



21世纪高职高专规划教材·电子信息系列

电 工 学

魏国英 主编



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

www.phei.com.cn

TAD-16

W342

21 世纪高职高专规划教材 · 电子信息系列

电 工 学

魏国英 主编

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 · BEIJING

内 容 简 介

本书是根据教育部“高等学校面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划”的具体要求编写的,是面向 21 世纪高等职业教育大专层次的一门非电类专业的技术基础课。

全书共分 10 章,分别是电路基本概念及分析方法、正弦交流电路、三相电路、电路的暂态分析、变压器和电动机、控制电器及控制线路、晶体管与集成运算放大器、直流稳压电源、逻辑门电路和组合逻辑电路、触发器和时序逻辑电路。

本书可作为大学各类高等专科学校中的非电类专业选用,也可供中等专业学校选用,并可作为有关工程技术人员参考使用。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

电工学/魏国英主编. —北京:电子工业出版社,2003.2

21 世纪高职高专规划教材·电子信息系列

ISBN 7-5053-8482-1

I. 电… II. 魏… III. 电工学—高等学校:技术学校—教材 IV. TM1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 007353 号

责任编辑:束传政 凌 毅

印 刷:北京兴华印刷厂

出版发行:电子工业出版社 <http://www.phei.com.cn>

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

经 销:各地新华书店

开 本:787×1092 1/16 印张:23 字数:588 千字

版 次:2003 年 2 月第 1 版 2003 年 2 月第 1 次印刷

印 数:5 000 册 定价:27.00 元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系。
联系电话:(010)68279077

前 言

本书是根据教育部“高等学校面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划”的具体要求,结合高等职业技术教育的特点,为高等工科职业院校非电类专业编写的一门技术基础课教材。

全书主要讲述了电路基本概念及分析方法,正弦交流电路,三相电路的概念和分析方法,电路的暂态分析,变压器和电动机的结构、工作原理和使用,控制电器及控制线路,晶体管与集成运算放大器,直流稳压电源,逻辑门电路和组合逻辑电路,触发器和时序逻辑电路等内容。

高等职业教育的目标是为我国培养一大批既有理论知识又有相应实践技能的应用型人才。本书在编写过程中,力求做到理论上讲清,以够用为度,不追求过深的理论分析和数学推导;课程内容力求做到理论和实践结合,侧重于技术和实践能力的培养。

本书参考学时 70 ~ 80 个,实验学时 20 ~ 30 个,实验内容可参考《电工学实训》教材。

本书第 1 章、第 10 章、第 3 章的 3.5 节由长治职业技术学院史曙光编写,第 2 章由长治职业技术学院王旭斌编写,第 3,4 章由长治职业技术学院唐纪荣编写,第 5 章由长治职业技术学院唐纪荣、任中林编写,第 6 章由长治职业技术学院魏国英编写,第 7 章由江苏南通职业大学顾学群、吉林四平大学栾宝吉共同编写,第 8 章由山西潞安矿业(集团)有限责任公司魏迎丰编写,第 9 章由长治职业技术学院曹军编写。

由于编写水平有限,不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

编委会
2002. 10

本书编委会

主 编 魏国英

编 委 (按姓氏笔画顺序)

