

高等学校规划教材

电工技术与电子技术

(上册)

主 编 韩 涛
副主编 任萍沼 陈新华
参 编 董爱华 张洪彦 蔡文皓



中国矿业大学出版社

前 言

电能是我国的主要能源之一。电能的广泛应用推动了科学技术的发展,引起了生产技术的划时代革命。

电能具有便于转换、便于传输、便于分配和容易控制的优点。在工业、农业、国防、交通运输以及现代物质文化生活中,电能都是不可缺少的。

20 世纪 80 年代,我国电子技术和计算机技术有了飞速的发展,为我国的生产自动化、办公自动化以及高新技术的发展奠定了坚实的基础。

《电工技术》与《电子技术》是高等工科院校非电类专业的一门技术基础课。通过本课程的学习,可获得电工技术与电子技术的基本理论、基本知识和基本技能,为后续课程和今后从事专业技术工作打下必备的基础。

本书还照顾到矿冶类学生的专业特点,注意到与《物理学》课程的分工,删去与物理学重复的内容,使本书更加适合高等学校学生的学习特点。

本书供《电工技术》和《电子技术》两门课使用,学时(含实验)为

电工技术:55~75 学时

电子技术:55~75 学时

实验学时为 30 学时,电工仪表及电工测量的内容编入实验教程中,可结合实验进行这部分内容的教学。

全书由中国矿业大学韩涛主编。山西矿业学院任萍沼、山东矿业学院陈新华为上册副主编。阜新矿业学院王万清为下册副主编。

上册第一章由焦作矿业学院董爱华执笔;第二章及第五章由山西矿业学院任萍沼执笔;第三章及第四章由黑龙江矿业学院张洪彦执笔;第六章,第七章及第八章由山东矿业学院陈新华执笔;第九章及十章由西安矿业学院蔡文皓执笔。

下册第一章、第二章第八节、第九节及第四章由阜新矿业学院王万清执笔;第二章第一节~第七节由阜新矿业学院滕国仁执笔;第三章由中国矿业大学韩涛执笔;第五章及第八章由中国矿业大学钱毅执笔;第六章及第七章由中国矿业大学王香婷执笔。在编写过程中,中国矿业大学教玉惠给予了热情支持。

由于能力所限,本书有不当之处,望同行和读者给予指正,编者不胜感谢。

编者

1994 年 9 月

目 录

(带 * 章节为选讲内容)

上册 电工技术

第一章 直流电路	(1)
第一节 电路的基本概念.....	(1)
第二节 基尔霍夫定律.....	(12)
第三节 电路的基本分析方法.....	(18)
第四节 非线性电阻电路的分析.....	(41)
习题.....	(44)
第二章 正弦稳态交流电路	(52)
第一节 正弦量的特征及表示法.....	(52)
第二节 单一参数交流电路.....	(61)
第三节 电阻、电感、电容元件串联的交流电路.....	(74)
第四节 阻抗并联的交流电路.....	(82)
第五节 电路的谐振.....	(88)
第六节 复杂正弦交流电路的分析和计算.....	(96)
习题.....	(102)
第三章 三相交流电路及安全用电	(110)
第一节 三相电源.....	(110)
第二节 三相负载.....	(114)
第三节 安全用电.....	(124)
习题.....	(131)
第四章 非正弦周期电流电路	(133)
第一节 非正弦周期量的分析方法.....	(133)
第二节 非正弦周期量的有效值、均绝值和功率.....	(136)
第三节 非正弦周期电流电路的计算.....	(140)
习题.....	(142)
第五章 暂态电路	(145)
第一节 换路定律与初始值的确定.....	(145)
第二节 一阶 RC 电路的暂态分析.....	(149)
第三节 一阶线性电路暂态分析的三要素法.....	(158)
第四节 一阶 RL 电路的暂态分析.....	(160)
习题.....	(166)

第六章 变压器	(169)
第一节 变压器的结构和工作原理.....	(169)
第二节 变压器的外特性与效率.....	(173)
第三节 三相变压器.....	(175)
第四节 特殊用途的变压器.....	(179)
习题.....	(181)
第七章 交流电动机	(183)
第一节 三相交流异步电动机的结构和工作原理.....	(183)
第二节 三相交流异步电动机的电磁转矩.....	(189)
第三节 三相交流异步电动机的机械特性.....	(192)
第四节 三相交流异步电动机的铭牌和技术数据.....	(195)
第五节 三相交流异步电动机的起动.....	(196)
第六节 三相交流异步电动机的调速和制动.....	(200)
第七节 同步电动机简介.....	(202)
习题.....	(204)
第八章 直流电动机	(205)
第一节 直流电机的结构和工作原理.....	(205)
第二节 他励和并励直流电动机.....	(209)
第三节 串励直流电动机.....	(214)
习题.....	(217)
第九章 控制电机	(219)
第一节 伺服电动机.....	(219)
第二节 测速发电机.....	(221)
第三节 步进电动机.....	(224)
习题.....	(227)
第十章 继电接触控制	(228)
第一节 常用低压控制电器.....	(228)
第二节 基本控制环节.....	(235)
第三节 电动机的保护环节.....	(240)
第四节 应用举例.....	(242)
习题.....	(244)
附录	(246)
附录一 常用电工设备图形符号及新旧符号对照表.....	(246)
附录二 ^① 三相交流异步电机型号及用途及新旧对照.....	(248)
附录三 CJ10 系列交流接触器技术数据.....	(248)
附录四 JR15 系列热继电器技术数据.....	(248)
附录五 ^② 直流电机型号、用途及新旧对照.....	(249)
上册习题答案	(249)

