

中等专业学校试用教材

电 工 学

主编 吴中学 伍艳泽 张丹平



武汉工业大学出版社

中等专业学校试用教材

电 工 学

主 审 朱家万

主 编 吴中学 伍艳泽 张丹平

副主编 林锦章 左翠屏 孙达伦

参 编 (按姓氏笔划为序)

李德麟 肖汉桥 张涵瑞

余华清 郭和伟 祝 福

武汉工业大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

电工学/吴中学,伍艳泽,张丹平主编. —武汉:武汉工业大学出版社,1997

ISBN 7-5629-1235-1

I. 电…

Ⅱ. ①吴…②伍…③张…

Ⅲ. 电工学—中专学校—教材

Ⅳ. TM1

武汉工业大学出版社出版发行

武汉市皇冠彩印厂印装

开本 787×1092 1/16 印张:16.75 字数:418千字

1997年2月第1版 1997年2月第1次印刷

印数 1—6000 定价:18.00元

绪 论

电工学是研究电磁现象及其基本规律在工程技术方面应用的一门科学。

电工学不是专业课,在工科类普通中等专业学校教学课程体系中,它只是为各专业需要而设置的一门独立的、自成体系的技术基础课。主要是为专业培养目标服务,由于各种专业的培养目标不同,故各类专业电工学课程的内容和教学的侧重面就不尽相同。

电工学是工科中等专业学校非电专业学生在校学习的唯一电类课程,其主要任务是:

1. 为学习相关的其它课程打基础。如施工机械课,现代施工机械多为“机电一体化”,有的施工机械涉及的电工学知识相当多。
2. 为学生毕业后继续学习钻研电工新技术打下良好的基础。
3. 使学生在校学习期间掌握作为工程技术人员必备的电工基本理论、基本知识、基本技能技术,毕业后可以直接用于生产实践中。

总之,要使非电专业中专毕业生成为懂电的“复合型”专业人才。

由于电能具有:便于生产转换;便于输送和分配;便于控制和测量等其它能量无可比拟的优点,所以,当代电工技术与电能的应用在工业、农业、国防、科研及人民日常生活中愈来愈广泛,占有举足轻重的重要地位。

在工农业生产方面,广泛使用以电能为动力的电动机来驱动其它生产机械。例如,机床、起重机、轧钢机、水泵、电力排灌设备、卷扬机、搅拌机……等,在工农业生产工艺中,电工技术的应用也很广泛。例如,电解、电镀、电蚀、电焊、电冶炼、高频淬火……等。

现代化国防事业中,高新尖端的电工技术的应用不胜枚举。例如,从飞机、导弹到坦克、雷达;从水面舰只到水下潜艇;从先进的探测遥控技术、可靠保密的通讯技术到先进的显示技术,预警技术;甚至连步兵使用的步枪上都装有轻型热像仪,士兵的迷彩服还具有防红外探测能力。

在科研和各种工程设计中,电工技术的应用也同样广泛地渗透到各个技术领域里面。例如,在建筑设计中应全面考虑配电系统的布局、照明的配置、防雷、节电、安全用电及电梯、中央空调、闭路电视、火灾自动报警装置等先进设备的配置。又例如,电子计算机技术的高度和应用(如电脑设计、电脑制图),大大降低了科技人员的劳动强度,对充分开发利用科技人员的聪明才智和人力资源有着重要的意义。

随着人民物质、精神生活的不断提高和需要,各式各样新颖、美观、实用的高技术含量的家用电器正逐步走进千千万万个家庭之中。例如,电灯、电话、各式电炊具、视听唱电器、家用空调、具有人工智能的全自动洗衣机、门铃、电子防盗门等,真是举不胜举。人类的日常生活已与“电”结下了“不解之缘。”

如上所述,在非电类工科中等专业学校开设电工学课程及学好电工学课程是非常重要的。勿以非本专业而不为之。

本电工学教材的主要内容包括:

1. 电工基础理论:根据非电专业的需要和学时少的特点,同时,为了避免与中专物理学的重复教学,对这一部分知识作了必要的压缩筛选,使教材的起点较高,但内容简易。

2. 电工技术:电工学要突出“工”字,根据非电专业的培养目标,加强了工程技术应用方面的内容。为了加强教材的通用性,电工技术这一部分加“*”号的内容可供不同专业选用。电子技术完全删去的理由一是非电专业学时少,二是电子技术对电专业来说,后续课程电子技术将要系统讲(所以,这本教材亦可作为电专业的前期课程的使用教材,并不影响电专业课程的系统性、完整性)。

学习电工学的方法对学好电工学来说也是非常重要的。行之有效的学习方法也很多,但因人而异。各种正确的学习方法具有其共性,可以归纳为以下几个方面:

1. 正确的学习目的和刻苦认真的学习态度。这是一切求知者学习任何学科的首要条件,应为我们社会主义祖国的四化事业而学习。学习中要能够刻苦钻研,奋发攀登科学技术高峰。在这里不妨将蒲松龄的座右铭献给同学们:“苦心人,天不负,卧薪尝胆,三千越甲可吞吴。有志者,事竟成,破釜沉舟,百二秦关终属楚。”

2. 学习中要抓住基本概念、基本理论、基本原理和分析方法。要积极探索,重在理解,在理解的基础上加强记忆(切忌死记硬背)。

3. 合理选择、正确使用参考书也是学好电工学的有效方法之一。各类电工教材因专业需要不同,读者对象不同,因而其内容的侧重点不尽相同。往往在学习某种电工学教材时遇到的一些疑惑问题,可以在其它专业电工学教材和电工技术手册等参考书中的相关部分找到较详尽的阐述和解答。

4. 学会及时地归纳、对比总结。在学完一部分内容之后,可将所学内容以简明的图表形式归纳,对比总结一下,理清头绪。这是一个再学习、加深理解,强化记忆的重要方法。例如,可将单、三相交流电路进行归纳对比;可将三相交流发电机和三相异步电动机归纳对比;可将变压器与电动机一起归纳对比;可将三相交流电路中电源与负载的不同连接方式归纳对比等。从中找出它们的相互联系和本质区别,既加深了理解,又强化了记忆,还可以取得触类旁通的良好效果。

5. 加强实践。电工学是一门实践性很强的技术基础课。学习中要贯彻理论联系实际,学以致用精神,实践的方式也很多:

(1)独立完成书中各类习题,可以培养思维分析能力和运算能力。

(2)上好实验课,训练实验技能,培养严谨的科学作风,实验前要认真预习实验指导书;实验时要勤思考、多动手,学会正确使用常用的电工仪表,能准确读取数据;学会使用常用电机、电器设备,能正确连接线路;实验后要对实验现象和各种实验数据认真整理分析,编写出符合规范要求的实验报告。

(3)其它实践方式:利用课余、寒暑假空闲时间,参加一些涉及电工学知识的勤工俭学活动、社会义务活动,向一切具有实践经验的人们学习;也可以收集一些报废了的小电器,对照书本,拆拆装装。这些活动对学好电工学不无裨益。

前 言

本书是参照国家教委中等专业学校工科非电类专业《电工学教学大纲》(试行),及建设部中等专业学校教学指导委员会工科建设类专业《电工与电气设备教学大纲》(试行),结合非电专业少学时特点编写的。

本书深浅适宜,可作为工科中等专业学校非电专业电工学课程的教材;编写中注意到机电专业、电专业的需要(“*”号部分),故也可作为这些专业先修课电工学教材。

本书内容:电路的基本概念与基本定律,单相交流电,三相交流电路,磁路,变压器,交流电动机,控制电机,电工测量,低压电器和基本控制线路,施工现场用电,安全用电。附录中有实验指导书、各章计算题参考答案。

