



石油高职高专规划教材

# 电工与电子技术

李 丽 主编



石油工业出版社  
Petroleum Industry Press

石油高职高专规划教材

# 电工与电子技术

李 丽 主编

石油工业出版社

## 内 容 提 要

本书注重基本概念、基本分析方法的叙述;注重应用和基本技能的培养;注重职业素质和创新能力的培养,特别适应高等职业教育发展的需要。本书可与《电工与电子技术实训指导》配套使用。

全书共十七章,分为电工技术、模拟电子技术和数字电子技术三部分。主要内容有直流电路、正弦交流电路、电磁电器与电磁设备、继电—接触器控制系统、电工测量、基本放大电路、反馈放大电路与集成运算放大电路、功率放大电路及其应用、直流稳压电源、晶闸管及其应用、逻辑代数基础、逻辑门电路、组合逻辑电路、集成触发器、时序逻辑电路、脉冲信号的产生与整形、数模与模数转换器。

本书既可作为高职高专院校石油、化工、计算机、机械、应用电子等专业的“电工与电子技术”课程的教材,也可供工程技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

电工与电子技术/李丽主编.

北京:石油工业出版社,2007.3

石油高职高专规划教材

ISBN 978-7-5021-5920-7

I. 电…

II. 李…

III. ①电工技术-高等学校:技术学校-教材

②电子技术-高等学校:技术学校-教材

IV. TMTN

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第004950号

---

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里2区1号 100011)

网 址:www.petropub.cn

发行部:(010)64210392

经 销:全国新华书店

排 版:北京乘设伟业科技排版中心

印 刷:石油工业出版社印刷厂

---

2007年3月第1版 2007年3月第1次印刷

787×1092毫米 开本:1/16 印张:18

字数:453千字 印数:1—3000册

---

定价:27.00元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

# 前 言

本书是根据教育部最新制定的《高职高专教育基础课程教学基本要求》，并在多年教学实践的基础上编写的。针对高职高专院校石油、化工、计算机、机械、应用电子等专业的实际情况，在内容上，以能力培养为本，以适度够用为原则，注重基本概念、基本分析方法的叙述；注重应用和基本技能的培养；注重职业素质和创新能力的培养，适应高等职业教育发展的需要。本书具有以下特点：

(1) 基础理论的阐述力求概念准确，语言简洁，突出高职、高专教育的特色，在满足基础理论必需、够用的前提下，更多地强调实际应用。

(2) 为了适应工程实际的需要，在保持电工与电子技术理论完整的基础上，舍去了复杂的理论分析，删减了较为过时的内容，适当引入了新的技术成果和工程实例。

(3) 注重将理论讲授与技能训练相结合，理论讲授贯穿其应用性，以基本技能和应用为主，实现在工程方面的应用。

(4) 注重分析问题、解决问题能力的培养，结合工程实际安排教学内容。

(5) 根据电工与电子技术基础知识特点，按照高职高专教学要求，融知识、能力、技能和实用为一体。

全书由电工技术、模拟电子技术和数字电子技术三部分组成。每章附有习题，供读者练习。本书与《电工与电子技术实训指导》配套使用。

本书共 17 章。其中，大庆石油学院秦皇岛分院陈惟岐、原大明编写第一、第二章；渤海石油职业学院袁勇、郑文清、史通田分别编写第三、第四、第十章；山东胜利职业学院李德龙编写第五章；辽河石油职业技术学院贯宇、郑晓莲编写第六章；大庆职业学院朱秀兰、付慧敏、张琳分别编写第七、第八、第九章；承德石油高等专科学校孙立永编写第十一章；天津工程职业技术学院李丽编写第十二、第十三章、付红霞编写第十四、第十五章、张兴钟编写第十六、第十七章。

