

第一篇 电路分析

本篇主要介绍线性电路的基本概念、基本元件(电阻、电压源和电流源等)、基本定律(KCL、KVL)、基本结构(串联、并联、星形连接和三角形连接等)、基本定理(叠加原理和戴维南定理等)和基本分析方法(电源模型等效变换法、支路电流法、相量分析法和三要素法等)等知识。重点讨论直流电路、正弦稳态交流电路、对称三相交流电路和一阶电路的时域分析。

第1章 基本概念、基本元件和基本定律

1.1 学习指导

本章为电路分析的基础篇，即第2、3、4、5章的内容是建立在掌握本章知识基础上的继续深入学习；本章也是第二篇模拟电子技术学习的基础。

1.1.1 内容提要

本章主要讨论了电路的基本概念、基本变量（电压、电流）、基本元件（电阻、电压源、电流源）、基本定律（KCL、KVL）及电气安全与参数测量方法。

1.1.2 重点与难点

1. 重点

掌握电路的基本概念（线性电路、电路图、电压、电流及参考方向）；掌握电路的基本元件的伏安特性及测量方法；掌握基尔霍夫定律；掌握电气安全知识。

2. 难点

基本概念的建立，基本元件伏安特性的理解，基本定律的应用和电气参数的测量方法。

1.2 基本概念

1.2.1 线性电路概述

1.2.1.1 线性电路

电路是由电气设备、电路器件等通过各种方式相互连接并提供电流通过途径的系统。日常用到的电路有手机、计算机、家用电器设备等，城市轨道交通的供电系统、电力监控系统、交通控制系统、交通通信系统、动力照明供电系统等。

