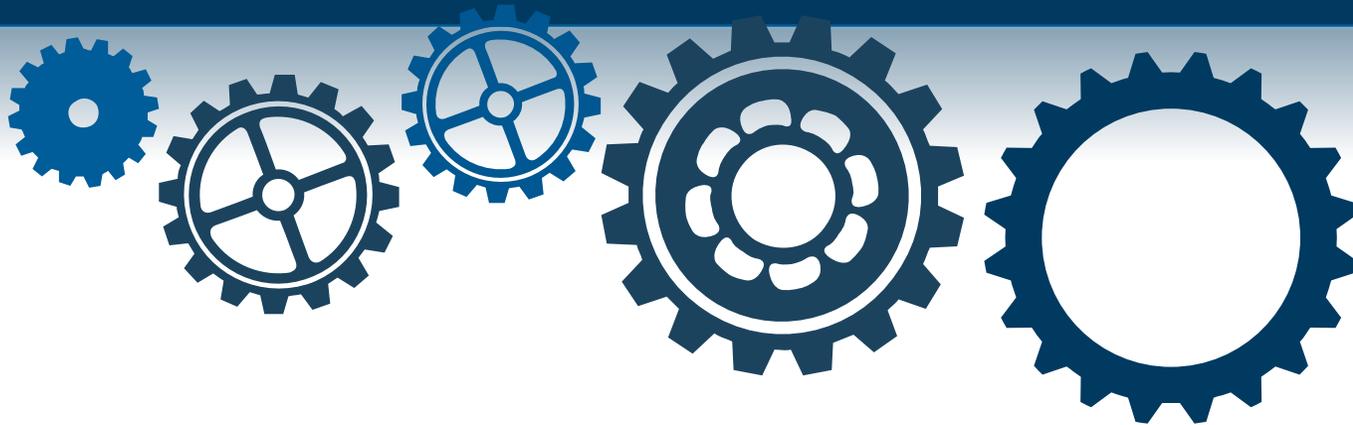
# 电工电子技术

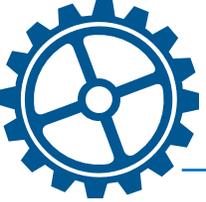


# 第2章



## 线性电路分析的基本方法





# 第2章 线性电路分析的基本方法

## 学习目标

1. 掌握电路及其等效变换。
2. 掌握电阻的等效变换。
3. 掌握电压源、电流源的等效电路及其等效变换。
4. 能够使用支路电流法计算电路参数。
5. 能够使用节点电压法计算电路参数。
6. 理解叠加原理。
7. 能够使用戴维南定理计算电路参数。

## 育人目标

了解我国电力发展史，学习榜样人物无私奉献的精神，树立为祖国强盛发奋学习的坚定信念。

The slide features several blue gear icons of various sizes and designs. One gear with a central circle is at the top center. To its right is a smaller gear. Below the title bar, there are four gears: a small one on the left, a medium one with a central hub, a large one with a central hub, and a medium one on the right. The title '2.1 电路等效变换的基本概念' is centered in a dark grey rounded rectangle.

## 2.1 电路等效变换的基本概念



## 2.1 电路等效变换的基本概念

### 2.1.1 单口网络

#### 1. 单口网络的定义

单口网络又称一端口网络或二端网络，是指向外引出两个端钮，且从一端流入的电流等于从另一端流出的电流的任意复杂电路。

#### 2. 单口网络的种类

根据单口网络内部是否包含独立电源，可以将单口网络分为无源单口网络(用N表示)和有源单口网络(用P表示)，如图2-1所示。

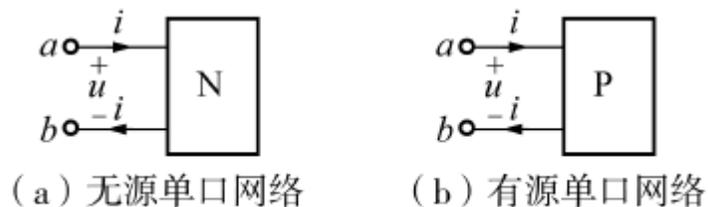
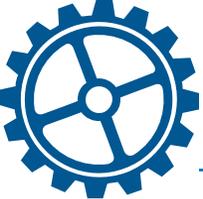