全书由李丽担任主编，陈惟岐、朱秀兰、贯宇担任副主编。

由于编者水平所限，书中难免存在一些问题，恳请读者批评指正。

编 者

2006 年 12 月

# 目 录

<b>第一章 直流电路</b> .....	(1)
第一节 电路的基本知识 .....	(1)
第二节 基尔霍夫定律 .....	(7)
第三节 电路分析方法 .....	(8)
第四节 电源等效变换 .....	(11)
第五节 电路定理 .....	(13)
第六节 电路中电位的计算 .....	(16)
习 题 .....	(16)
<b>第二章 正弦交流电路</b> .....	(20)
第一节 正弦量基本概念及相量表示法 .....	(20)
第二节 KVL、KCL 及元件伏安关系的相量形式 .....	(23)
第三节 正弦电路的一般分析方法 .....	(26)
第四节 正弦电路的功率 .....	(28)
第五节 电路的谐振 .....	(31)
第六节 三相电路 .....	(33)
习 题 .....	(40)
<b>第三章 电磁电器与电磁设备</b> .....	(42)
第一节 磁 路 .....	(42)
第二节 变 压 器 .....	(47)
第三节 三相交流异步电动机 .....	(50)
第四节 单相交流异步电动机 .....	(57)
第五节 直流电动机 .....	(61)
习 题 .....	(64)
<b>第四章 继电—接触器控制系统</b> .....	(65)
第一节 常用控制电器 .....	(65)
第二节 三相异步电动机的基本控制电路 .....	(70)
第三节 控制电路应用举例 .....	(72)
第四节 安全用电 .....	(75)
习 题 .....	(80)
<b>第五章 电工测量</b> .....	(81)
第一节 常用电工仪表的类型、误差和准确度 .....	(81)
第二节 电流、电压及功率的测量 .....	(83)
第三节 电阻的测量 .....	(88)

习 题 .....	(91)
<b>第六章 基本放大电路</b> .....	(93)
第一节 常用半导体器件 .....	(93)
第二节 基本放大电路 .....	(100)
第三节 其他放大电路 .....	(109)
第四节 多级放大电路 .....	(113)
习 题 .....	(117)
<b>第七章 反馈放大电路与集成运算放大电路</b> .....	(120)
第一节 差分放大电路 .....	(120)
第二节 集成运算放大电路 .....	(125)
第三节 负反馈放大器 .....	(127)
第四节 集成运算放大电路的应用 .....	(133)
第五节 正弦波振荡电路 .....	(141)
习 题 .....	(146)
<b>第八章 功率放大电路及其应用</b> .....	(151)
第一节 功率放大器 .....	(151)
第二节 功率放大器的应用 .....	(155)
习 题 .....	(158)
<b>第九章 直流稳压电源</b> .....	(159)
第一节 直流稳压电源的组成和技术指标 .....	(159)
第二节 整流和滤波电路 .....	(160)
第三节 稳压二极管稳压电路 .....	(167)
第四节 串联型晶体三极管稳压电路 .....	(168)
第五节 开关稳压电路 .....	(169)
习 题 .....	(171)
<b>第十章 晶闸管及其应用</b> .....	(172)
第一节 晶闸管 .....	(172)
第二节 晶闸管应用 .....	(175)
习 题 .....	(183)
<b>第十一章 逻辑代数基础</b> .....	(184)
第一节 数制与编码 .....	(184)
第二节 逻辑代数 .....	(190)
第三节 逻辑代数的基本定律和规则 .....	(192)
第四节 逻辑函数的公式化简法 .....	(194)
习 题 .....	(196)
<b>第十二章 逻辑门电路</b> .....	(197)
第一节 基本逻辑门电路 .....	(197)
第二节 集成门电路 .....	(201)

第三节	常用集成电路芯片及应用 .....	(205)
习题	.....	(207)
<b>第十三章</b>	<b>组合逻辑电路</b> .....	(210)
第一节	组合逻辑电路的分析与设计 .....	(210)
第二节	常用组合逻辑电路 .....	(214)
习题	.....	(224)
<b>第十四章</b>	<b>集成触发器</b> .....	(226)
第一节	触发器的基本形式 .....	(226)
第二节	主从触发器 .....	(230)
第三节	边沿触发器 .....	(232)
习题	.....	(235)
<b>第十五章</b>	<b>时序逻辑电路</b> .....	(239)
第一节	时序逻辑电路的分析方法 .....	(239)
第二节	计数器 .....	(242)
第三节	寄存器和移位寄存器 .....	(248)
第四节	同步时序逻辑电路的设计 .....	(252)
习题	.....	(255)
<b>第十六章</b>	<b>脉冲信号的产生与整形</b> .....	(256)
第一节	施密特触发器 .....	(256)
第二节	多谐振荡器 .....	(258)
第三节	单稳态触发器 .....	(260)
第四节	555 定时器及应用 .....	(263)
习题	.....	(266)
<b>第十七章</b>	<b>数模与模数转换器</b> .....	(268)
第一节	D/A 转换器 .....	(268)
第二节	A/D 转换器 .....	(270)
习题	.....	(275)
<b>参考文献</b>	.....	(277)