所谓线性电路是指由线性元件组成的电路。线性电路最基本的特性是具有叠加性和齐次性，其含义用电路图1.1、图1.2简单说明。

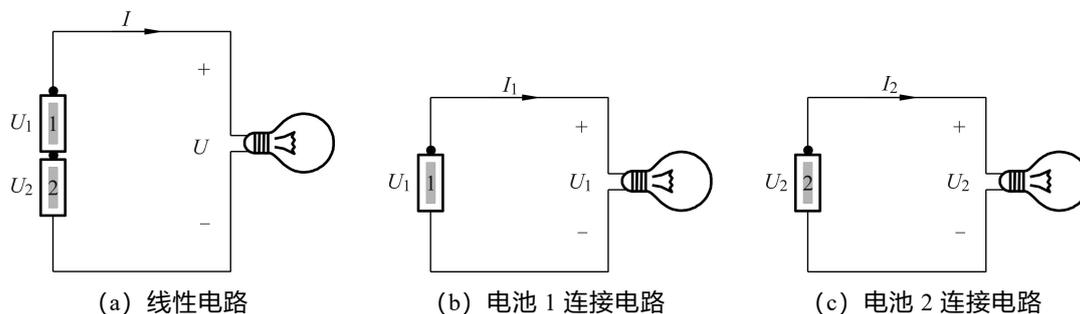


图 1.1 线性电路的叠加性

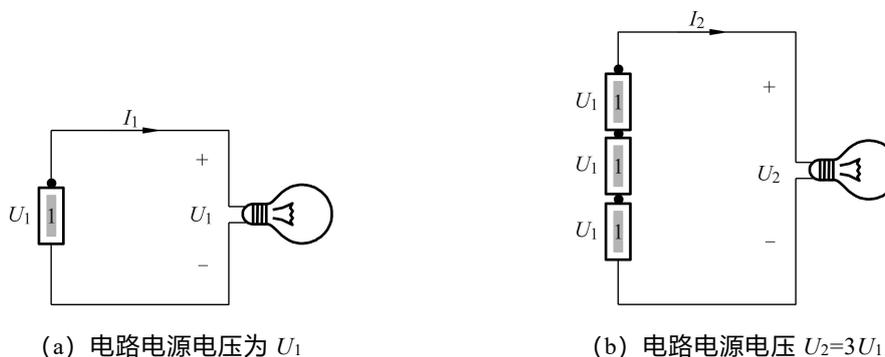


图 1.2 线性电路的齐次性

1. 叠加性

线性电路中含有若干个理想电源共同作用时，其电路中的电压、电流等于各个理想电源单独作用时产生的电压、电流叠加，这就是线性电路的叠加性。

例如：设图 1.1 (a) 所示电路中，白炽灯为阻值固定不变器件，电池 1、电池 2 为恒压电源（即理想电压源）。当电池 1、电池 2 共同作用时，如图 1.1 (a) 所示，白炽灯的端电压为 U 及通过的电流为 I 。当电池 1 单独作用时，如图 1.1 (b) 所示，白炽灯的端电压为 U_1 ，通过的电流为 I_1 。当电池 2 单独作用时，如图 1.1 (c) 所示，白炽灯的端电压为 U_2 ，通过的电流为 I_2 。则图 1.1 (a) 中的 U, I 与图 1.1 (b)、图 1.1 (c) 中的 U_1, U_2, I_1, I_2 关系为： $U = U_1 + U_2$ ， $I = I_1 + I_2$ 。即电池 1、电池 2 共同作用时的 U, I ，等于电池 1、电池 2 单独作用时产生的 U_1, U_2, I_1, I_2 的叠加。

2. 齐次性

设图 1.2 (a) 所示电路中，电池 1 为理想电压源，白炽灯为阻值固定器件，则图 1.2 (b) 中电压 $U_2=3U_1$ ，电流 $I_2=3I_1$ 。这就是线性电路的齐次性。

严格地讲，在实际中线性电路是不存在的。但是大量的实际电路通过“理想化”和“抽象化”处理，在一定条件下，可以视为线性电路进行分析。

1.2.1.2 电路的作用

1. 实现电能的传输、转换及分配

1) 电力系统示例

电力系统示例如图 1.3 所示，其主要作用是将发电机提供的电能传输、转换、分配到各用电设备。

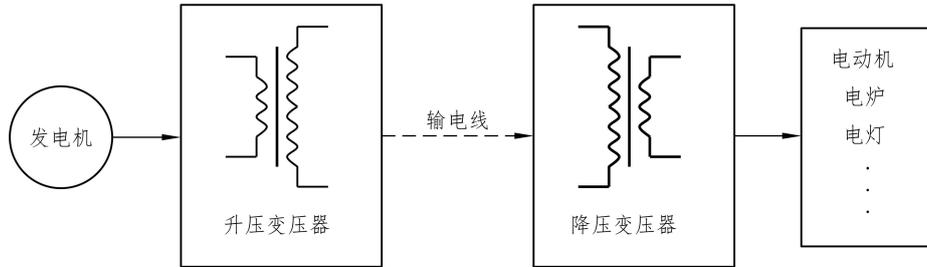


图 1.3 电力系统示意图

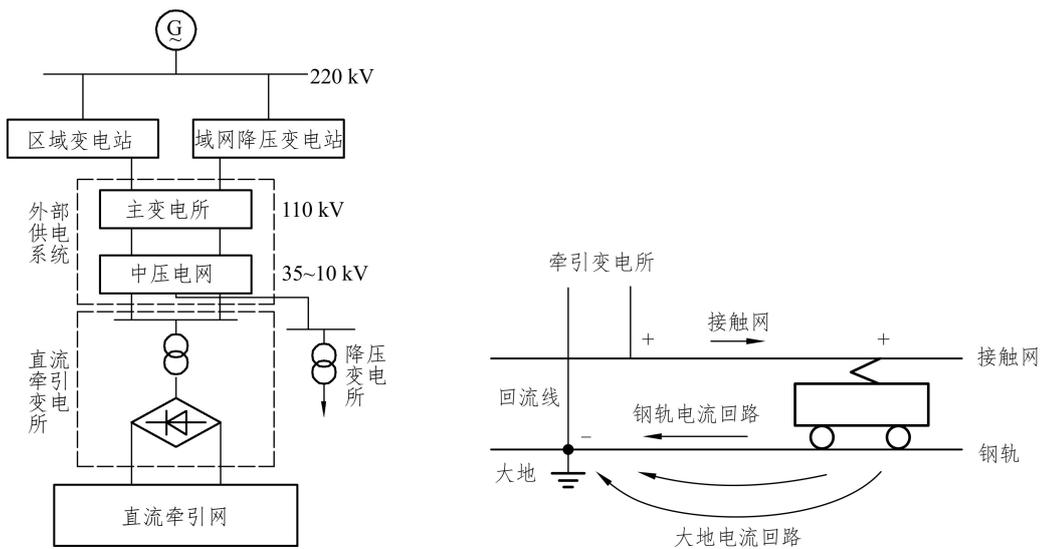
发电机又称为电源，是提供电能的设备，其功能是把热能、水能或核能等其他形式的能量转换成电能。