参加本书编写的有:武汉市城乡建设学校吴中学(编写全书结构提纲,前言,绪论,第三章,第四章,第八章,并改写部分章节),孙达伦(编写第十章并参加全书统稿与校对工作),李德麟(编写第二章部分内容);建设部南方村镇建设学校伍艳泽(编写第一章并参加部分统稿工作),余华清(编写第二章部分内容);武汉市船舶工业学校张丹平、祝福(合编第七章、第九章,张丹平参加了部分统稿工作);孝感市机电工程学校林锦章、郭和伟(合编第六章,附录中实验二、实验三);武汉市第一轻工业学校左翠屏(编写第五章,并参加部分统稿工作);武汉水泵厂张涵瑞(编写第十一章);武汉市建材工业学校肖汉桥(编写附录中实验一、四、五、六、七、八,改写了实验三并参加部分统稿工作)。

全书由吴中学、伍艳泽、张丹平担任主编,吴中学负责全书统稿。由武汉工业大学朱家万教授担任本书主审。

武汉市城乡建设学校高级讲师张锋同志,建设部南方村镇建设学校高级讲师王建华同志及武汉工业大学出版社的同志,为本书积极筹划,认真组稿,作了大量工作,提出了许多宝贵建议,在此深表谢忱。

由于编者能力有限,时间仓促,书中难免有欠妥和错误之处,恳请同行和读者批评指正。

吴中学

于武汉市城乡建设学校

1986.11

目 录

第一章 电路的基本概念与基本定律	(1)
§ 1-1 电路的组成与作用	(1)
§ 1-2 电路的基本物理量	(2)
§ 1-3 电气设备的额定工作状态、开路、短路	(4)
§ 1-4 电路的基本定律	(6)
§ 1-5 电压源和电流源	(9)
§ 1-6 迭加原理	(13)
§ 1-7 戴维南定理	(15)
§ 1-8 负载获最大功率的条件	(17)
小 结	(18)
练习题	(18)
第二章 单相正弦交流电	(23)
§ 2-1 正弦交流电的产生及其主要要素	(23)
§ 2-2 正弦交流电的三要素	(24)
§ 2-3 正弦交流电的旋转矢量表示法及其加减运算	(29)
§ 2-4 纯电阻电路、纯电感电路、纯电容电路	(32)
§ 2-5 电阻、电感和电容串联的交流电路	(38)
§ 2-6 提高功率因数的重要意义和方法	(44)
小 结	(47)
练习题	(49)
第三章 三相交流电路	(53)
§ 3-1 三相对称交流电	(53)
§ 3-2 三相发电机绕组的连接方式	(55)
§ 3-3 三相负载的连接方式	(58)
§ 3-4 三相交流电路的计算	(63)
小 结	(66)
练习题	(68)
第四章 磁 路	(71)
§ 4-1 磁场的基本物理量与安培环路定律	(71)
§ 4-2 铁磁材料的性质和作用	(74)
§ 4-3 磁路和磁路欧姆定律	(76)
§ 4-4 交流铁芯线圈及其功率损耗	(78)
小 结	(81)
练习题	(82)
第五章 变压器	(85)
§ 5-1 单相变压器的结构和工作原理	(85)