# 第一章 直流电路

直流电路是指电路中的电信号大小和方向都不随时间而变化的电路。本章以直流电路为对象,讲述用于电路分析计算的最基本最重要的知识,介绍电路的基本概念(电路的组成和模型,参考方向的确定,电路的基本物理量),电路的基本分析方法和常用的定理和定律。

## 第一节 电路的基本知识

### 一、电路和电路模型

#### (一) 电路

电路是指各种电器设备按一定的方式连接起来,提供电流流动的通路。

实际电路的组成形式多种多样,所用设备器件的性质和数量各不相同,通常可以归纳为3个组成部分,如图1-1所示。

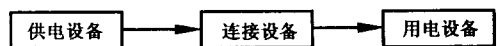


图 1-1 实际电路基本组成

(1) 供电设备,在电路中通常称为电源,如电池等可以提供电能的装置。从电源输出的电压或电流常称为激励。

(2) 用电设备,在电路中通常称为负载,如灯泡等消耗电能的装置。在电源的作用下,负载上的电压或电流称为响应。

(3) 连接设备,用来连接电源和负载的中间装置,如导线是最常用的连接装置。

#### (二) 电路模型

在工作和日常生活中常遇到的都是一些实际电路,它们是可见的,由具体的各种器件构成,可以直观到器件的形状、连接。然而能否直接对这样的电路进行分析计算呢?通常来说是不可以的。这是因为实际的电路器件在工作时,其性质比较复杂,直接进行分析计算有很多困难。例如,实际用的导线可以说是最简单的器件,在电路中起连接作用,但是由于它本身是铜、铁等金属构成,当有电流通过时会消耗一些电能,因此对电路进行分析计算时要考虑它的电阻特性,如果电路更加复杂的话,还要考虑导线的电容特性和电感特性。

为了解决这些问题,引入理想元件和理想电路的概念。

所谓理想元件,是指在理论上人为定义的、性质单一的假想元件,而由理想元件构成的电路称为理想电路。在理想电路中,由于器件性质单一,通常进行分析计算比较容易。例如,理想导线在电路中只具有连接作用。

进行实际电路分析的基本思想是:根据具体情况,将性质复杂的实际元件分解为理想元件,用理想元件及其组合反映实际元件的性质,由理想元件对实际元件进行替换,得到理想电路,使分析计算简化。理想电路是实际电路的模型。

注意,在今后的电工基础课程中,如果不特别指出,所涉及的元件和电路都是指理想元件和理想电路。



## 二、电压和电流的参考方向

### (一) 电流

电流是指电荷的定向移动。电流的大小称为电流强度,简称电流,符号为  $I$ ,是指单位时间内通过导体横截面的电荷量。国际单位制中,电流的单位是安培(安),用符号 A 表示。

通常规定正电荷的移动方向为电流的方向。

### (二) 电压

电压是使自由电荷定向移动形成电流的原因,符号为  $U$ 。它用来衡量电场力对电荷做功的能力。国际单位制中,电压的单位是伏特(伏),用符号 V 表示。

通常规定电场力移动正电荷的方向为电压方向。

注意,电压和电流都是既有方向又有大小的物理量。

### (三) 实际方向与参考方向

所谓实际方向是指符合物理规律、客观存在的方向。上述对电压、电流规定的方向即实际方向。通常对于一些简单的电路,可以直接确定其中的各个电压、电流方向,从而进行相应的分析计算。然而在一些比较复杂的电路中,确定电压或电流的实际方向通常很困难,这给电路分析带来很多不便。

为了解决这个问题,引入参考方向这个重要概念。

所谓参考方向,是在分析计算电路时,对电路中的电压或电流,人为任意指定的方向。

由于参考方向是任意指定的,那么参考方向与实际方向就会存在两种可能的关系,即相同或相反。通常规定,当参考方向与实际方向相同时,电压或电流的值为正;当参考方向与实际方向相反时,电压或电流的值为负。

如图 1-2 所示,以电流为例说明实际方向与参考方向的关系,图中实线方向表示参考方向,虚线方向表示实际方向。在图 1-2(a)中,参考方向与实际方向相同,电流  $I > 0$ ;在图 1-2(b)中,参考方向与实际方向相反,电流  $I < 0$ 。

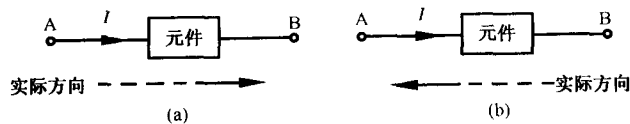


图 1-2 电流的参考方向与实际方向

在以后的电路分析中,完全不必考虑各电流、电压的实际方向,而应首先在电路中标定它们的参考方向,然后根据参考方向列写有关电路方程,最终电流或电压计算结果的正负值与标定的参考方向就反映了它们的实际方向。