第一章 直流电路

本章主要在物理学的基础上介绍电路的组成、电路的基本物理量及正方向、电路的三种状态及额定值、电路的基本定律及电路的基本分析方法等。正方向是一个重要概念,本章结合电路的物理量着重加以介绍。电路的基本分析方法是分析计算复杂电路的重要工具,为便于对比和掌握,本章将这些分析方法放在一节中进行介绍。

本章所介绍的基本概念、基本定律和基本分析方法具有普遍意义,它们不仅适用于直流电路,而且也适用于交流电路。

第一节 电路的基本概念

一、电路的组成

电路是电流通过的闭合路径,它是由若干个电气设备或元件根据需要组成的不可分割的整体。

随着科学技术的不断发展,电的应用越来越广泛,电路的形式也越来越多。但是,不管电路的具体形式如何变化,电路都是由一些最基本的部件组成。

电路的基本组成部分

电源 将机械能、化学能等非电能量转换为电能的供电设备。它是电路中能量的来源。常见的电源如干电池、蓄电池和发电机等。

负载 将电能转换成热能、光能和机械能等非电能量的设备或器件。常见的负载如灯泡、电炉和电动机等。直流电路中的负载主要是电阻性负载,它的基本性质是当电流通过时呈现阻力,即有一定的电阻,并将电能转换成热能。

中间环节 连接电源和负载的部分,在电路中起控制和保护作用。中间环节主要由连接导线、控制电器和保护电器(如熔断器等)组成。

电路的基本作用是进行电能的传输及能量的转换。但根据其侧重点的不同,电路主要有如下两方面的作用:

(1)电能的传输、分配与转换。例如,发电厂的发电机产生的电能,通过升压变压器、输电线路和降压变压器送给用户,最后经过负载将电能转换成其它形式的能量。

(2)信号的传递和处理,即通过电路将输入的电信号进行传送、转换或加工处理,使之成为能满足一定要求的输出信号,以推动不同的负载。信号传递和处理的例子很多,如收音机和电视机,它们的接收天线把载有声音、图象信号的电磁波接收后转换为相应的电信号,再经过加工处理送给扬声器或显象管,最后还原为声音或图象。

电路中的实际电路元件是多种多样的,在分析、计算时不可能,也没有必要将这些实际元件直接表示在电路中。为便于对实际电路进行分析和数学描述,常将实际元件理想化或模型化,即在一定条件下忽略其次要因素,突出其主要的电磁性质,把它看作理想电路元件。由理想电路元件组成的电路称为实际电路的电路模型,它是实际电路电磁性质的科学抽象和概括。电阻元件、电感元件、电容元件和电源元件是主要的理想电路元件。电路模型要用国

家规定的图形符号和文字符号表示。例如手电筒的电路模型如图 1-1 所示。其中电阻元件 R 表示手电筒的电珠； E 为干电池的电动势； R_0 为干电池的内阻； S 为手电筒的开关。

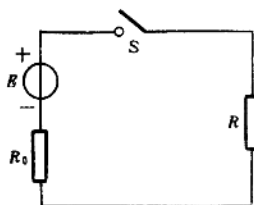


图 1-1 手电筒电路模型

不论电路是传输和转换电能，还是传递和处理信号，其中的电源(或信号源)的电压或电流称为激励。而在激励作用下所产生的电压或电流称为响应。电路分析就是在已知电路结构和元件参数的条件下，讨论电路的激励与响应之间的关系。

二、电路的基本物理量及其正方向

电路的基本物理量主要是电流、电压、电动势等。虽然这些物理量在《物理学》中已经讲过，但考虑到它们是电路分析和计算的基础，贯穿本课程的全部内容，所以有必要结合本课程的特点对电路的基本物理量作一概括性介绍，旨在突出正方向这一基本概念。

1. 电流

电流是电荷有规则的运动形成的。电流在数值上等于单位时间内通过某一导体横截面的电荷量，即

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1-1)$$

式中，电荷 Q 的单位是库(C)，时间 t 的单位是秒(s)，电流 I 的单位是安(A)。大写字母 I 表示不随时间变化的电流，称为恒定电流，通常称为直流。如果通过横截面的电荷随时间变化，则定义式为

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1-2)$$

这种电流称为变化电流，其瞬时值用小写字母 i 表示。

习惯上规定正电荷运动的方向为电流的实际方向。但在分析复杂直流电路时，某条支路的电流的实际方向往往很难确定，尤其是在交流电路中，电流的实际方向是随时间变化的，这就更难标明电流的实际方向了。因此，在电路的分析计算时通常采用电流的正方向。所谓电流的正方向，就是为了电路分析计算的方便而任意假定的方向，正方向也称参考方向。当电流的实际方向与其正方向一致时，电流值为正(图 1-2 a)；反之，电流值为负(图 1-2 b)。