§5-2 三相变压器及其铭牌	(88)
§5-3 特殊变压器	(90)
小 结	(94)
练习题	(95)
第六章 三相异步电动机	(97)
§6-1 三相异步电动机的基本构造	(97)
§6-2 三相异步电动机的工作原理	(100)
§6-3 三相异步电动机的电磁转矩和机械特性	(104)
§6-4 三相异步电动机的起动	(106)
§6-5 三相异步电动机的调速、反转和制动	(110)
§6-6 三相异步电动机的铭牌	(113)
§6-7 三相异步电动机的选择	(116)
§6-8 三相异步电动机的维护常识	(117)
小 结	(119)
练习题	(121)
*第七章 控制电机	(124)
§7-1 伺服电动机	(124)
§7-2 步进电动机	(127)
§7-3 测速发电机	(129)
§7-4 自整角机	(131)
小 结	(133)
练习题	(134)
第八章 电工测量	(135)
§8-1 常用电工仪表的基本知识	(135)
§8-2 指示仪表的误差与准确度	(143)
§8-3 电流和电压的测量	(145)
§8-4 电阻的测量	(147)
§8-5 万用表	(149)
§8-6 功率的测量	(152)
§8-7 电能的测量	(155)
小 结	(157)
练习题	(157)
第九章 低压电器和基本控制线路	(159)
§9-1 低压电器的分类和电动机基本保护措施	(159)
§9-2 常用的控制与保护电器	(161)
§9-3 控制电路中的基本环节	(172)
§9-4 行程、时间和电流控制	(178)
§9-5 常用控制线路举例	(182)
小 结	(188)
练习题	(188)

第十章 施工用电与照明.....	(193)
§ 10—1 供电简介	(193)
§ 10—2 建筑施工的供电设计	(196)
§ 10—3 室内照明设计	(207)
小 结.....	(225)
练习题.....	(226)
第十一章 安全用电.....	(237)
§ 11—1 触电和触电急救	(237)
§ 11—2 防止触电伤害事故的措施	(239)
§ 11—3 电气火灾与预防·雷电的保护	(241)
练习题.....	(243)
附录一.....	(245)
附录二.....	(257)
参考文献.....	(258)

第一章 电路的基本概念与基本定律

内容提要

电路的应用十分广泛。本章讨论电路的组成、作用及电路元件的一般概念。介绍电路中的基本物理量和基本规律,并利用线性电路的重要原理和定理分析处理复杂电路。本章虽然讨论的是直流电路,但只要把这些理论和方法稍加扩展,便可用来分析交流电路。因此,本章是进一步学习交流电路、电机、电器及电子技术的共同基础。

§ 1-1 电路的组成与作用

一、电路的组成与作用

在日常生活、生产和科研中,我们广泛应用各种电气元件和设备,如电灯、电动机等。为了实现某种功能,将若干个电气元件按一定的方式连接成一体,称为电路。它是电流所经过的路径。含元件较多的电路形状象网一样,有时将电路称为网络。

实际应用的电路种类繁多,结构形式也各不相同,但电路的作用不外乎两个方面:一是进行电能的输送和转换,如电力系统的照明电路和动力电路;二是应用电路传递和处理电信号,如信号系统(扩音机)电路中的放大电路。

一个完整的电路,不论是传输和转换电能(如图 1-1 的手电筒电路),还是传递和处理电信号,都由三个基本部分组成:电源、负载和中间环节。电源是能供给电能或提供电信号的设备或元件,如发电机、电池、信号发生器等;负载是取用或转换电能、接受和转换电信号的设备或元件,如电灯、电动机、扩音器的扬声器等;中间环节主要是指连接导线和辅助元件或设备,它连接着电源和负载、沟通电路,并对电路具有控制和保护作用,如导线、开关、熔断器等。

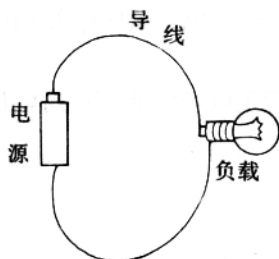


图 1-1 手电筒电路

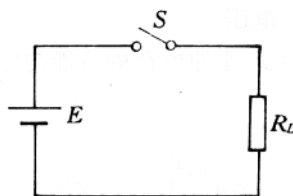


图 1-2 图 1-1 的电路图

电路可分为内电路和外电路。相对于电源来说,负载及中间环节称为外电路;而电源内部的电路,称为内电路。

二、电路图

为了便于分析和研究,由实际部件组成的电路,在绘其电路图形时,都用规定的符号来表达,这样画出的电路图形叫做原理电路图,简称电路图。常见电路元件的图形符号见表 1-1。