对于同一个元件或同一段电路上的电压和电流的参考方向,彼此可相互独立地任意选定,即电流和电压的参考方向可以相同也可以相反。当电压参考方向与电流参考方向相同时,称其为关联参考方向;当电压参考方向与电流参考方向相反时,称其为非关联参考方向。

在图 1-3(a)中,电流参考方向由 A 向 B,电压参考方向也由 A 向 B,所以电流和电压是关联的参考方向;而在图 1-3(b)中,电流参考方向由 A 向 B,电压参考方向由 B 向 A,所以电压和电流是非关联的参考方向。

习惯上通常将电压和电流标定为关联参考方向,并且参考方向一经选定,在分析电路的过程中就不能再变动。

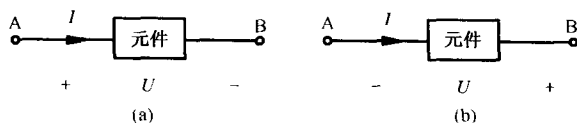


图 1-3 关联参考方向与非关联参考方向

### 三、功率和能量

#### (一) 功率

单位时间内电路吸收或释放的电能称为功率,用符号  $P$  表示,计算公式为

$$P = UI \quad (1-1)$$

式中  $P$ ——功率,反映电路吸收或释放电能的快慢, W;

$U$ ——直流电压, V;

$I$ ——直流电流, A。

对于一段电路,当电压和电流为关联参考方向时,若功率  $P > 0$ ,则表示这段电路在吸收功率;若功率  $P < 0$ ,则表示这段电路在释放功率。

#### (二) 能量

电路吸收或释放的电能,用符号  $W$  表示,公式为

$$W = Pt \quad (1-2)$$

式中  $W$ ——能量, J;

$P$ ——功率, W;

$t$ ——时间, s。

注意,根据能量守恒原理,在一个电路中,有释放能量的元件(供电),必定还有消耗能量的元件(耗电),所以整个电路的能量处于一种平衡状态。

### 四、电阻元件和电源元件

#### (一) 电阻元件和欧姆定律

##### 1. 电阻元件

这里所说的电阻元件,不是指实际使用的电阻,而是一种理想元件,用来反映电路器件消耗电能的物理特性。可以认为,实际使用的任何设备器件,只要消耗电能,就具有电阻特性。

##### 2. 欧姆定律

欧姆定律反映了电阻元件的两端电压与通过电流之间的关系即伏安特性。

应用欧姆定律时要注意电压和电流的参考方向,如图 1-4 和图 1-5 所示分别表示关联参考方向和非关联参考方向下的欧姆定律。

在电压和电流的关联参考方向下,欧姆定律的表达式为

$$U = IR \quad (1-3)$$

式中  $U$ ——直流电压, V;

$I$ ——直流电流, A;

$R$ ——电阻,  $\Omega$ 。

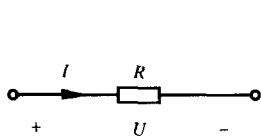


图 1-4 关联参考方向下的电阻欧姆定律

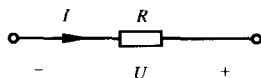
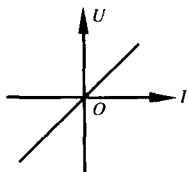
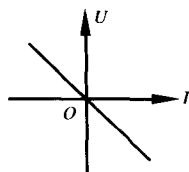


图 1-5 非关联参考方向下的电阻欧姆定律



在电压和电流的非关联参考方向下,欧姆定律的表达式为

$$U = -IR \quad (1-4)$$

式中  $U$ ——直流电压, V;

$I$ ——直流电流, A;