王旭斌 史曙光 任中林

初耀军 姚玉钦 顾学群

栾宝吉 唐纪荣 曹 军

曹泰斌 魏迎丰 魏国英

目 录

第 1 章 电路的基本概念和分析方法	(1)
1.1 电路及其基本物理量	(1)
1.1.1 电路的组成和作用	(1)
1.1.2 电路模型	(2)
1.1.3 电流	(2)
1.1.4 电压和电动势	(3)
1.1.5 电功率	(3)
1.2 电流和电压的参考方向	(5)
1.3 电气设备的额定值和电路的状态	(6)
1.3.1 电气设备的额定值	(6)
1.3.2 电路的有载工作状态	(7)
1.3.3 开路状态	(7)
1.3.4 短路状态	(7)
1.4 基尔霍夫定律	(8)
1.4.1 基尔霍夫电流定律	(9)
1.4.2 基尔霍夫电压定律	(10)
1.5 电路中电位的概念及计算	(11)
1.6 电阻电路的等效变换	(13)
1.6.1 电阻的串联	(13)
1.6.2 电阻的并联	(14)
1.6.3 电阻的混联	(16)
1.7 电压源、电流源及其等效变换	(17)
1.7.1 电压源	(17)
1.7.2 电流源	(18)
1.7.3 电压源和电流源的等效变换	(18)
1.8 支路电流法	(20)
1.9 叠加原理	(21)
1.10 戴维南定理	(24)
本章小结	(27)
习题	(29)
第 2 章 正弦交流电路	(33)
2.1 正弦量	(33)
2.1.1 正弦量的三要素	(33)
2.1.2 相位差	(34)

2.1.3 有效值	(36)
2.2 电容元件和电感元件	(38)
2.2.1 电容元件	(38)
2.2.2 电感元件	(40)
2.3 正弦量的相量表示	(43)
2.3.1 复数的概念	(43)
2.3.2 正弦量的相量表示	(44)
2.3.3 正弦量的迭加	(45)
2.4 单一元件伏安关系的相量形式	(47)
2.4.1 电阻元件伏安关系的相量形式	(47)
2.4.2 电感元件伏安关系的相量形式	(49)
2.4.3 电容元件伏安关系的相量形式	(51)
2.5 基尔霍夫定律的相量形式	(53)
2.5.1 基尔霍夫定律的相量形式	(53)
2.5.2 简单正弦电路的计算	(54)
2.5.3 电容元件和电感元件的串并联	(56)
2.6 复阻抗、复导纳及其等效变换	(58)
2.6.1 复阻抗	(58)
2.6.2 复导纳	(59)
2.6.3 阻抗与导纳的等效互换	(61)
2.6.4 阻抗和导纳的串并联	(62)
2.6.5 复杂交流电路的分析	(64)
2.7 交流电路中的谐振	(66)
2.7.1 串联谐振	(66)
2.7.2 并联谐振	(67)
2.8 正弦电路的功率	(69)
2.8.1 二端网络的平均功率和功率因数	(70)
2.8.2 二端网络的无功功率和复功率	(71)
本章小结	(74)
习题	(75)
第3章 三相电路	(79)
3.1 三相电路	(79)
3.2 负载星形联接的三相电路	(81)
3.3 负载三角形联接的三相电路	(85)
3.4 三相电路的功率	(87)
3.5 安全用电	(92)
3.5.1 安全用电	(92)
3.5.2 电气设备的接地和接零	(94)
本章小结	(97)
习题	(98)

第4章 电路的暂态分析	(101)
4.1 动态电路及其特性	(101)
4.2 电路的初始条件	(102)
4.3 一阶电路的零输入响应	(104)
4.4 一阶电路的零状态响应	(110)
4.5 一阶电路的全响应	(114)
4.6 一阶电路暂态分析的三要素法	(116)
4.7 微分电路和积分电路	(120)
4.7.1 微分电路	(120)
4.7.2 积分电路	(122)
本章小结	(123)
习题	(123)
第5章 变压器和电动机	(127)
5.1 磁路的基本概念和基本定律	(127)
5.1.1 磁场的基本物理量	(127)
5.1.2 铁磁物质的磁性能	(128)
5.1.3 磁路和磁路定律	(130)
5.2 交流铁心线圈电路	(132)
5.2.1 交流铁心线圈的电磁关系	(132)
5.2.2 交流铁心线圈的电压电流关系	(133)
5.2.3 交流铁心线圈电路的功率损耗	(133)
5.2.4 交流铁心线圈的等效电路	(135)
5.3 变压器的结构和工作原理	(136)
5.3.1 变压器的基本结构	(136)
5.3.2 变压器的工作原理	(137)
5.3.3 变压器的特性	(140)
5.3.4 变压器的铭牌和额定值	(141)
5.4 常用变压器	(143)
5.4.1 单相变压器	(143)
5.4.2 三相变压器	(144)
5.5 几种特殊用途的变压器	(145)
5.5.1 自耦变压器	(145)
5.5.2 仪用互感器	(146)
5.6 三相异步电动机	(148)
5.6.1 三相异步电动机的结构	(148)
5.6.2 三相异步电动机的工作原理	(149)
5.6.3 三相异步电动机的旋转磁场	(150)
5.6.4 三相异步电动机的转矩和机械特性	(151)
5.6.5 三相异步电动机的铭牌数据	(154)
5.6.6 三相异步电动机的选择	(154)