常见电路元件的图形符号 表 1-1

元件名称	电路符号	元件名称	电路符号	元件名称	电路符号
电池		电阻元件		开关	
恒压源		可变电阻		熔断器	
恒流源		电容元件		交叉相连导线	
交流电源		电感元件		交叉不相连导线	

例如:灯泡相当于一个电阻元件,就用一个长方形符号表示,干电池(电源)可用电池符号表示,导线(电阻为零的导线)用线段表示。因此,实际的手电筒电路(图 1-1)就画成图 1-2 所示的电路图了。

§ 1-2 电路的基本物理量

一、电流

电荷的定向运动就形成电流,习惯上把正电荷运动的方向规定为电流的正方向。

电流具有热效应、化学效应和磁效应。我们用电流强度来衡量电流产生各种效应的强弱,电流强度简称为电流。

大小和方向都不随时间变化的电流称为稳恒电流,简称直流电。其电流强度用单位时间内通过导体横截面的电量来度量,即

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

式中 I ——电流,单位为安培(A);

Q ——电荷量,单位为库仑(C);

t ——时间,单位为秒(s)。

电流的辅助单位有:千安($\text{kA}=10^3\text{A}$)、毫安($\text{mA}=10^{-3}\text{A}$)、微安($\mu\text{A}=10^{-6}\text{A}$)。

二、电位、电压

电场中某点 A 的电荷的位能与它的电量之比,就是电场中那一点的电位(即电势),符号为 V_A ,即

$$V_A = \frac{W_A}{Q} \quad (1-2)$$

式中 V_A ——电荷 A 点的电位,单位为伏特(V);

W_A ——电荷在 A 点的位能;

Q —— A 点上电荷的电量,单位为库仑(C)。

在电路中可以指定任意一点(只能有一点)的电位为零,称为电位参考点。设备中常以接机壳的点作为电位参考点,称为接地,用符号 $\perp$ 表示。在指定参考点后,各点的电位就是代数值,电位比参考点高的为正值;反之为负值。

电路中两点之间的电位之差为电位差或电压,用字母 U 表示。例如 A 、 B 两点间的电压为:

$$U_{AB} = V_A - V_B \quad (1-3)$$

由式(1-2)可知:

$$U_{AB} = \frac{W_A - W_B}{Q} = \frac{W_{AB}}{Q} \quad (1-4)$$

式中 U_{AB} ——电场中 A 、 B 两点间的电压,单位伏特(V);

V_A 、 V_B ——电场中 A 、 B 两点的电位;

W_{AB} ——电场力将电荷从 A 移至 B 所做的功,单位为焦耳(J);

Q ——被移动电荷的电量,单位为库仑(C);

电压的单位为伏(V),其辅助单位有千伏($kV=10^3V$),毫伏($mV=10^{-3}V$)。

电压的方向规定由高电位点指向低电位点,也就是电位降落的方向,因此,有时也称电压为电位降或电压降。两点间的电压大小与电位参考点的选择无关。

三、电动势

电源具有把正电荷从电源负极(低电位)推向正极(高电位)的能力,称为电源力(或非静电力)。电源力将正电荷从电源负极推向正极所做的功与正电荷电量的比值称为电源的电动势,用字母 E 表示,即

$$E = \frac{W_{\text{外}}}{Q} \quad (1-5)$$

式中 E ——电动势,单位伏特(V);

$W_{\text{外}}$ ——电源力所做的功,单位焦耳(J);

Q ——被移动电荷的电量,单位为库仑(C)。

电动势的方向规定从电源负极(低电位)指向正极(高电位),它表示的是电位升。电源端电压 U 的方向是从电源正极(高电位)指向负极(低电位),它表示的是电压降,与电动势 E 的方向相反。