$R$ ——电阻,  $\Omega$ 。

**例 1-1** 在图 1-6 中,电压和电流的参考方向已经标定,试用欧姆定律分别求解图 1-6(a)和图 1-6(b)中的未知量。

**解:**应用欧姆定律进行求解时,要注意电压和电流的参考方向,判断电压和电流是关联参考方向还是非关联参考方向。

在图 1-6(a)中电压和电流是关联参考方向。使用对应的欧姆定律表达式(1-3)求得

$$R = \frac{U}{I} = \frac{2}{1} = 2(\Omega)$$

注意图中电流  $I=1\text{A}$  为正值,表示标定的电流参考方向与实际方向相同。

在图 1-6(b)中是非关联参考方向。使用对应的欧姆定律表达式(1-4)求得

$$U = -IR = -1 \times 2 = -2(\text{V})$$

计算结果  $U = -2\text{V}$ ,是一个负值,表示图中标定的电压参考方向与实际方向相反。

## (二) 电阻元件的连接

### 1. 电阻串联

把两个或更多个电阻一个接着一个连接起来,称为电阻的串联。如图 1-7 所示,即为 3 个电阻的串联。

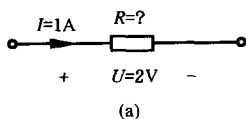


图 1-6 例 1-1 图

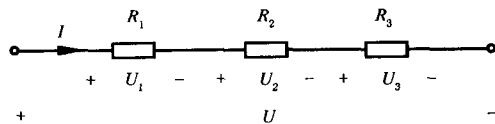
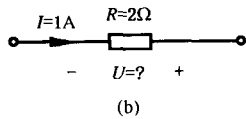


图 1-7 电阻串联

串联电路的特点:

(1) 这些电阻中通过相同的电流。

(2) 总电压  $U$  等于各电阻上电压之和,即

$$U = U_1 + U_2 + U_3$$

(3) 串联电路的等效电阻(即总电阻) $R$  等于各个串联电阻之和,即

$$R = R_1 + R_2 + R_3$$

## 2. 电阻并联

把两个或更多个电阻连接在相同的两点之间,称为电阻的并联。如图 1-8 所示,即为 3 个电阻的并联。

并联电路的特点:

- (1) 这些电阻具有相同的电压。
- (2) 总电流  $I$  等于各个电阻的电流之和,即

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

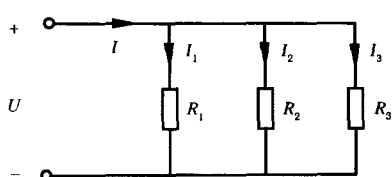


图 1-8 电阻并联

(3) 并联电路等效电阻(即总电阻) $R$  的倒数等于各电阻倒数之和,即

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

## 3. 电阻混联

既有电阻串联又有电阻并联的电路称为电阻的混联,混联电路的等效电阻(即总电阻) $R$  可用串、并联的计算公式化简求得。

### (三) 电源元件

电源是将其他形式能量转换成电能的装置,称为有源元件。在电路中电源通常起到供电的作用,下面介绍电源的两种电路模型(即理想电源)。

#### 1. 电压源

电压源是理想电压源的简称,其基本特点是:

- (1) 电压源的电压是固定的,与具体连接电路无关。
- (2) 电压源的电流是不固定的,取决于外电路。理想电压源的表示符号和伏安特性分别如图 1-9(a) 和图 1-9(b) 所示。

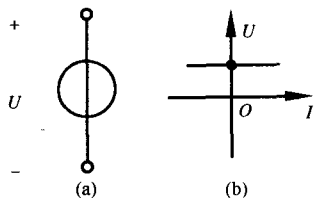


图 1-9 理想电压源

#### 2. 电流源

电流源是理想电流源的简称,其基本特点是:

- (1) 电流源的电流是固定的,与具体连接电路无关。
- (2) 电流源的电压是不固定的,取决于外电路。

理想电流源的表示符号和伏安特性分别如图 1-10(a) 和图 1-10(b) 所示。

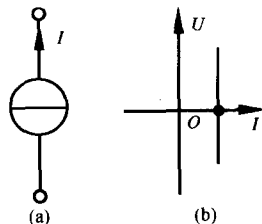


图 1-10 理想电流源

注意,理想电压源和理想电流源是理想元件,实际上是不存在的,但是性质简单,便于简化电路的分析计算。

#### (四) 实际电源模型

上面,我们对电源的两种模型做了简单介绍,注意到理想电源不具有电阻特性,即没有电能的损耗。但实际使用的电源虽然提供电能,却不可能完全将电能提供给用电设备,电源内部也要消耗电能,具有内部电阻。据此给出两种实际电源模型。