5.7 单相异步电动机	(155)
5.8 同步电动机	(156)
5.8.1 同步电动机的结构	(156)
5.8.2 同步电动机的起动	(156)
5.9 直流电动机	(157)
5.9.1 直流电动机的基本结构	(157)
5.9.2 直流电动机的工作原理	(158)
5.9.3 直流电动机的机械特性	(158)
5.9.4 直流电动机的调速	(160)
5.10 控制电动机	(161)
5.10.1 伺服电动机	(161)
5.10.2 测速发电机	(163)
5.10.3 步进电动机	(164)
本章小结	(167)
习题	(168)
第6章 控制电器及控制线路	(171)
6.1 常用控制电器	(171)
6.1.1 组合开关	(171)
6.1.2 熔断器	(173)
6.1.3 接触器	(174)
6.1.4 中间继电器	(176)
6.1.5 热继电器	(177)
6.1.6 自动空气开关	(178)
6.1.7 控制按钮	(179)
6.2 鼠笼式电动机简单控制电路	(180)
6.2.1 鼠笼式电动机直接起动的控制线路	(180)
6.2.2 鼠笼式电动机正反转控制电路	(182)
6.2.3 两台电动机的联锁控制线路	(183)
6.3 行程开关及行程控制的基本电路	(184)
6.4 时间继电器及时间控制基本电路	(186)
6.4.1 鼠笼式电动机 Y- Δ 起动控制电路	(187)
6.4.2 鼠笼电动机能耗制动控制线路	(187)
6.5 普通车床的电气控制	(188)
本章小结	(189)
习题	(189)
第7章 晶体管与集成运算放大器	(191)
7.1 半导体的导电特性	(191)
7.1.1 本征半导体	(191)
7.1.2 掺杂半导体	(192)
7.2 PN 结及半导体二极管	(193)

7.2.1	PN 结的形成	(194)
7.2.2	PN 结的单向导电性	(195)
7.2.3	半导体二极管	(195)
7.3	半导体三极管	(198)
7.3.1	基本结构及符号	(198)
7.3.2	电流分配与放大原理	(199)
7.3.3	特性曲线、工作状态	(201)
7.3.4	主要参数及温度对参数的影响	(204)
7.4	场效应管	(206)
7.4.1	结型场效应管	(206)
7.4.2	绝缘栅场效应管	(209)
7.5	放大电路组成及工作原理	(212)
7.5.1	放大电路的组成	(212)
7.5.2	放大电路的工作原理	(212)
7.6	放大电路的基本分析方法	(214)
7.6.1	估算法分析静态工作点	(214)
7.6.2	图解分析法	(215)
7.6.3	微变等效电路分析法	(220)
7.6.4	放大器工作点稳定问题	(224)
7.7	三种组态及其比较	(227)
7.7.1	共集电极电路	(227)
7.7.2	共基极放大电路	(230)
7.8	多级放大电路	(232)
7.8.1	耦合方式	(232)
7.8.2	多级放大电路的放大倍数,输入电阻和输出电阻	(233)
7.9	放大电路中的负反馈	(235)
7.9.1	反馈概念的建立	(235)
7.9.2	反馈的极性	(236)
7.9.3	反馈的类型	(238)
7.9.4	反馈放大电路的一般表达式	(241)
7.9.5	负反馈对放大电路性能的影响	(243)
7.9.6	深度负反馈放大电路的计算	(246)
7.10	功率放大器	(250)
7.10.1	功率放大器的基本要求	(250)
7.10.2	互补对称功率放大器	(251)
7.11	集成运放的特点	(252)
7.12	主要参数	(252)
7.13	基本运算电路	(254)
7.13.1	比例运算	(255)
7.13.2	加减运算	(257)