变压器和输电线的功能是实现电能的分配和传输。

电动机、电炉、电灯等用电设备统称为负载，其功能是把电能转换成为机械能、热能和光能等。

2) 城市轨道交通供电系统示例

图 1.4 为城市轨道交通供电系统组成示意图，其功能是将电力网传输的 220 kV 电压输入变电站，由变电站、外部供电系统、直流牵引变电所等将电力系统供应的电能转变为适于电力牵引及其供电方式的电能，通过直流牵引网传输，为城市地铁列车输送电能并转换成动能；同时由降压变电所为地铁其他设备（如为照明、通风、空调、给水排水、通信、信号、防灾报警、自动扶梯等）提供电能并转换为其他能。



(a) 城市轨道供电系统框图

(b) 城市轨道列车运行电路示意图

图 1.4 城市轨道供电系统组成示意图

2. 实现信号的传递和处理

信号传递和处理的实例很多，如手机、计算机、电视机等，它们接收载有语言、文字、音乐、图像信息的电磁波后转换为相应的电信号，通过电子电路对信号进行传递和处理，还原为原始信息（如声音、图像等）输出到扬声器、显示器等。

1.2.2 电路模型

实际电路是由电子元件、电气器件和设备及导线等构成，这些实际部件在电路工作过程中往往同时产生几种物理效应，而在电路理论中的各个元件则仅描述了一种物理特征。例如：白炽灯[见图 1.5 (a)]通电后除了发光发热（电阻特性）外，在灯丝两端之间具有电压，故两端之间具有电场效应（电容特性）；当灯丝中通过电流时，则有磁场产生，即灯丝又具有电感性。可见白炽灯工作过程中同时存在三种物理效应，即电阻性、电容性和电感性。但是，在三种物理效应中，其电阻特性最为突出，而电容性和电感性较小，常常忽略不计。因此，可把实际的白炽灯理想化为只具的电阻特性的集中参数元件 R ，并在电路图中用抽象化的电路图形符号表示，如图 1.5 (b) 所示。

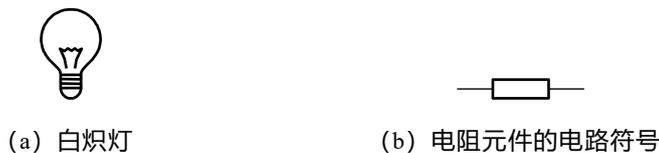


图 1.5 白炽灯与其电路模型

电路理论往往不是直接研究实际的电路，而是研究实际电路的电路模型或称电路图。

电路模型是经“抽象化”和“理想化”，只表征电路元件（简称元件）一种物理特性及它们相互连接关系的模型。当实际的器件具有多种物理特性时，可以根据其表现出的物理效应，用一种或几种电路元件来描述。

本教材讨论电路模型的电路元件都满足集中参数条件，即电路模型的大小和几何形状不影响电路的特性。

1.2.3 电路的基本变量

基本变量：在电路分析时，通过电压、电流两个变量可计算出电路模型中的其他物理量，

如功率、能量、元件参数等，因此，将电压、电流两个变量称为电路的基本变量。

例如：在如图 1.6 所示电阻电路中，已知电压值为 U ，电流值为 I ，则可分析计算出电阻元件消耗的功率为 $P = UI$ ；电阻元件参数 R 为 $R = \frac{U}{I}$ 等。

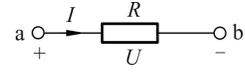


图 1.6 电阻电路

1.2.3.1 电 压

1. 定 义

当正电荷与负电荷之间拉开一定的距离时，其正、负电荷之间存在一定的势能，这种电荷的势能差称为电势差，又称为电压。电压是电路中的驱动力，是产生电流的原因。

设一个定量的正电荷 dq 从电路中 a 点移动到 b 点时，能够放出的能量为 dw ，则电路中 a 、 b 两点间的电压 u [单位为伏特 (V)] 定义为

$$u = \frac{dw}{dq} \quad (1.1)$$

式 (1.1) 中， u 的单位为伏特 (V)， w 的单位为焦耳 (J)， q 的单位为库仑 (C)。

在电路分析中常用电位来描述电压，即任意两点间的电位之差称为电压。

接地：“接地”这个术语源自交流配电系统采用的方法。在交流配电系统中，电线的一端与插入地下的金属棒相连，使它成为中性。这种接地方法称为“地球地”。

在城市轨道直流牵引供电系统中，接触网将电能输送给列车，再从列车经大地、轨道（钢轨）和回流线（供牵引电流流回牵引变电所的导线称回流线）流回直流牵引变电所，从而形成闭合的回路。如图 1.4 (b) 所示。