图 2-1 单口网络



## 2.1 电路等效变换的基本概念

### 2.1.2 电路的等效变换

#### 1. 定义

对于两个单口网络A和B，如果它们对外表现出相同的伏安特性，即 $u_A=f(i_A)$ 与 $u_B=f(i_B)$ 相同，则对外部而言，单口网络A与单口网络B互为等效，如图2-2所示为其等效变换。

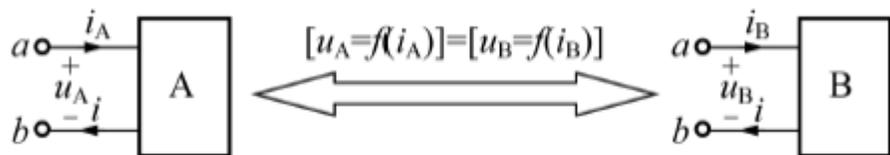
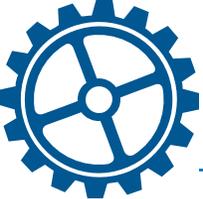


图 2-2 等效变换

互相等效的两部分电路A与B在电路中可以相互代换，代换前的电路和代换后的电路对任意外电路的电流、电压和功率而言都是等效的。



## 2.1 电路等效变换的基本概念

---

### 2. 结论

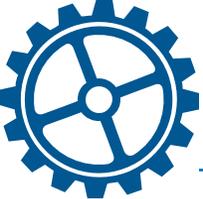
(1) **电路等效变换的条件**：两电路具有相同的端口伏安特性。

(2) **电路等效变换的对象**：对外具有相同的电压、电流和功率的两电路。即电路的等效是对外部而言的，两个对外互为等效的电路，它们内部并不一定等效。

(3) **电路等效变换的目的**：化简电路，方便计算。通过电路的等效变换，将复杂电路等效成另一简单电路，可以更容易求取分析结果。

The slide features several blue gear icons of various sizes and designs scattered around the central text. There are two gears at the top, one large gear with a central hub and four spokes on the left, and one large gear with a central hub and four spokes on the right. Below the text, there are two more gears: one small gear on the left and one large gear with a central hub and four spokes on the right. The text "2. 2电阻的等效变换" is centered in a dark blue rounded rectangle.

## 2. 2电阻的等效变换



## 2.2 电阻的等效变换

电阻的等效变换包括：

- (1) 将若干个串联的电阻等效变换成一个电阻(该电阻称为这若干个串联电阻的等效电阻)。
- (2) 将若干个并联的电阻等效变换成一个电阻。
- (3) 将若干个混联的电阻等效变换成一个电阻。

### 2.2.1 电阻的串联等效变换

图2-3所示为电阻的串联等效变换。

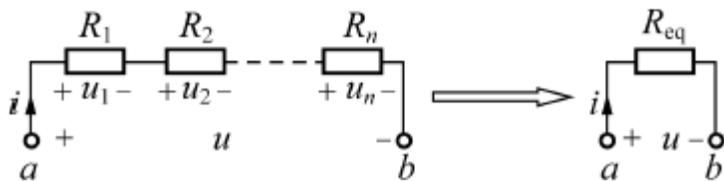


图 2-3 电阻的串联等效变换



## 2. 2电阻的等效变换

根据KCL可知，各电阻中流过的电流相同；根据KVL可知，电路的总电压等于各串联电阻的电压之和。即

(1) 等效电阻

$$u = \sum_{k=1}^n u_k = R_1 i + R_2 i + \cdots + R_n i = \left( \sum_{k=1}^n R_k \right) \cdot i$$