四、电流和电压的参考方向

对于简单的直流电路,电源的极性已知,就很容易确定电流和电压的实际方向。但在复杂的直流电路中,支路上的电流和电压的实际方向往往难以事先判断,如图 1-3 中的 bd 支路。

因此,在电路分析中,常常采用“先假定,后判断”的方法。即:在电路分析计算以前,先在电路图的各支路上,用箭头符号来标明假定的电流和电压方向,称为参考方向。但考虑到电路中电流与电压的实际方向总是一致的,所以只要标明电压、电流中任意一个的参考方向(关联参考方向)就行了。

关联参考方向定了之后,凡是计算结果为正值的,其参考方向与实际方向一致;为负值的,其参考方向与实际方向相反。所以,在没有标明参考方向以前,说电流与电压的正负值,是没有意义的。参考方向可以任意选定,但一经选定后,在分析过程中就不得变更了。

【例 1-1】 图 1-4 中,根据已知条件,试说明 I 、 U 的实际方向。

【解】 图(a)中因电流为负值,其实际方向由 $b \rightarrow a$;电压实际方向由 $b \rightarrow a$ 。

图(b)中因电阻上电压为正值,实际方向由 $a \rightarrow b$;电流实际方向由 $a \rightarrow b$ 。

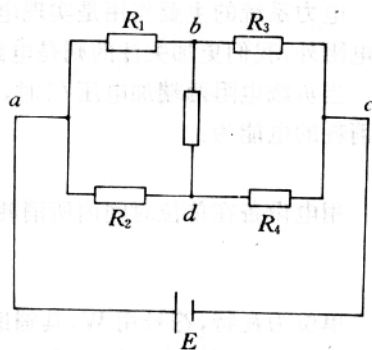


图 1-3 复杂电路举例

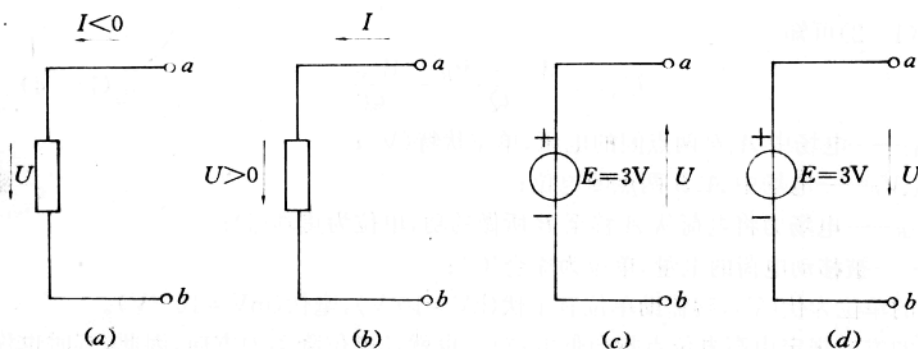


图 1-4 例 1-1 的图

图(c)中 U 的实际方向由 $a \rightarrow b$; $U = -3V$

图(d)中 U 的实际方向由 $a \rightarrow b$, $U = 3V$

五、电能和电功率

电力系统的主要作用是实现电能的传输和转换,所以除了分析计算电路中的电流、电压和电阻外,我们更加关注的则是电路中输送的电能是多少,转换的电功率如何计算。

当负载电阻两端加电压 U 时,有电流 I 流过,而消耗的电能为 W ,按式(1-4),在时间 t 内消耗的电能为:

$$W = UQ = UI t \quad (1-6)$$

用电设备在单位时间内所消耗的电能叫做该用电设备的电功率,用 P 表示,即

$$P = \frac{W}{t} = UI \quad (1-7)$$

单位为瓦特,符号用 W ,其辅助单位有千瓦(kW),毫瓦(mW)。由于 $W = Pt$,所以工程上常用千瓦小时作为电能的单位。1 千瓦小时俗称为 1 度(kWh)。

通常我们所说的“增加负载”,是指增加负载电阻所耗的电功率(亦即增加电源提供的功率)。在恒电压供电系统中,如果把“减少负载”理解为“减小电阻”,那是错误的,其结果使负载增加,甚至烧坏设备。

【例 1-2】 一台“220V 1000W”的电炉,若每天工作 3 小时,试问一个月(按 30 天计算)消耗多少电能? 如果每度电费为 0.30 元,那么一个月应缴纳多少电费?