7.13.3 积分运算	(258)
7.13.4 微分运算	(260)
本章小结	(261)
习题	(263)
第8章 直流稳压电源	(269)
8.1 整流电路	(269)
8.1.1 单相半波整流电路	(269)
8.1.2 单相全波整流电路	(270)
8.1.3 单相桥式整流电路	(272)
*8.1.4 三相桥式整流电路	(273)
8.2 滤波电路	(275)
8.2.1 电容滤波电路	(275)
8.2.2 电感滤波电路	(277)
8.2.3 电感电容滤波电路	(278)
8.2.4 π 型滤波电路	(278)
8.3 稳压电路	(279)
8.3.1 硅稳压管稳压电路	(279)
8.3.2 串联型晶体管稳压电路	(281)
8.3.3 集成稳压电源	(283)
本章小结	(284)
习题	(285)
第9章 逻辑门电路和组合逻辑电路	(287)
9.1 概述	(287)
9.1.1 数字电路及其特点	(287)
9.1.2 脉冲信号	(287)
9.1.3 正逻辑和负逻辑	(288)
9.1.4 高、低电平的规定	(288)
9.2 晶体管的开关作用	(288)
9.2.1 二极管的开关特性	(288)
9.2.2 三极管的开关特性	(289)
9.2.3 MOS 管的开关特性	(291)
9.3 逻辑代数基础	(292)
9.3.1 逻辑代数及其基本运算	(292)
9.3.2 逻辑代数的基本公式和常用公式	(293)
9.3.3 逻辑函数及其表示方法	(295)
9.3.4 逻辑函数的化简	(296)
9.4 分立元件门电路	(301)
9.4.1 二极管与门、或门	(301)
9.4.2 三极管非门电路	(302)
9.5 TTL 集成门电路	(303)

9.5.1	TTL 反相器	(303)
9.5.2	TTL 与非门和集电极开路门(OC 门)	(307)
9.5.3	其他类型的 TTL 门电路	(309)
9.6	CMOS 集成门电路	(311)
9.6.1	CMOS 反相器	(311)
9.6.2	CMOS 传输门	(313)
9.6.3	TTL 门电路和 CMOS 门电路的连接	(314)
9.7	组合逻辑电路的分析和设计	(315)
9.7.1	组合逻辑电路的分析	(315)
9.7.2	组合逻辑电路的设计	(317)
9.8	典型的组合逻辑电路	(318)
9.8.1	加法器	(318)
9.8.2	编码器	(320)
9.8.3	译码器	(323)
9.8.4	数据分配器和数据选择器	(326)
本章小结		(328)
习题		(329)
第 10 章	触发器和时序逻辑电路	(334)
10.1	概述	(334)
10.1.1	触发器的特点	(334)
10.1.2	时序逻辑电路的特点	(334)
10.2	基本 RS 触发器	(335)
10.3	时钟控制触发器	(336)
10.3.1	同步 RS 触发器	(336)
10.3.2	主从触发器	(337)
10.3.3	边沿触发器	(340)
10.4	触发器逻辑功能的分类和转换	(341)
10.4.1	触发器逻辑功能的分类	(341)
10.4.2	触发器逻辑功能的转换	(343)
10.5	寄存器	(344)
10.5.1	数码寄存器	(344)
10.5.2	移位寄存器	(344)
10.6	计数器	(345)
10.6.1	二进制加法计数器	(345)
10.6.2	十进制加法计数器	(346)
本章小结		(347)
习题		(348)
附录 A	常用 TTL 门电路的型号、参数及外部引线排列	(350)
附录 B	常用 CMOS 门电路的型号、参数及外部引线排列图	(352)
参考文献		(355)