即电流的正方向确定之后，电流值有正负之分。



图 1-2 电流的正方向

a—电流为正值； b—电流为负值

电流的正方向与实际方向是两个不同的概念，不要混淆。(1)电流的实际方向是客观存在的，不能任意选择，而电流的正方向是人为假定的，是电路分析计算的一种方法或手段。这种方法或手段在其它学科中也经常使用，例如在数学中需要对数轴或坐标轴规定一个正方向，才能正确地表示一个数或函数的图象；在物理学中也需要对温度、作用力与反作用力等事先选定一个基准或参考方向，这样温度、力的正、负才有明确意义。(2)电流的实际方向与电路的结构、电源的极性和电路的参数有关，与其正方向的选取无关。但是，电流的正方向选定之

后,其值是一个代数量,即有正、负之分。因此,某个电流是正值还是负值是相对于某一个确定的正方向而言的,在未选定正方向的情况下,说某个电流值为正还是为负是毫无意义的。当电流的实际方向可以确定时,通常选定电流的正方向与其实际方向一致。值得注意的是,电流的正方向一经确定,在整个分析计算过程中就必须以此方向为准,不能再更改了。今后,电路图中所标注的电流方向均为正方向。

2. 电压

电荷在电场力作用下有规则的定向运动形成电流,在这个过程中,电场力推动电荷运动做功。电压就是用来衡量电场力对电荷做功能力的物理量。 A 、 B 两点的电压等于电场力把单位正电荷从 A 点移动到 B 点电场力所做的功,即

$$U_{AB} = \frac{A}{Q} \quad (1-3)$$

在国际单位制(SI)中,功 A 的单位是焦耳(J),电荷 Q 的单位是库仑(C),电压 U 的单位是伏特(V)。式中,大写字母 U 表示不随时间变化的电压,称为恒定电压或直流电压。如果电压随时间变化,其定义式为

$$u_{AB} = \frac{dA}{dq} \quad (1-4)$$

用小写字母 u 表示变化电压的瞬时值。

通常把正电荷在电场力作用下运动的方向称为电压的实际方向。但电压的实际方向有时也难以确定,因此在电路图中只标出电压的正方向,即任意假定的方向。如图 1-3 所示的电压 U_{AB} 的方向即为正方向。

同样,引入正方向之后,电压也是一个代数量。当电压的实际方向与其正方向一致时,电压为正值;当电压的实际方向与其正方向相反时,电压为负值。

电压的正方向可采用:(1)箭头表示,箭头的指向即为电压的正方向。(2)双下标字母表示,电压的正方向从第一个下标字母指向第二个下标字母,如电压 U_{AB} 表示电压的正方向由 A 指向 B 。这两种表示方法代表的意义相同,使用时可任选一种。

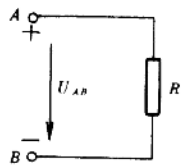


图 1-3 电压的正方向

由于正方向是任意选取的,因此电压的正方向和电流的正方向可能一致,也可能不一致。但是,为了分析计算的方便,通常选取电压、电流为关联正方向,即选取电压、电流的正方向一致,如图 1-4 所示。

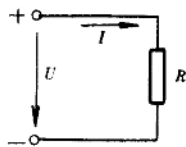


图 1-4 关联正方向

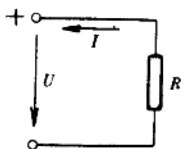


图 1-5 非关联正方向

此时欧姆定律的表达式为

$$U = IR \quad (1-5)$$

当电压和电流的正方向为非关联正方向时,如图 1-5 所示。

此时欧姆定律的表达式为

$$U = -IR \quad (1-6)$$

这里应注意的是,采用正方向后欧姆定律的表达式有两种形式,当电压、电流的正方向为关联正方向时,欧姆定律的表达式为式(1-5);当电压、电流的正方向为非关联正方向时,欧姆定律的表达式为式(1-6)。

例 1-1. 如图 1-6 所示,假定“+”和“-”表示电压的实际极性,电压 U 为 10V,电阻 R 为 5Ω 。取电压、电流的正方向分别为如图 1-6 a、1-6 b 所示,试分别写出欧姆定律表达式,并求电流 I 。

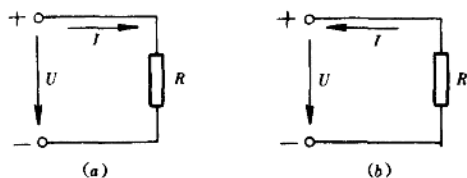


图 1-6 例 1-1 图

解 在图 1-6 a 中,由于电压、电流的正方向为关联正方向,所以欧姆定律的表达式为

$$U = IR$$

又因为电压的正方向与实际方向相同,所以

电压 $U = +10\text{V}$, 电流

$$I = \frac{U}{R} = \frac{10}{5} = 2\text{A}$$

电流值为正则说明电流的正方向与其实际方向相同。

在图 1-6 b 中,由于电压、电流的正方向为非关联正方向,所以欧姆定律的表达式为

$$U = -IR$$

这里,由于电压的正方向与其实际方向相同,所以电压 $U = +10\text{V}$, 电流则为

$$I = -\frac{U}{R} = -\frac{10}{5} = -2\text{A}$$

电流值为负则说明电流的正方向与其实际方向相反。

3. 电动势

在直流电路中,为了维持电流连续不断地在电路中流通,并保持恒定,就必须使外电路的端电压保持恒定,电源就具有使外电路的端电压保持恒定的作用。在电源内部存在一种特殊的力(通常称为电源力),它能够将正电荷从电源的负极经过电源内部移动到电源正极,在这个过程中,电源力移动正电荷做功的同时将其它形式的能量转换成电能。电源力移动正电荷做功的能力通常用电动势这个物理量表示。电动势在数值上等于电源力把单位正电荷从电源负极经过电源内部移动到电源正极所做的功。由定义可知,电动势的单位与电压的单位相同。直流电动势用大写字母 E 表示,交流电动势的瞬时值用小写字母 e 表示。