(2) 电压分配

$$R_{\text{eq}} = \frac{u}{i} = \sum_{k=1}^n R_k$$

阻值越大，分得的电压越大。

(3) 功率分配

$$u_k = \frac{R_k}{R_{\text{eq}}} u$$

$$p_k = R_k i^2 = \frac{R_k}{R_{\text{eq}}} p$$

阻值越大，分得的功率越大。



## 2.2 电阻的等效变换

### 2.2.2 电阻的并联等效变换

图2-4所示为电阻的并联等效变换。

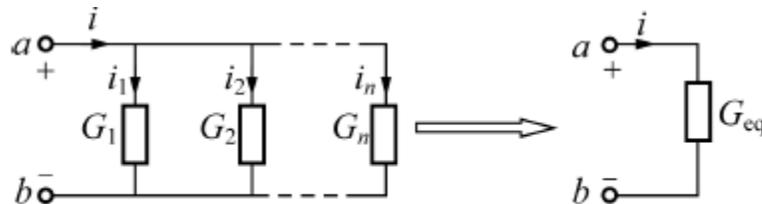


图 2-4 电阻的并联等效变换

根据KVL可知，各电阻两端为同一电压；根据KCL可知，电路的总电流等于流过各并联电阻的电流之和。

即

$$i = \sum_{k=1}^n i_k = \frac{u}{R_1} + \frac{u}{R_2} + \cdots + \frac{u}{R_n} = \left( \sum_{k=1}^n \frac{1}{R_k} \right) \cdot u = \left( \sum_{k=1}^n G_k \right) \cdot u$$

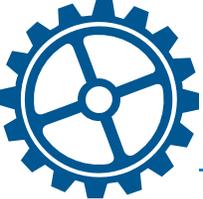
(1) 等效电导

$$G_{\text{eq}} = \frac{1}{R_{\text{eg}}} = \frac{1}{\frac{u}{i}} = \sum_{k=1}^n G_k$$

阻值越大，电导越小。

(2) 电流分配

$$i_k = \frac{u}{R_k} = uG_k$$



## 2.2 电阻的等效变换

阻值越大(电导越小)，分得的电流越小。

(3) 功率分配

$$P_k = \frac{u^2}{R_k} = u^2 G_k = \frac{G_k}{G_{eq}} p$$

阻值越大(电导越小)，分得的功率越小。

### 2.2.3 电阻的混联

既有电阻串联又有电阻并联的电阻电路称为电阻混联电路。

将电阻混联电路等效变换成一个电阻的方法是，改画原电路以清晰地体现电阻之间的串联与并联，然后化简局部串联电阻和并联电阻直到得到一个等效电阻为止。

求解串、并联电路的一般步骤如下。

- (1) 求出等效电阻或等效电导。
- (2) 应用欧姆定律求出总电压或总电流。
- (3) 应用欧姆定律或分压、分流公式求各电阻上的电流和电压。

因此，分析串、并联电路的关键问题是判别电路串、并联关系。



## 2. 2电阻的等效变换

---

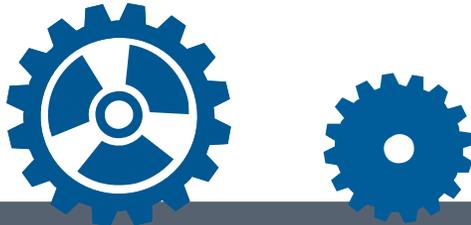
判别电路串、并联关系的基本方法如下。

(1) **看电路的结构特点**。若两电阻是首尾相连，则是串联；若是首首尾尾相连，则是并联。

(2) **看电压、电流关系**。若流经两电阻的电流是同一个电流，那就是串联；若两电阻上承受的是同一个电压，那就是并联。

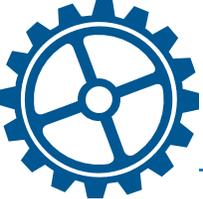
(3) **对电路作变形等效**。如左边的支路可以扭到右边，上面的支路可以翻到下面，弯曲的支路可以拉直等；对电路中的短线路可以任意压缩与拉长；对多点接地可以用短接线相连。

(4) **找出等电位点**。对于具有对称特点的电路，若能判断某两点是等电位点，则根据电路等效的概念，一是可以用短接线把等电位点连起来，二是把连接等电位点的支路断开（因支路中无电流），从而得到电阻的串、并联关系。



## 2.3 电源的等效电路及等效变换





## 2.3 电源的等效电路及等效变换

### 2.3.1 独立电源

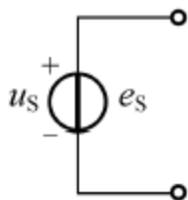
一个电源可用两种电路模型表示：用电压形式表示的称为电压源，用电流形式表示的称为电流源。

#### 1. 电压源

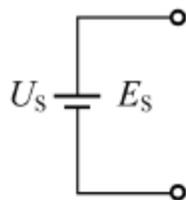
**理想电压源**是实际电源的一种抽象。其端钮电压总能保持某一恒定值或是一定的时间函数值，而与通过它们的电流无关，其中能保持某一恒定电压的称为恒压源。图2-5a所示为理想电压源符号；图2-5b所示为理想电池符号，专指理想直流电压源。理想电压源的伏安特性可写为

$$u = u_s(t)$$

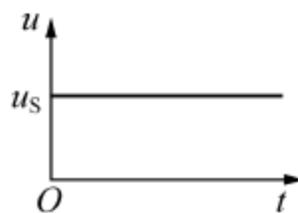
理想电压源的电流是任意的，与电压源的负载（外电路）状态有关。图2-5c所示为理想电压源的伏安特性曲线。