第 1 章 电路的基本概念和分析方法

摘要:本章介绍电路的基本概念和分析方法。主要讨论电路的基本物理量,电路的工作状态,电流和电压的参考方向,基尔霍夫定律和电路的分析方法。电路的分析方法以直流电阻电路为例,应用欧姆定律和基尔霍夫定律分析和计算电路,介绍几种最常用的电路分析方法,如等效变换、支路电流法、叠加原理和戴维南定理。本章的内容将贯穿于电工学的全部课程,是学习后面章节的基础。

1.1 电路及其基本物理量

1.1.1 电路的组成和作用

电路是由电工设备或电子元器件组成的整体,它提供了电流通过的路径。

为了说明电路的基本组成,以图 1.1 所示的简单电路为例来说明,它由干电池、小灯泡、连接导线和开关构成。开关闭合时,灯泡就会发光,这是由于在这个闭合电路中有电流流动的缘故。

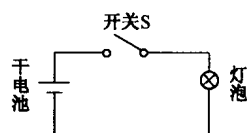


图 1.1 简单直流电路

由上可见,电路一般由电源、负载和中间环节 3 部分组成。

1. 电源

电源是电路中电能的来源,是把非电能转化为电能的装置。从能量的转换形式来看:蓄电池、干电池将化学能转换为电能;火力、水力发电机将机械能转换为电能。它们都是电源。

2. 负载

负载即用电设备,它是利用电能工作的装置。其作用是将电能转换为其他形式的能量,为人们所利用。例如,电动机把电能转换为机械能;电炉把电能转换为热能;电灯把电能转换为光能,它们都是负载。

3. 中间环节

中间环节指电路中除电源和负载以外的其他部分,例如连接导线、开关、测量器件、控制器件、保护器件等。中间环节起传递、分配和控制电能的作用。

在电路中,常把负载和中间环节组成的电路称为外电路,而把电源内部的电流通路称为内电路。

电路就其输送、转换和控制能量的规模大小和使用目的的不同,其作用大致可以分为下述两个方面。

一方面是电能的输送和变换。解决这方面的问题就是通常所说的电力工程,也称为强电。它包括发电、输电、配电、电力拖动、电热、电气照明,以及交直流电之间的整流和逆变等。

另一方面是信号的传递和处理。通过电路把施加的信号变换或“加工”成为其他所需要的输出,最常见的如收音机和电视机的接收电路。在这一类电路中,把施加信号的部分称为信号源,而把接收电路也称为负载。

在电能的输送和变换,或者信号的传递和处理过程中,电源或信号源的电压或电流称为激励,它推动电路工作;而由激励在电路各部分产生的电压和电流称为响应。电路的分析就是在已知电路结构和元件参数的条件下,讨论电路的激励和响应之间的关系。

1.1.2 电路模型

实际电路都是由一些具体的电路元件或器件所组成。比如电力线路中的发电机、输电线、变压器、电动机等,电子电路中的集成电路芯片、三极管、二极管、电阻、电容元件等。

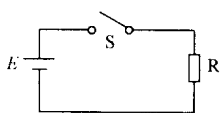


图 1.2 图 1.1 电路的电路模型

为了便于对实际电路进行分析和用数学模型描述,一般在分析电路时,将实际元件理想化。也就是说,在一定的条件下,突出其主要的电磁性质,忽略其次要的因素,把它近似地看做理想电路元件。把所有的实际电路元器件理想化后,就形成了由理想元件组成的电路。这种电路称为实际电路的电路模型。在理想电路元件中主要有电阻元件、电感元件、电容元件、电源元件等。如图 1.1 所示的由干电池、导线、开关和小灯泡组成的实际电路,灯泡的实际电磁性质除有发光发热的消耗电能的电阻性外,当通