电动势的实际方向是正电荷在电源内部的运动方向,即由电源的负极指向电源的正极。电动势也可采用正方向,当电动势的实际方向与正方向相同时其值为正;当电动势的实际方向与正方向相反时其值为负。在电动势实际方向已知的情况下,通常取电动势的实际方向作为正方向。

4. 电位

同电压一样电位也是用来描述电场力作功的一个物理量。电场中某点的电位在数值上

等于电场力将单位正电荷自该点起沿任意路径移动到参考点电场力所做的功。电位用字母 V 表示,其单位与电压的单位相同。由电位与电压的定义可知,电场中某点的电位就是该点到参考点的电压;某两点间的电压就是这两点的电位之差。电路中某点的电位的正方向习惯上选定为该点指向参考点的方向,并规定参考点的电位为零,所以参考点又叫零电位点。

在电工学中,如果所研究的电路有接地点时,通常选接地点为参考点,用符号“ $\perp$ ”表示。在电子线路中常选若干条支路的交汇点或机壳作为电位的参考点,用符号“ $\perp$ ”表示。当参考点选定后,电路中其余各点的电位就是唯一确定的数值,这便是电位的单值性原理。

电位的概念及电位的计算在分析电子线路时经常用到,下面以图 1-7 所示的电路为例说明电位的计算方法。

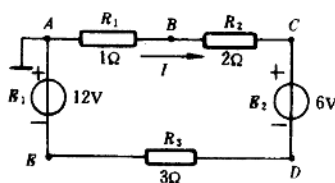


图 1-7 电路举例

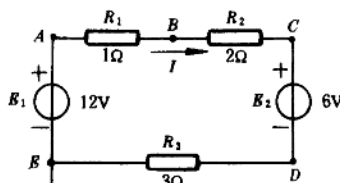


图 1-8 以 E 点为参考点

在图 1-7 中,如果以 E 点为参考点,即 $V_E = 0$,可求出 A、B、C、D 各点的电位和 A、D 间的电压

以 E 点为参考点的电路如图 1-8 所示。

在图 1-8 中,选电路中的电流 I 的正方向如图所示,则根据回路欧姆定律,可求出电流

$$I = \frac{E_1 - E_2}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{12 - 6}{1 + 2 + 3} = 1\text{A}$$

则 A 点电位为 $V_A = E_1 = 12\text{V}$

B 点电位为 $V_B = E_1 - IR_1 = 12 - 1 \times 1 = 11\text{V}$

C 点电位为 $V_C = E_1 - I(R_1 + R_2) = 12 - 1 \times (1 + 2) = 9\text{V}$

D 点电位为 $V_D = IR_3 = 1 \times 3 = 3\text{V}$

或 $V_D = E_1 - I(R_1 + R_2) - E_2 = 12 - 1 \times (1 + 2) - 6 = 3\text{V}$

A、D 间的电压为 $U_{AD} = I(R_1 + R_2) + E_2 = 1 \times (1 + 2) + 6 = 9\text{V}$

在图 1-7 中,如果以 A 点为参考点,即 $V_A = 0$,其电路如图 1-9 所示,同样可计算其余各点的电位和 A、D 间的电压。

$$V_B = -1\text{V}$$

$$V_C = -3\text{V}$$

$$V_D = -9\text{V}$$

$$V_E = -12\text{V}$$

$$U_{AD} = 9\text{V}$$

从上面的计算结果可以看出:

(1) 电路中某点的电位等于该点到参考点的电压;电路中某两点的电压等于这两点的电位之差。

(2)参考点选的不同,电路中各点的电位随之改变,即电位是相对的。而电路中任意两点间的电压值不变,即电压是绝对的。

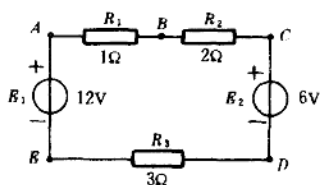


图 1-9 以 A 点为参考点

解 完整的电路图如图 1-12。

有时为了作图方便和图面清晰,常将电路图进行简化,即将与参考点相连的电源省去不画,在电源的非接“地”端标出其电位的数值。如图 1-8 可简化为图 1-10。

例 1-2 如图 1-11 是一个简化电路图,试画出其完整的电路图,并求出 A、B 两点的电位。其中 $E_1 = E_2 = 5V$ 。

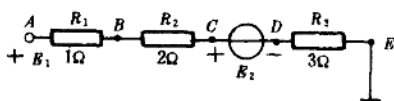


图 1-10 图 1-8 的简化电路图

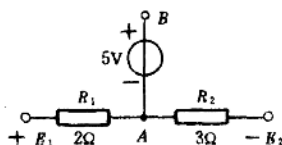


图 1-11 例 1-2 的电路

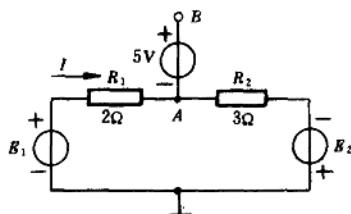


图 1-12 图 1-11 的完整电路图

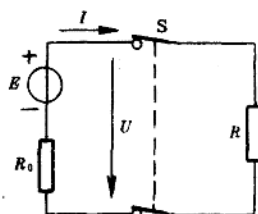


图 1-13 简单电路

$$I = \frac{E_1 + E_2}{R_1 + R_2} = \frac{5 + 5}{2 + 3} = 2A$$

$$V_A = E_1 - IR_1 = 5 - 2 \times 2 = 1V$$

$$V_B = V_A + 5 = 1 + 5 = 6V$$

三、电路的三种状态

电路一般有三种状态,即有载工作状态、开路状态和短路状态。下面以图 1-13 所示的简单电路为例,分别讨论电路三种不同状态下的特征。

在图 1-13 中各物理量的正方向均已标出,其中 E 、 U 和 R_0 分别为电源的电动势、端电压和内阻, R 为负载电阻。开关和联接导线为中间环节。

1. 开路状态

如图 1-13,当开关 S 断开时,电路中无电流通过,则电路称为开路(或空载)状态。开路状态的电源端电压称为开路电压,用 U_0 表示,其值等于电源的电动势,此时负载吸收的功

率为零。开路状态的电路如图 1-14 所示。

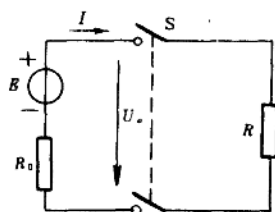


图 1-14 开路状态

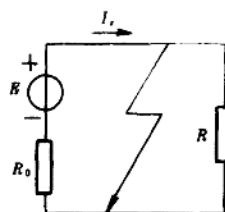


图 1-15 短路状态

开路状态下电路的主要特征为

电路电流： $I=0$

电源端电压： $U=U_0=E$

负载功率： $P=0$

2. 短路状态

在供电线路中，因绝缘损坏或接线有误使电源两端的导线直接相连时，电路中的电流不再通过负载而走捷径流回电源，这种电路状态称为短路状态，如图 1-15 所示。

由于电源内阻 R_0 通常很小，所以短路电流 I_s 很大，电源发出的功率全部由电源内阻 R_0 转换成热能，使电源的温度迅速上升以致烧坏电源。

短路通常是应该避免的电路故障。为了防止短路电流烧坏电源或供电线路，一般在电路中安装熔断器或自动保护装置，一旦发生短路故障，便能迅速切断故障电路，从而防止事故扩大。

短路状态电路的主要特征为

电源端电压 $U=0$

电路电流 $I=I_s=\frac{E}{R_0}$

负载功率 $P=0$

电源功率 $P_E=I_s^2 R_0$

例 1-3. 若电源的开路电压 $U_0=100\text{V}$ ，电源内阻 $R_0=0.5\Omega$ 。试求电源的电动势 E 和短路电流 I_s 。

解

电源电动势 $E=U_0=100\text{V}$

短路电流 $I_s=\frac{E}{R_0}=\frac{100}{0.5}=200\text{A}$

3. 有载工作状态

当图 1-13 中的开关闭合时，接通电源与负载，电路中有电流通过，有能量转换，电路处于有载工作状态。电路中的电流为

$$I=\frac{E}{R_0+R} \quad (1-7)$$

上式表明，当电源电动势 E 和内阻 R_0 为定值时，负载电阻 R 愈小，电流 I 愈大。

负载电阻 R 两端的电压为

$$U = E - IR_0 \quad (1-8)$$

由上式可知,有载工作状态电源的端电压小于电源电动势,其差值为电源内阻上的压降 IR_0 。显然电流愈大,电源内阻上的压降也愈大,电源端电压就愈低。表示电源端电压 U 与负载电流 I 之间的关系曲线称为电源的外特性,如图 1-16 所示。其斜率与电源内阻有关,当 $R_0 \ll R$ 时,电源的端电压

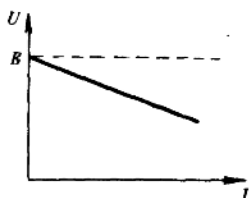


图 1-16 电源的外特性

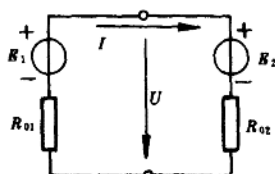


图 1-17 例 1-4 的图

$$U \approx E$$

即当负载电流变化时,电源的端电压几乎不变,此时电源的外特性如图 1-16 中的虚线所示。

将式(1-8)的两边同乘以电流 I ,可得电路功率平衡关系式

$$UI = EI - I^2 R_0 \quad (1-9)$$

简记为

$$P = P_E - \Delta P$$

式中 $P_E = EI$ ——是电源产生的功率;

$\Delta P = I^2 R_0$ ——是电源内阻损耗的功率;

$P = UI$ ——是负载取用的功率。

式(1-7)、(1-8)和(1-9)分别表示电路有载工作状态时的电流、电压和功率的特征。式(1-9)表现出电路中的功率平衡关系。

例 1-4. 如图 1-17 所示。已知电源电动势 $E_1 = 223\text{V}$, $E_2 = 217\text{V}$, 内阻 $R_{01} = R_{02} = 0.5\Omega$ 。