(a) 理想电压源符号



(b) 理想电池符号



(c) 理想电压源的伏安特性曲线

图 2-5 理想电压源及其伏安特性曲线



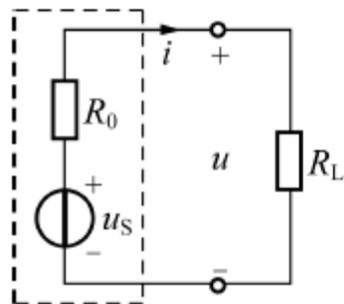
## 2.3 电源的等效电路及等效变换

实际的电源总是有内部消耗的，只是内部消耗通常都很小，因此可以用一个理想的电压源元件与一个阻值较小的电阻（内阻）串联组合来等效，如图2-6a中虚线框部分所示。

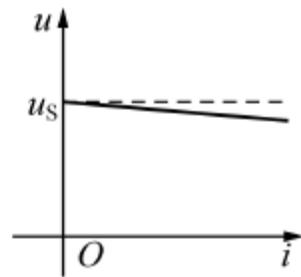
电压源两端接上负载 $R_L$ 后，负载上就有电流 $i$ 和电压 $u$ ，分别称为输出电流和输出电压。在图2-6a中，电压源的外特性方程为

$$u = u_S - iR_0$$

由此可画出电压源的外特性曲线，如图2-6b的实线部分所示，它是一条具有一定斜率的直线段，因内阻很小，所以外特性曲线较平坦。



(a) 实际电压源



(b) 外特性曲线

图 2-6 实际电压源模型及其外特性曲线



## 2.3 电源的等效电路及等效变换

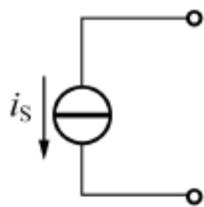
电压源不接外电路时，电流值总等于零，这种情况称为电压源处于开路。当 $u_S(t)=0$ 时，电压源的伏安特性曲线为 $u-i$ 平面上的电流轴，输出电压等于零，这种情况称为电压源处于短路，实际中是不允许发生的。

### 2. 电流源

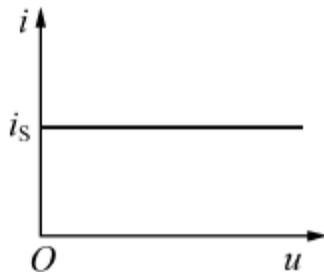
理想电流源也是实际电源的一种抽象。它提供的电流总能保持恒定值或是一定的时间函数值，而与其两端所加的电压无关，其中能保持某一恒定电流的称为恒流源。图2-7a所示为理想电流源符号。理想电流源的伏安特性可写为