##### 1. 实际电压源模型

如图 1-11(a) 所示,理想电压源和电阻串联表示实际电压源,伏安特性如图 1-11(b) 所示,表达式为

$$U = U_s - IR_s \quad (1-5)$$

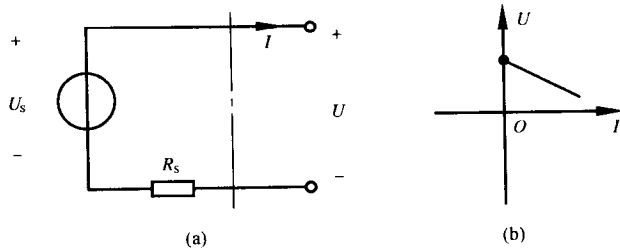


图 1-11 实际电压源模型

##### 2. 实际电流源模型

如图 1-12(a) 所示,理想电流源和电阻并联表示实际电流源,伏安特性如图 1-12(b) 所示,表达式为

$$I = I_s - \frac{U}{R_s} \quad (1-6)$$

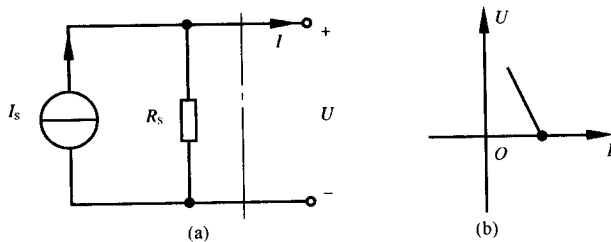


图 1-12 实际电流源模型

### 五、电路的工作状态

根据电源和负载设备的连接情况,电路具有 3 种工作状态:开路、短路和有载。下面分别进行讨论。

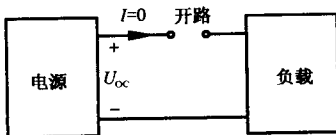


图 1-13 电路开路状态

#### (一) 开路状态

电路处于断开状态,如图 1-13 所示,此时电源与负载没有连通,导致负载上的电流为零,电源不输出功率。这种状态下,电源两端的电压称为开路电压,用  $U_{oc}$  表示。