有电流时还会产生磁场,就是说它还具有电感性。但电感很小,可忽略不计。在分析电路时,认为灯泡是一个电阻元件。这样可以把图 1.1 的实际电路图画成如图 1.2 所示的电路模型图。

今后所分析的电路都是指电路模型,也简称为电路。在电路图中,各种电路元件用规定的图形符号表示。

不论是哪一种电路,都要通过电流、电压和电动势来实现。所以在分析电路之前,先来讨论一下电路的这几个基本物理量。

1.1.3 电流

带电粒子的有规则运动就形成了电流。

用来描述电流强弱的物理量,称做电流强度,电流强度在数值上等于单位时间内通过导体横截面上的电荷量。

设在极短的时间 dt 内通过导体横截面 S 的电荷量的代数和为 dq ,则电流强度为

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1.1)$$

上式说明了电流强度是随时间而变化的,是时间的函数。

如果电流强度不随时间而变化,即 $\frac{dq}{dt} = \text{常数}$,则这种电流称为恒定电流,简称为直流。直流电流常用大写字母 I 表示,所以式(1.1)可改写为

$$I = \frac{q}{t} \quad (1.2)$$

式中, q 为在时间 t 内通过导体横截面的电荷量。

在国际单位制中,电流强度的基本单位是安培,简称安,用大写字母 A 表示。

有时在电力系统中,用安培计量电流强度觉得过小,常用千安(kA)表示。但在计量微

弱电流时,又觉得过大,常用毫安(mA)、微安(μA)或纳安(nA)为单位。它们之间的换算关系是

$$\begin{aligned} 1\text{kA} &= 10^3\text{A} & 1\text{mA} &= 10^{-3}\text{A} \\ 1\mu\text{A} &= 10^{-6}\text{A} & 1\text{nA} &= 10^{-9}\text{A} \end{aligned}$$

因为电流强度是电工学中常用的物理量之一,为了简便,通常简称为电流。今后就用电流来表示电流强度。

1.1.4 电压和电动势

图 1.3 表示一个简单的电路,由电源给一个灯泡供电。在图 1.3 中,电源的两个电极用 a, b 表示。a 是正极,带有正电荷; b 是负极,带有负电荷。这些电荷在空间产生了电场。在这个电场的作用下,正电荷便从电极 a 通过导体和灯泡移到了电极 b(实际上是负电荷即电子在电场作用下,由电极 b 移到电极 a,两者是等效的)。我们知道,在电场中,电荷在电场力的作用下移动了一段距离,电场力就对电荷做了功,做功的能量来源就是电场中的能量。这样在图 1.3 中,由于电场的作用,正电荷通过导体和灯泡从电极 a 移到电极 b,电场对正电荷做了功。设电场把电荷 q 从 a 点移到 b 点所做的功为 W_{ab} ,则电场中 a 点到 b 点间的电压为

$$U_{ab} = \frac{W_{ab}}{q} \quad (1.3)$$

也就是说, a 点到 b 点间的电压在量值上等于电场把单位正电荷从 a 点移到 b 点所做的功。

在电场内两点间的电压也常称为两点间的电位差,即

$$U_{ab} = V_a - V_b \quad (1.4)$$

式中, V_a 为 a 点的电位, V_b 为 b 点的电位。

正电荷在电场的作用下,从高电位移向低电位,这样,电极 a 因正电荷的减少而使电位逐渐降低,电极 b 因正电荷的增多而使电位逐渐升高,其结果是 a 和 b 两电极的电位差逐渐减小到零,同时导体中的电流也相应减小到零。

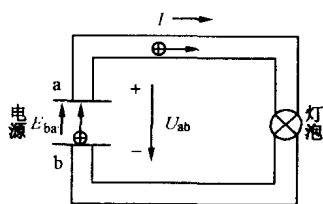


图 1.3 电压和电动势

为了维持电流不断地在连接导体中流通,必须有一种外力源源不断地把正电荷从低电位处(如负极 b)移到高电位处(如正极 a)。电源就有这种力,称它为电源力。电源力把正电荷从负极移到正极也要做功,用电动势这个物理量来衡量电源力对电荷做功的能力。