从电气的角度来看，大地可被定义为导电的土壤，人们习惯认为它任一点的电位都等于零。

参考点：在电路分析中，“接地”点是电路的“参考点”，“接地”点的电位定义为“零伏”，而且“参考点”可与大地接触，也可不接触。在同一个电路中，所有的“参考点”具有相同的“零伏”电压，因此他们是电路中的公共点。如图 1.7 (a) (b) 所示的是同一个电路。

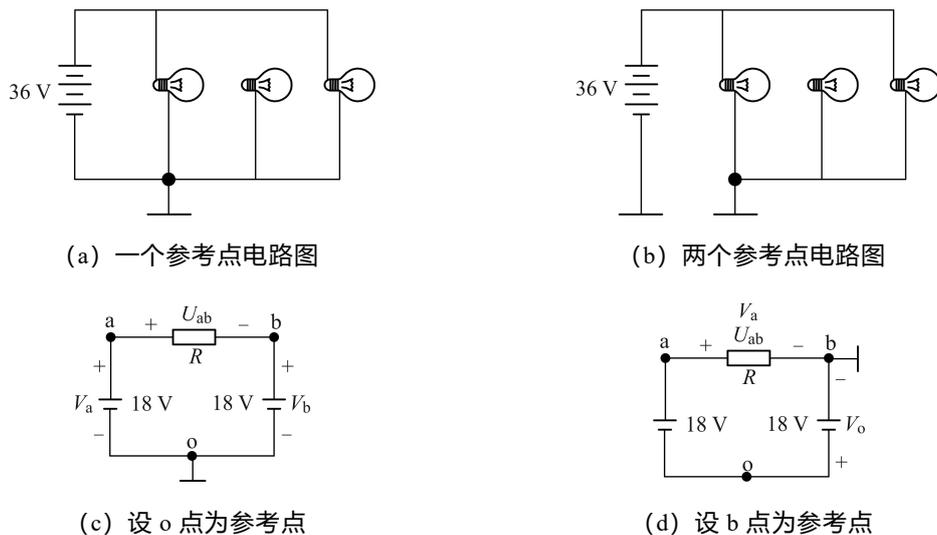


图 1.7 参考点、电位与电压之间的关系图

电路理论中对“参考点”的选择没有严格的规定，因此，在分析电路时，可根据电路的结构和特点任意选择电路中某一点为“参考点”（零电位点）。例如：图 1.7 (c) (d) 是同一个电路图，但图 1.6 (c) 电路中“o”点是参考点，则 $V_o=0\text{ V}$ ；图 1.7 (d) 电路中 b 点是参考点，则 $V_b=0\text{ V}$ 。

电位：相对参考点间的电势差称为电位。

例如图 1.7 (c) (d) 所示电路中，电位 V_a 是 a 点相对参考点[图 1.7 (c) 电路参考点为 o 点，图 1.7 (d) 电路参考点为 b]的电位；电位 V_b 是 b 点相对参考点 o 的电位[见图 1.7 (c)]，电位 V_o 是 o 点相对参考点 b 的电位[见图 1.7 (d)]。则图 1.7 (c) 电路中各点电位有

$$\begin{aligned} V_a &= 18\text{ V} \\ V_b &= 8\text{ V} \\ V_o &= 0\text{ V} \end{aligned}$$