## (二) 短路状态

电源两端因某种原因不经负载就直接通过导线相连,如

图 1-14 所示。这种状态下,没有电流经过负载,电源的两端电压为零,电源不输出功率。

短路时电源的输出电流称为短路电流,由  $I_{sc}$  表示。

## (三) 有载状态

电源和负载通过连接设备连接,如图 1-15 所示,这时,电源输出功率,负载吸收功率,整个电路处于稳定平衡状态。

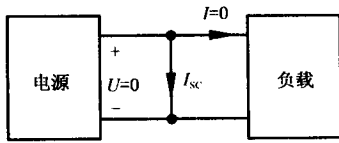


图 1-14 电路短路状态

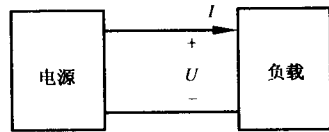


图 1-15 电路有载状态

通常情况下,实际电路要工作于有载状态,而避免开路 and 短路状态。

## 第二节 基尔霍夫定律

基尔霍夫定律是电路分析的最基本定律,在遵循能量守恒基本规律的前提下,适用于任何形式的电路分析。

下面首先介绍电路中几个常用的基本概念。

(1) 支路是指没有分支的一段电路,电路中流过相同的电流。图 1-16 中共有 3 条支路,通过的电流分别为  $I_1$ 、 $I_2$ 、 $I_3$ 。

(2) 节点是指 3 条或 3 条以上支路的连接点。图 1-16 中共有 B、E 两个节点。

(3) 回路是指电路中任一闭合路径。图 1-16 中共有 ABEFA、BCDEB、ACDFA 三个回路。

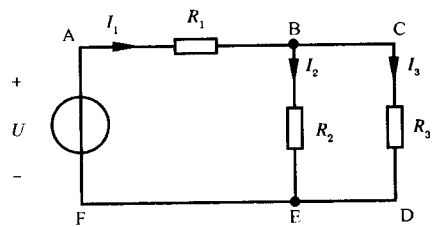


图 1-16 电路举例

### 一、基尔霍夫电流定律

基尔霍夫电流定律也称为基尔霍夫第一定律,简称 KCL。定律内容为:对于电路中的任一节点,在任一时刻,流入节点的电流和等于流出节点的电流和。数学表达式为

$$\sum I_1 = \sum I_2 \quad (1-7)$$

基尔霍夫电流定律通常用于节点。注意,还可推广用于包含几条支路的封闭面。

**例 1-2** 电路如图 1-17 所示,已知电路中的  $I_1 = 1A$ ,  $I_2 = 3A$ ,  $I_4 = 10A$ ,求元件  $R_3$  中的电流  $I_3$ 。

**解:**对于节点 B,流入电流为  $I_4$ ,流出电流为  $I_1$ 、 $I_2$ 、 $I_3$ ,根据 KCL 基尔霍夫电流定律列方程有

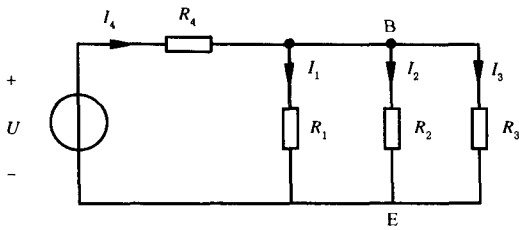


图 1-17 例 1-2 图

$$I_1 + I_2 + I_3 = I_4$$

$$I_3 = I_4 - I_1 - I_2 = 10 - 1 - 3 = 6(\text{A})$$

## 二、基尔霍夫电压定律

基尔霍夫电压定律也称为基尔霍夫第二定律,简称 KVL。定律内容为:对于电路中的任一回路,在任一时刻,沿回路环绕一周(顺时针或逆时针),组成回路所有支路电压的代数和为零。数学表达式为

$$\sum U = 0 \quad (1-8)$$

基尔霍夫电压定律通常用于回路。注意,使用它分析电路时,要先确定回路环绕方向,可以是顺时针,也可以是逆时针。根据回路中各段电压参考方向与环绕方向相同或相反,选取正负,组成回路所有支路电压的代数和为零。通常规定,若电压参考方向与环绕方向相同,则该电压项前加正号,否则加负号。

**例 1-3** 电路如图 1-18 所示,已知电路中的  $U = 10\text{V}$ ,  $U_1 = 2\text{V}$ ,  $U_3 = -3\text{V}$ ,  $U_4 = -4\text{V}$ , 求元件  $R_2$  两端电压  $U_2$ 。

**解:** 确定电路环绕方向为顺时针,如图 1-18 所示。

电路中  $U_1$  参考方向与环绕方向相同,则取正,表示为  $U_1$ ;  $U$ 、 $U_2$ 、 $U_3$ 、 $U_4$  参考方向与环绕方向相反,则取负,表示为  $-U$ 、 $-U_2$ 、 $-U_3$ 、 $-U_4$ 。根据 KVL 定律,列方程有

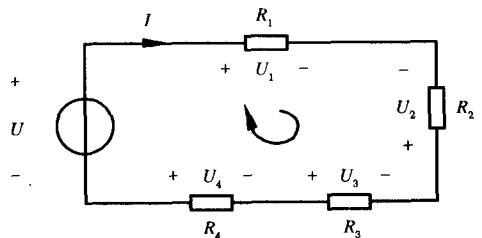


图 1-18 例 1-3 图

$$U_1 + (-U_2) + (-U_3) + (-U_4) + (-U) = 0$$

$$2 + (-U_2) + 3 + 4 + (-10) = 0$$

$$U_2 = -1(\text{V})$$

## 第三节 电路分析方法

电路分析的基本目的,就是针对各种电路,由已知量求未知量。对形式比较简单的电路求解单一的未知量,可以直接用上节介绍的基尔霍夫定律列方程进行求解。但是对于连接形式比较复杂的电路,要求解的未知量很多,问题就有些复杂。

本节将讲述两种常用的电路分析方法:支路电流法和节点电压法。

## 一、支路电流法

支路电流法就是以支路电流作为未知量,按照 KCL(基尔霍夫电流定律)、KVL(基尔霍夫电压定律)、VCR(欧姆定律)三定律建立电路方程,然后求解,从而得到各支路电流。一旦支路电流解得,则相应的支路电压和功率也不难求得,以此可以全面地分析求解电路。

假设电路中具有  $n$  个节点、 $b$  条支路,用支路电流法分析电路的一般步骤为:

- (1) 选定  $b$  条支路电流的参考方向,并将它们作为电路未知量。
- (2) 对任意  $(n-1)$  个节点列写 KCL 方程。
- (3) 对  $b-(n-1)$  个回路列写 KVL 方程。
- (4) 对上述  $b$  个方程联立求解,得到各支路电流。
- (5) 如果需要,可进一步求解电压和功率。