【解】 一个月消耗的电能为:

$$W = Pt = 1kW \times 3h \times 30 = 90kWh$$

应缴电费为

$$0.30 \text{ 元/kWh} \times 90kWh = 27.00 \text{ 元}$$

§ 1-3 电气设备的额定工作状态、开路、短路

一、电气设备的额定值和额定工作状态

任何一个实际的电气设备,为了达到最佳的技术经济效能,制造厂对它的工作能力,运

用性能和使用条件,都要用一组技术数据来加以限制和规定,这些限制和规定的技术数据,就称为电气设备的额定值。

按照额定值使用电气设备,既能保证安全可靠,又能保证一定的使用寿命。超过额定值过多时,会使电气设备烧毁或损坏;远低于额定值,有些电气设备往往不能正常工作,或不能充分利用设备能力。

当设备按照它的额定值进行使用时,就称为设备的额定工作状态,也称为满载运行。对于一个电源(发电机),若其额定电流为 10A ,这并不是说电路一接通,它就有 10A 的电流流出。电路中电流的大小是由外电路的阻值决定的。当负载电阻 $R_L = \infty$ 时, $I = 0$,则为空载;当 $I = 3\text{A}$ 时为轻载;当 $I = 10\text{A}$ 时为满载;若 $I = 12\text{A}$,则为超载。

由于额定电流 I_N ,额定电压 U_N 和额定功率 P_N 与电阻值 R 之间具有一定的关系,所以铭牌上一般不会全部标出。如标有“ 220V 1000W ”电炉,其余额定值可由公式 $I_N = \frac{P_N}{U_N}$ 和 $R = \frac{P_N}{I_N^2}$ 求得。

二、开路(断路)

在图 1-5 所示的电路中,当闸刀开关 S 没有闭合时,电源没有与外电路接通,这时称为电路处于开路状态,这时外电路的电阻对电源来说,相当于无穷大,因此,电路中的电流 I 为零;电源的端电压为空载电压 U_0 (又称开路电压)它等于电源的电动势 E 。电源不输出电能,即电源输出的电功率 P 为零。

如上所述,电路开路时的特征为:

$$\left. \begin{array}{l} I=0 \\ U_0=E \\ P=0 \end{array} \right\} \quad (1-8)$$

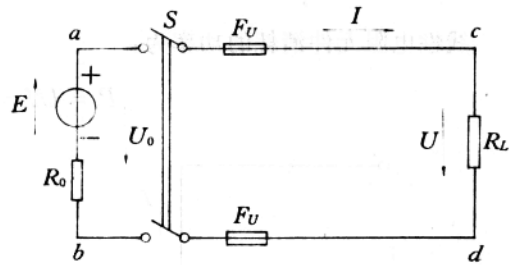


图 1-5 电路的开路状态

开路(断路)是一个一般化概念,它可能是由于电源开关 S 未合上,这是正常开路。但也有可能是由于线路上某个地方接触不良(如灯泡与灯口接触不良),导线断线或熔断器里的保险丝熔断所造成,这些情况属于故障开路。

三、短路

当电源两端由于某种原因不经过负载直接构成回路时,外电路的电阻趋于零,这种工作状态称为电源被短路。这时电流不再流过负载电阻 R_L ,所以电源端电压降到零,整个回路内的电阻很小,仅有电源的内电阻 R_0 ,这时由电源流出的电流很大,称为短路电流 I_K 。电源短路,在内阻上产生大量热能,导致电源烧毁。