图 1.7d 电路中各点电位有

$$V_a = (18 - 8)\text{ V} = 10\text{ V}$$

$$\begin{aligned}V_b &= 0 \text{ V} \\V_o &= -8 \text{ V}\end{aligned}$$

可见，电路中各点的电位值与所选定的参考点有关，即电位的大小是随参考点选择不同而发生改变的。

电压：图 1.7 (c) (d) 电路中 a、b 两点间的电位差为电压 U_{ab} 。

图 1.7 (c) 电路中

$$U_{ab} = V_a - V_b = (18 - 8) \text{ V} = 10 \text{ V}$$

图 1.7 (d) 电路中

$$U_{ab} = V_a - V_b = V_a = 10 \text{ V}$$

因此，电路中任意两点间的电压与参考点的选择无关。当选择的参考点不同时，电路中同一点的电位有所不同，而电压是固定不变的，即电压不会因参考点的选择不同而发生变化。

2. 方 向

电压方向：定义为“高电位指向低电位”。并用正极性“+”表示高电位，用负极性“-”表示低电位，即正极指向负极的方向为电压方向。

在如图 1.8 所示电路中用了三种方式表示同一个电压方向。即三种表示方式均表示高电位端 a 指向低电位端 b。分析电路时，可以选用其中任意一种方式表示电压的方向。

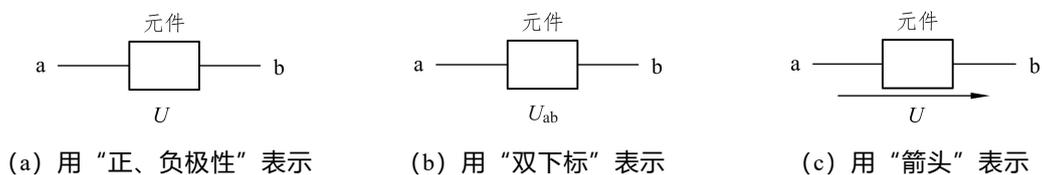


图 1.8 电压方向的表示方式

电位方向：指定参考点为“-”，其他相对参考点的电路各点为“+”。如图 1.7 所示电路

中，图 1.7 (c) 中 a、b 点为 “+”，o 点为参考点 “-”；图 1.7 (d) 中 a、o 点为 “+”，b 点为参考点 “-”。

3. 电压的测量

测量电压的仪器仪表种类很多，但电压测量的方法是相同，即将仪表的电压测试端与被测器件或装置的两端连接（并联连接）。如图 1.9 所示，电阻 R 上的端电压 U_{ab} 是被测电压，图 1.9 (a) 为电压测量仪表连接图，图 1.9 (b) 为电路理论中电压测量连接图，其中，符号 “ V ” 表示电压测量仪。

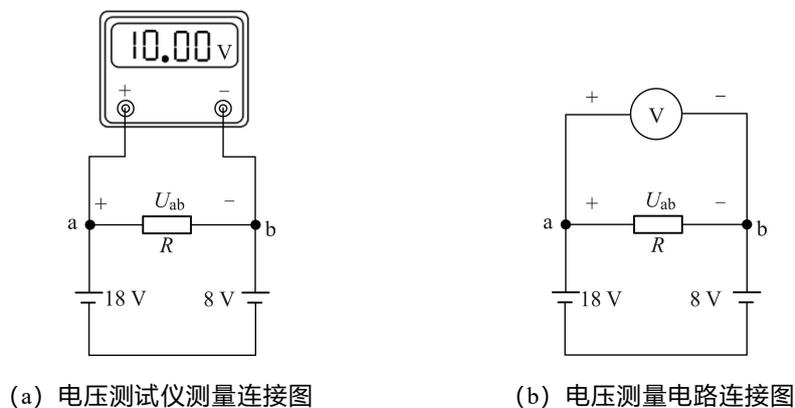


图 1.9 电压的测量连接图

在测量直流电压时，注意电表的正极必须与被测器件的正极相连接，电表的负极必须与被测器件的负极相连接，如图 1.9 (a) 所示。

特别提示：使用万用表测量电压时，如被测电压值无法估算时，则将万用表设置在最大电压测量量程上，然后逐渐减小电压量程，直到一个合适的电压测量量程。

本教材主要讨论两种电压，即直流（用 DC 表示直流电）电压和正弦交流（用 AC 表示正弦交流电）电压。在城市轨道供电系统中，同时提供直流电压和正弦交流电压。如图 1.4 (a) 所示框图中，变电站、外部供电系统为正弦交流电供电系统，而直流牵引变电所输入为正弦交流电，输出则为城市地铁列车输送直流电；降压变电所为地铁其他设备提供正弦交流电。