(1)求电路中的电流 I 和电压 U ; (2)求各元件的功率,并验证电路的功率是否平衡。

解

(1)电路中的电流为

$$I = \frac{E_1 - E_2}{R_{01} + R_{02}} = \frac{223 - 217}{0.5 + 0.5} = 6\text{A}$$

端电压为

$$U = E_1 - IR_{01} = 223 - 6 \times 0.5 = 220\text{V}$$

或

$$U = E_2 + IR_{02} = 217 + 6 \times 0.5 = 220\text{V}$$

(2)由于电流 I 与 E_1 的实际方向一致,由电源 E_1 发出功率,起电源作用。其功率为

$$P_{E1} = E_1 I = 223 \times 6 = 1338\text{W}$$

而电流 I 与 E_2 的实际方向相反,则电源 E_2 取用功率,起负载作用。其功率为

$$P_{E2} = E_2 I = 217 \times 6 = 1302\text{W}$$

两个电源内阻损耗的功率分别为

$$\Delta P_1 = I^2 R_{o1} = 6^2 \times 0.5 = 18 \text{ W}$$

$$\Delta P_2 = I^2 R_{o2} = 6^2 \times 0.5 = 18 \text{ W}$$

显然 $P_{E1} = P_{E2} + \Delta P_1 + \Delta P_2$ 电路的功率平衡。

通常判别一个元件是电源还是负载可采用如下方法：

(1) 根据元件电压、电流的实际方向判别。如果一个元件上的电压与电流的实际方向一致，则该元件是负载；反之，一个元件上的电压与电流的实际方向相反，则该元件是电源。如图 1-18 所示，电压的实际方向为由“+”指向“-”，如果电流 I 的值为正，则电流的实际方向与电压的实际方向一致，该元件为负载；如果电流 I 的值为负，则电流的实际方向与电压的实际方向相反，该元件为电源。

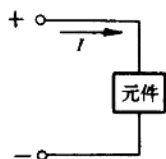


图 1-18 元件的判别

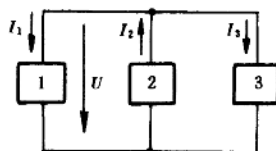


图 1-19 例 1-5 的图

(2) 根据功率计算结果的正负值判别。当元件电压、电流的正方向为关联正方向时，功率用公式 $P = UI$ 计算；当元件电压、电流的正方向为非关联正方向时，功率用公式 $P = -UI$ 计算。如果计算的结果 P 为正值，则该元件是负载；如果计算的结果 P 为负值，则该元件为电源。

例 1-5. 如图 1-19 所示。已知电压 $U = 50 \text{ V}$ ，电流 $I_1 = -10 \text{ A}$ ， $I_2 = -6 \text{ A}$ ， $I_3 = 4 \text{ A}$ 。试判别各元件是电源还是负载。

解

(1) 用第(1)种方法判别。由图 1-19 可知，因电流 I 为负值，元件 1 电压、电流的实际方向相反，则元件 1 为电源。电流 I_2 为负值，元件 2 电压、电流的实际方向一致，则元件 2 为负载。电流 I_3 为正值，元件 3 电压、电流的实际方向一致，则元件 3 为负载。

(2) 用第(2)种方法判别。

元件 1 的功率为： $P_1 = UI_1 = 50 \times (-10) = -500 \text{ W} < 0$ 元件 1 为电源；

元件 2 的功率为： $P_2 = -UI_2 = -50 \times (-6) = 300 \text{ W} > 0$ 元件 2 为负载；

元件 3 的功率为： $P_3 = UI_3 = 50 \times 4 = 200 \text{ W} > 0$ 元件 3 为负载。

通常负载(例如电灯、电动机等)都是并联连接的，由于电源的端电压基本恒定，所以当负载增加(例如并联的负载数目增加)时，则负载所取用的电流和功率都相应增大，电源输出的功率和电流也相应增大。因此，通常讲增大(或减小)负载是指增大(或减小)负载取用的功率和电流，而不是指增大(或减小)负载电阻。

各种电气设备的电压、电流及功率都规定一个限额，这个限额值就称为电气设备的额定值。额定值是制造厂家为了使电气产品在安全、经济运行的前提下规定的容许值。例如灯泡的电压 220V、功率 60W 都是额定值。额定电压、额定电流和额定功率分别用 U_N 、 I_N 和 P_N 表示。大多数电气设备(如电机、变压器等)的寿命与其绝缘材料的耐热性及绝缘强度有关。

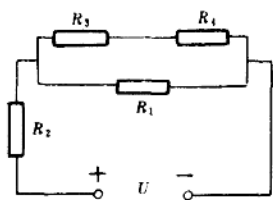


图 1-20 例 1-6 图

当电流超过额定值时,会引起电气设备的温升过高,严重时可使绝缘材料过热而损坏。另外,电压过高有可能击穿绝缘材料。反之,当电流、电压的实际值远小于其额定值时,电气设备得不到充分利用。根据电气设备电压、电流和功率实际值的大小,电气设备可有三种运行状态。当电压、电流和功率的实际值小于其额定值时,称电气设备为欠载(或轻载)运行状态;当电压、电流和功率的实际值大于其额定值时,称电气设备为过载(或超载)运行状态;当电压、电流和功率的实际值等于其额定值时称为满载运行(或称额定工作状态)。电气设备只有在额定状态下工作,才最经济合理、安全可靠。