$$i = i_S(t)$$

理想电流源两端所加的电压是任意的，与电流源的负载（外电路）状态有关。图2-7b所示为理想电流源的伏安特性曲线。

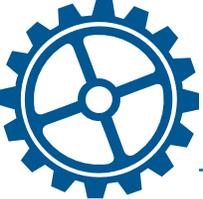


(a) 理想电流源符号



(b) 理想电流源的伏安特性曲线

图 2-7 理想电流源及其伏安特性曲线



## 2.3 电源的等效电路及等效变换

实际的电源总是有内部消耗的，只是内部消耗通常都很小，因此可以用一个理想的电流源元件与一个阻值很大的电阻（内阻）并联组合来等效，如图2-8a中虚线框部分所示。

电流源两端接上负载 $R_L$ 后，负载上就有电流 $i$ 和电压 $u$ ，分别称为输出电流和输出电压。在图2-8a中，电流源的外特性方程为

$$i = i_s - \frac{u}{R_0}$$

由此可画出电流源的外特性曲线，如图2-8b的实线部分所示，它是一条具有一定斜率的直线段，因内阻很大，所以外特性曲线较平坦。

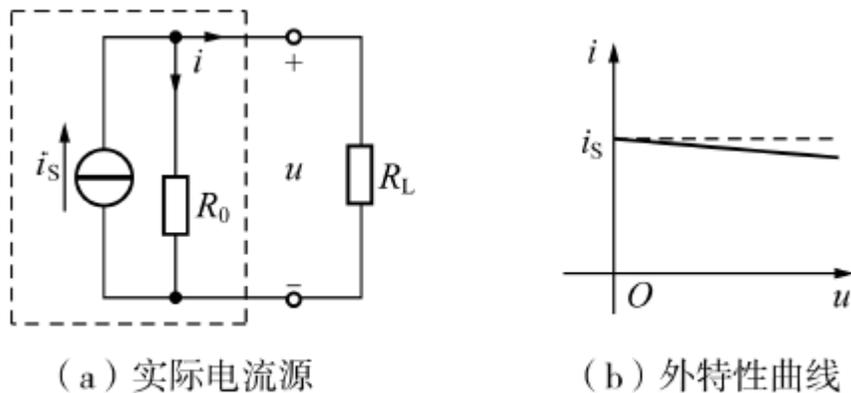
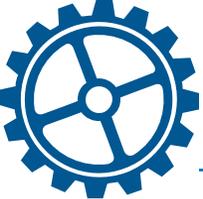


图 2-8 实际电流源模型及其外特性曲线



## 2.3 电源的等效电路及等效变换

电流源两端短路时，端电压值等于零， $i(t)=i_s(t)$ ，即电流源的电流为短路电流。当 $i_s(t)=0$ 时，电流源的伏安特性曲线为 $u-i$ 平面上的电压轴，相当于电流源处于开路，实际中电流源开路是没有意义的，也是不允许的。

实际电源在电路分析中，可以用电压源与电阻串联电路或电流源与电阻并联电路的模型表示，采用哪一种计算模型，依计算繁简程度而定。

### 2.3.2 受控电源

有的电源如发电机和电池，因能独立地为电路提供能量，被称为独立电源。而有些电路元件，如晶体管、运算放大器、集成电路等，虽不能独立地为电路提供能量，但在其他信号控制下仍然可以提供一定的电压或电流，这类元件可以用受控电源模型来模拟。受控电源的输出电压或电流，与控制它们的电压或电流之间有正比关系时，称为线性受控源。**受控电源是一个二端口元件：由一对输入端钮施加控制量，称为输入端口；一对输出端钮对外提供电压或电流，称为输出端口。**

按照受控变量的不同，受控电源可分为四类：电压控制的电压源（VCVS）、电压控制的电流源（VCCS）、电流控制的电压源（CCVS）和电流控制的电流源（CCCS）。



## 2.3 电源的等效电路及等效变换

为区别于独立电源，用菱形表示受控电源部分，以 $u$ 、 $i$ 分别表示控制电压、控制电流，则四种受控电源的图形符号如图2-10所示。

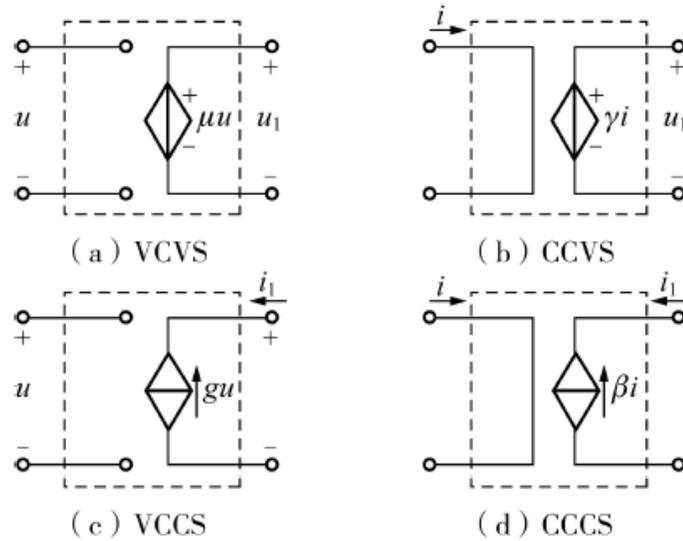


图 2-10 四种受控电源的图形符号

四种受控电源的端钮伏安关系，即控制关系为

$$\text{VCVS: } u_1 = \mu u$$

$$\text{CCVS: } u_1 = \gamma i$$

$$\text{VCCS: } i_1 = g u$$

$$\text{CCCS: } i_1 = \beta i$$

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：  
<https://d.book118.com/138007117142007011>