**例 1-4** 电路如图 1-19 所示,用支路电流法求电路中的各支路电流。

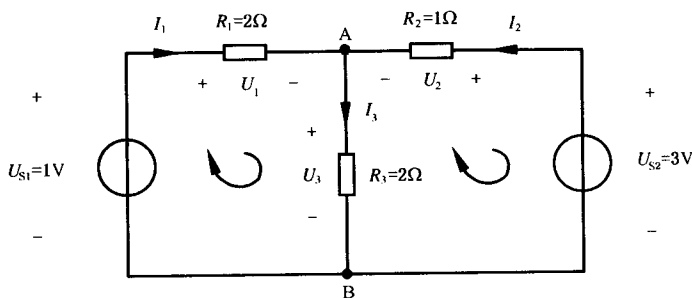


图 1-19 例 1-4 图

**解:** 观察电路可知,电路中节点数  $n=2$ ,支路数  $b=3$ ,根据支路电流法:

(1) 选定 3 条支路的电流参考方向,如图 1-19 所示,将  $I_1$ 、 $I_2$ 、 $I_3$  作为待求未知量。

(2) 对  $(n-1)$  个节点列写 KCL 方程,图 1-19 中共有 A、B 两个节点, $n-1=1$ ,只需列一个 KCL 方程,这里选取 A 节点列方程得

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

(3) 对  $b-(n-1)$  个回路列写 KVL 方程,由于  $b-(n-1)=2$ ,所以需要列写两个 KVL 方程。

对图 1-19 中左边的回路列 KVL 方程得

$$U_1 + U_3 - U_{S1} = 0$$

因为

$$U_1 = I_1 R_1 = 2I_1$$

$$U_3 = I_3 R_3 = 2I_3$$

$$U_{S1} = 1(\text{V})$$

所以左边回路 KVL 方程最终为

$$2I_1 + 2I_3 - 1 = 0 \quad (2)$$

类似地,对图 1-19 中右边回路列 KVL 方程得

$$-I_2 - 2I_3 + 3 = 0 \quad (3)$$



将一个节点 KCL 方程和两个回路 KVL 方程即式(1)、(2)、(3)联立求解,得

$$I_1 = -\frac{3}{8}(\text{A}), I_2 = \frac{5}{4}(\text{A}), I_3 = \frac{7}{8}(\text{A})$$

## 二、节点电压法

在电路中,独立节点与参考节点之间的电压称为节点电压。任意指定一个节点作为参考节点(简称为参考点),取其他各节点(称为独立节点)对参考节点的电压作为未知变量,应用 KCL、KVL、VCR 三定律列写电路方程,称为节点电压法。一旦各节点电压求得,则各支路的电流和电压也将随之得到。

假设电路中有  $n$  个节点,使用节点电压法求解电流的一般步骤为:

- (1) 选定参考节点并用“ $\perp$ ”符号标注,以其余各独立节点的节点电压作为电路未知量。
- (2) 列写  $(n-1)$  个节点电压方程。
- (3) 联立方程组,求解各节点电压。
- (4) 进一步求解各支路电压。
- (5) 选定各支路电流参考方向,根据各支路伏安特性,求得各支路电流。

注意,各节点电压的参考方向均是由独立节点指向参考节点。

**例 1-5** 电路如图 1-20 所示,用节点电压法求解各支路电流。

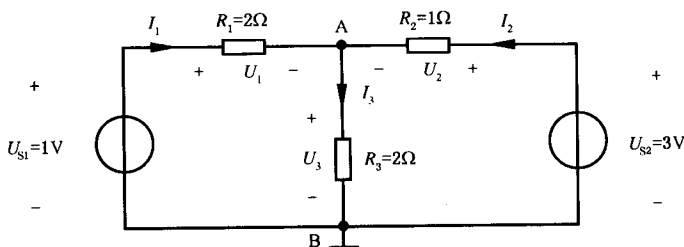


图 1-20 例 1-5 图

**解:**由图 1-20 可知,电路中有 A、B 两个节点。取节点 B 作为参考节点,节点电压  $U_B = 0\text{V}$ ;节点 A 作为独立节点,节点电压记为  $U_A$ 。列写电路方程有

$$\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}\right)U_A = \frac{U_{S1}}{R_1} + \frac{U_{S2}}{R_2}$$

$$\left(\frac{1}{2} + \frac{1}{1} + \frac{1}{2}\right)U_A = \frac{1}{2} + \frac{3}{1}$$

$$U_A = \frac{7}{4}(\text{V})$$

各支路电流分别计算为

$$I_1 = \frac{U_{S1} - U_A}{R_1} = \frac{1 - \frac{7}{4}}{2} = -\frac{3}{8}(\text{A})$$

$$I_2 = \frac{U_{S2} - U_A}{R_2} = \frac{3 - \frac{7}{4}}{1} = \frac{5}{4}(\text{A})$$

$$I_3 = \frac{U_A}{R_3} = \frac{\frac{7}{4}}{2} = \frac{7}{8}(\text{A})$$