电源的电动势 E_{ba} 在数值上等于电源力把单位正电荷从电源的低电位端 b 经电源内部移到高电位端 a 所做的功,也就是单位正电荷从 b 点(低电位点)移到 a 点(高电位点)所获得的电能。在电源力的作用下,电源不断地把其他形式的能量转换为电能。

在国际单位制中,电压和电动势的基本单位是伏特(V)。有时也用千伏(kV)、毫伏(mV)、微伏(μV)为单位,它们之间的换算关系是

$$1\text{kV} = 10^3\text{V} \quad 1\text{mV} = 10^{-3}\text{V} \quad 1\mu\text{V} = 10^{-6}\text{V}$$

1.1.5 电功率

在图 1.3 中,电场力把正电荷从 a 点移到 b 点,电场力对正电荷做了功。把电能大部分转变成了灯泡的光能和热能,小部分转变成了电源内部不能利用的热能,称为能量损耗。电源力把正电荷从 b 点移到 a 点,电源力对正电荷也做了功,电源力把非电能转变成了电能。根据能量守恒定律,电源力把非电能转变成的电能和电场力把电能转变成的非电能相等。即

$$W_s = W_1 + W_0 \quad (1.5)$$

其中, W_s 表示电源把非电能转换成的电能, W_1 表示负载消耗的电能, W_0 表示能量损耗。

电源的电功率 P_s 表示电源将非电能转换为电能的速率, 即电源在单位时间内输出的电能。

$$P_s = \frac{W_s}{t} = \frac{Eq}{t} = EI \quad (1.6)$$

可见, 电源电功率等于电源电动势与通过电源的电流的乘积。

负载电功率 P_1 代表负载中电能转换为非电能的速率, 即负载在单位时间内消耗的电能。

$$P_1 = \frac{W_1}{t} = U \frac{q}{t} = UI \quad (1.7)$$

可见, 负载电功率等于负载上的电压降与通过负载的电流的乘积。

对于只含有电阻的负载, 其电功率也可表示为

$$P_1 = UI = \frac{U^2}{R} = RI^2 \quad (1.8)$$

设电源内阻为 r_0 , 则内电路的功率损耗为

$$P_0 = \frac{W_0}{t} = U_0 \frac{q}{t} = U_0 I = r_0 I^2 \quad (1.9)$$

以 t 除式(1.5)的两边, 就得到了电路中的功率平衡方程

$$P_s = P_1 + P_0 \quad (1.10)$$

这表明电路中电源的电功率等于负载电功率和电源内部损失电功率之和(以上分析因导线电阻很小, 而忽略导线电阻损失的电功率)。

如果电路中含有多个电源和负载, 则功率平衡方程可推广为

$$\sum P_s = \sum P_1 + \sum P_0 \quad (1.11)$$

下面讨论电功率正负值的实际含义。

对电源来说, 电动势和电流实际方向一致, 电功率 $P_s = EI > 0$, 这表示电源向电路供给电功率。反之, 若电动势和电流实际方向相反, 则 $P_s = EI < 0$, 这表示该电源从电路中吸取电功率, 该电源实际上起着负载的作用, 此时电动势 E 称为反电动势。

对负载来说, 电压和电流实际方向一致, 电功率 $P_1 = UI > 0$, 这表示该段电路消耗电功率。反之, 如果电压和电流实际方向相反, $P_1 = UI < 0$, 则表示该段电路提供或输出电功率, 该段电路实际上起着电源的作用。

在含有多个电源和负载的电路中, 假如有些元件或设备, 在电路中究竟是起电源作用还是负载作用, 预先并不清楚, 这时经过电路的分析计算, 可按照下述原则来判断: 若通过该元件的电流的实际方向是沿着电位升高的方向, 则该元件是电源; 若通过该元件的电流的实际方向是沿着电位降落的方向, 则该元件是负载。