例 1-6 如图 1-20 所示。已知电阻 R_1 的额定电流为 $I_{1N}=0.5\text{A}$,电阻 R_2 的额定电流 $I_{2N}=0.9\text{A}$,电阻 R_3 、 R_4 的额定电压均为 9V ,即 $U_{3N}=U_{4N}=9\text{V}$ 。当电压 $U=45\text{V}$ 时,各电阻均达到其额定值。

试求:(1)电阻 R_1 、 R_2 的额定电压;(2)电阻 R_3 、 R_4 的额定电流;(3)各电阻的标称值和电路的等效电阻值。

解

(1)电阻 R_1 的额定电压为 $U_{1N}=U_{3N}+U_{4N}=9+9=18\text{V}$

电阻 R_2 的额定电压为 $U_{2N}=U-U_{1N}=45-18=27\text{V}$

(2)电阻 R_3 、 R_4 的额定电流为 $I_{3N}=I_{4N}=I_{2N}-I_{1N}=0.9-0.5=0.4\text{A}$

(3)各电阻的标称值分别为

$$R_1 = \frac{U_{1N}}{I_{1N}} = \frac{18}{0.5} = 36\Omega \quad R_2 = \frac{U_{2N}}{I_{2N}} = \frac{27}{0.9} = 30\Omega$$

$$R_3 = \frac{U_{3N}}{I_{3N}} = \frac{9}{0.4} = 22.5\Omega \quad R_4 = \frac{U_{4N}}{I_{4N}} = \frac{9}{0.4} = 22.5\Omega$$

$$\text{电路的等效电阻为 } R = R_2 + \frac{R_1(R_3+R_4)}{R_1+R_3+R_4} = 30 + \frac{36(22.5+22.5)}{36+22.5+22.5} = 50\Omega.$$

〔练习与思考〕

1-1-1 如图 1-21 所示。设 $U_1=10\text{V}$, $U_2=-10\text{V}$ 。试计算电压 U ,并标出各电压的实际方向。

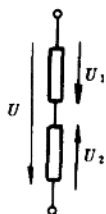


图 1-21 练习与思考 1-1-1 图

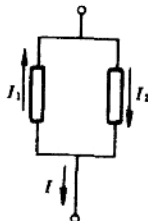


图 1-22 练习与思考 1-1-2 图

1-1-2 在图 1-22 中,设电流 $I_1=-1\text{A}$, $I_2=2\text{A}$ 。试计算电流 I ,并画出各电流的实际方向

向。

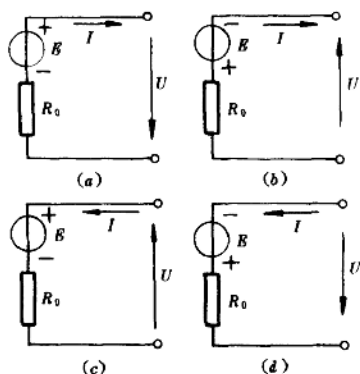


图1-23 练习与思考1-1-3图

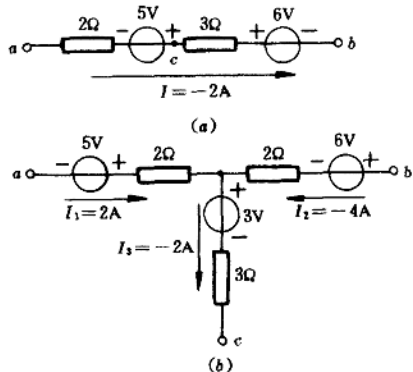


图1-24 练习与思考1-1-4图

1-1-3 如图1-23,试写出求电流 I 的表达式。

1-1-4 求图1-24中的电压 U_{ab} 、 U_{bc} 、 U_{ac} 。

1-1-5 一个电源的内阻为 0.5Ω ,在不接负载时,测得其开路电压为 $24V$ 。

(1)求电源的短路电流。

(2)当外接负载电阻为 11.5Ω 时,求负载的电流和功率。

1-1-6 在图1-25中,已知电压 $U = 220V$,电流 $I = -2A$ 。试判别各元件是电源还是负载。

1-1-7 在图1-26中,设电动势 $E_1 = 15V$, $E_2 = 5V$;电阻 $R_1 = 2\Omega$, $R_2 = 3\Omega$ 。试求 a 、 b 、 c 各点对参考点的电位。

1-1-8 试计算图1-27所示的电路在开关 S 断开和闭合时 A 、 B 两点的电位。

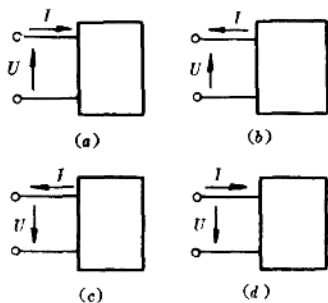


图1-25 练习与思考1-1-6图

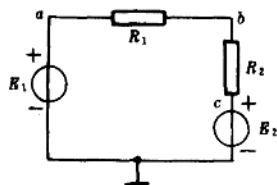


图1-26 练习与思考1-1-7图

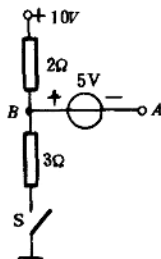


图1-27 练习与思考1-1-8图

第二节 基尔霍夫定律

基尔霍夫定律是德国物理学家 G·基尔霍夫 1847 年创立的,它是电路分析计算的重要定律。基尔霍夫定律分为基尔霍夫电流定律(又称第一定律,缩写为 KCL)和基尔霍夫电压定律(又称第二定律,缩写为 KVL)。为了便于介绍基尔霍夫定律的内容,首先解释几个有关的名词术语。