电功率的国际单位制单位是瓦特, 简称瓦, 用 W 表示。电路在 $1V$ 电压作用下, 通过 $1A$ 电流时, 这段电路的电功率就是 $1W$ 。电功率的较大单位是千瓦(kW), 较小单位是毫瓦(mW)。它们之间的换算关系是

$$1kW = 10^3 W \quad 1mW = 10^{-3} W$$

电流在一段时间内所做的功, 称为电能。电能等于电功率与时间的乘积, 即

$$W = Pt \quad (1.12)$$

电能的单位是焦耳(J)

$$1 \text{ J} = 1 \text{ W} \times 1 \text{ s} = 1 \text{ W} \cdot \text{s}$$

在日常生活中经常说用了多少度电。1度电就是1千瓦时。

$$1 \text{ 度电} = 1 \text{ 千瓦} \cdot \text{时} = 10^3 \times 60 \times 60 \text{ 瓦} \cdot \text{秒} = 3.6 \times 10^6 \text{ 焦耳}$$

1.2 电流和电压的参考方向

电流在导线中或一个电路元件中的流动是有方向的。习惯上规定正电荷运动的方向或负电荷运动的相反方向为电流的实际方向。电流的实际方向只有两种可能(见图 1.4)。当有正电荷的净流量从 A 端流入并从 B 端流出时,习惯上就认为电流是从 A 端流向 B 端,反之则认为电流是从 B 端流向 A 端。在电路分析中,有时对某一段电路中电流的实际流动方向很难预先判断出来,有时电流的实际方向还在不断地改变,因此,很难在电路中标明电流的实际方向。由于这些原因,引入了电流“参考方向”的概念。

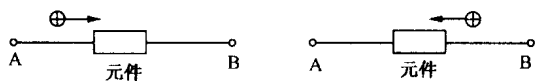


图 1.4 电流的实际方向

在图 1.5 中,先选定其中某一个方向作为电流的方向,这个方向叫做电流的参考方向,在图中参考方向用实线表示。当然所选的参考方向并不一定就是电流的实际方向,在图中实际方向用虚线表示。可以看出参考方向既可能和实际方向相同,也可能和实际方向相反。把电流看成代数量,若电流的参考方向和它的实际方向一致,则电流为正值($I > 0$);反之若电流的参考方向和它的实际方向相反,则电流为负值($I < 0$)。于是,在指定的电流参考方向下,电流值的正和负,就可反映出电流的实际方向。

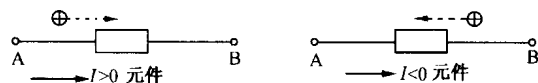


图 1.5 电流的参考方向

电流的参考方向是在分析电路之前任意指定的,在电路中一般用箭头表示。也可以用双下标表示,如 i_{AB} ,其参考方向是由 A 指向 B。

参考方向有时也称为正方向,它是参考正方向的简称。

电压和电动势在电路中也有实际方向。电压的方向规定由高电位端指向低电位端,即为电位降低的方向。电动势的方向规定为在电源内部由低电位端指向高电位端,即为电位升高的方向。在电路分析中,可以像电流一样指定它的参考方向,同时,把电压看成代数量。当电压的参考方向和它的实际方向一致时,电压为正值($U > 0$);反之,当电压的参考方向和它的实际方向相反时,电压为负值($U < 0$)。

电压的参考方向也是任意指定的。在电路中,电压的参考方向可以用正(+)、负(-)极性来表示。正极指向负极的方向就是电压的参考方向,如图 1.6 所示。有时为了方便,也可以用一个箭头来表示电压的参考方向(见图 1.6),还可以用双下标表示,如 U_{AB} 表示 A

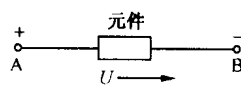


图 1.6 电压的参考方向