支路:电路中的每个分支称为支路,一条支路流过一个电流,称为支路电流。例如,图 1-28 中有三条支路,这三条支路的电流分别为 I_1 、 I_2 和 I_3 ,其正方向如图所示。

节点:三条或三条以上支路的联接点称为节点。

图 1-28 中有两个节点 A 和 B。

回路:由支路所组成的闭合电路称为回路。图 1-28 中共有三个回路:ABCA、ABDA 和 ADBCA。

一、基尔霍夫电流定律(KCL)

基尔霍夫电流定律是关于电路中任一节点上各支路电流之间关系的定律。其内容是:在任一瞬间,流向任一节点的电流之和等于流出该节点的电流之和,即

$$\sum I_{\text{入}} = \sum I_{\text{出}} \quad (1-10)$$

在图 1-28 所示的电路中,节点 A 汇集了三条支路,根据图中标的支路电流正方向可列出节点 A 的电流方程为

$$I_1 + I_2 = I_3 \quad (1-11)$$

上式又可改写为

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

对多个支路的节点,基尔霍夫电流定律可表示为

$$\sum I = 0 \quad (1-12)$$

上式表明,在任一瞬时,任一节点上电流的代数和恒等于零。应用式(1-12)列电流方程时,应注意正负号的选取。如果流入节点的电流取正号,则流出节点的电流应取负号;反之,如果流入节点的电流取负号,则流出节点的电流应取正号。由于节点电流方程是根据支路电流的正方向列出的,所以不必考虑各支路电流的实际方向,列方程前应在电路图上标出各支路电路的正方向。

基尔霍夫电流定律不仅适用于节点,也可推广到电路中的任何一个闭合面(又称广义节点)。如图 1-29 所示的三角形电路,它有三个节点 A、B、C,应用基尔霍夫电流定律可列出三个电流方程

$$I_A = I_{AB} - I_{CA}$$

$$I_B = I_{BC} - I_{AB}$$

$$I_C = I_{CA} - I_{BC}$$

将上述三式相加,得

$$I_A + I_B + I_C = 0$$

对包含多条支路的广义节点,基尔霍夫电流定律也可表示为

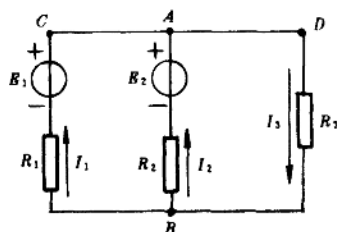


图 1-28 电路示例

$$\Sigma I = 0$$

上式表明:任一瞬时,流入任一闭合面(或称广义节点)的电流代数和恒等于零。

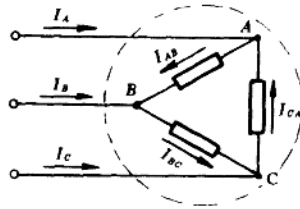


图1-29 电流定律的推广

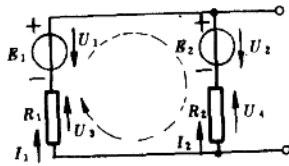


图1-30 回路示例

二、基尔霍夫电压定律(KVL)

基尔霍夫电压定律是有关闭合回路中各段电压之间关系的定律。其内容是:如果从回路中的任意一点出发,以顺时针方向(或逆时针方向)沿闭合回路绕行一周,则在这个方向上的电位升之和应等于电位降之和,即

$$\Sigma V_{\text{升}} = \Sigma V_{\text{降}} \quad (1-13)$$

如图1-30(图1-28的一部分),电流和电压的正方向均已标出。按虚线所示的绕行方向沿闭合回路绕行一周,电位升之和为

$$\Sigma V_{\text{升}} = U_1 + U_4$$

电位降之和为

$$\Sigma V_{\text{降}} = U_2 + U_3$$

则

$$U_1 + U_4 = U_2 + U_3 \quad (1-14)$$

上式可改写为

$$U_1 - U_2 - U_3 + U_4 = 0$$

即

$$\Sigma U = 0 \quad (1-15)$$

因此,基尔霍夫电压定律又可表述为:在任一瞬时,按任一回路绕向,沿回路绕行一周,回路中各段电压的代数和等于零。应用式(1-15)列回路电压方程时,如果电压的正方向与回路绕向一致者取正号,则相反者取负号;反之,如果电压的正方向与回路绕向一致者取负号,相反者则取正号。

在图1-30所示的电路中, $U_1 = E_1$, $U_2 = E_2$, $U_3 = I_1 R_1$, $U_4 = I_2 R_2$

则式(1-14)可代换成

$$E_1 + I_2 R_2 = E_2 + I_1 R_1$$

或

$$E_1 - E_2 = I_1 R_1 - I_2 R_2$$

即

$$\Sigma E = \Sigma (IR) \quad (1-16)$$

式(1-16)是基尔霍夫电压定律的另一种表达式,即在任一瞬时,按任一方向沿闭合回路绕行一周,回路中电动势的代数和等于回路中电阻压降的代数和。应用式(1-16)列回路电压方程时,应注意式中正负号的确定。当电动势及电流的正方向与回路绕向一致者取正号,不一致