如上所述,电源短路时的特征可用下列各式表示:

$$\left. \begin{array}{l} U=0 \\ I=I_K=E/R_0 \\ P=I_K^2 R_0 \end{array} \right\} \quad (1-9)$$

电源被短路是严重事故,应该尽力防止。一种最简单的措施就是在电源开关处安装熔断器,一旦发生短路,强大的短路电流会立即将熔断器中的熔丝烧断,使电源进入断路状态。将

故障电路自动切除,电气设备就得到了保护。

短路也是一般化概念,事故短路应予以避免,但有时为了使电路达到某种性能要求,把电路中的某部分电路或元件短接(短路)起来,这种短路则是正常工作短路。

§ 1-4 电路的基本定律

一、欧姆定律

欧姆定律反映了线性电路中电流、电压和电阻三者的相互关系。所谓线性电路,指电阻的阻值不随电压或电流的变化而改变的电路。本章仅讨论线性直流电路。

1. 部分电路的欧姆定律

图 1-6 所示电路是闭合电路的一部分,则通过这段导体的电流 I ,与导体两端的电压 U 成正比,与这段导体的电阻 R 成反比。这就是部分电路的欧姆定律。在取关联参考方向时,其表达式为

$$I = \frac{U}{R} \quad (1-10)$$

线性电阻元件消耗的功率为:

$$P = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R} \quad (1-11)$$

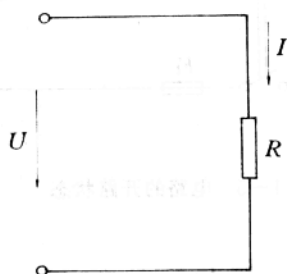


图 1-6 部分电路

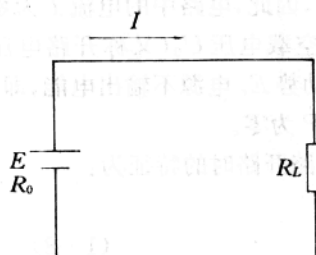


图 1-7 最简单的闭合电路

2. 全电路的欧姆定律

图 1-7 所示电路是由电源、负载和导线组成的最简单的闭合电路。则电路中的电流与电动势成正比,与总电阻成反比。这就是全电路的欧姆定律。

其表达式为:

$$I = \frac{E}{R_0 + R_L} = \frac{E}{R_0 + R_L} \quad (1-12)$$

二、基尔霍夫定律

1. 支路、节点和回路

电路按结构可分为无分支电路(如图 1-7)和有分支电路(如图 1-8)两种。电路中通过同一电流的每条分支称为支路。在图 1-8 中,有 $abcd$ 、 ad 、 $afed$ 三条支路,其中 ad 为无源支路,其余两条为有源支路。

三条或三条以上支路的连接点称为节点。在图 1-8 中,有 a 、 d 两个结点。因此,支路是跨接在相邻两节点之间的电路。

电路中任一闭合的路径称为回路。在图 1-8 中,有 $abcda$ 、 $adefa$ 、 $abcdefa$ 三个回路。通

常把内部不含支路的回路称为网孔。如回路 $abcd$ 和 $adef$ 是网孔, 而 $abcdefa$ 回路不是网孔。

2. 基尔霍夫电流定律

基尔霍夫电流定律(常简称为 KCL)又称为节点电流定律, 是确定连接在同一节点上的各支路电流间的关系的定律。

其内容是: 在任一瞬时, 对电路中任一节点, 流入节点的支路电流之和必等于流出该节点的支路电流之和。或者说, 对于电路中任何一个节点的支路电流的代数和恒等于零。即

$$\sum I_{\text{入}} = \sum I_{\text{出}} \quad (1-13)$$

或写成

$$\sum I = 0 \quad (1-14)$$

例如, 在图 1-9 中, 节点 A 处有五条支路, 则

$$I_1 + I_4 = I_2 + I_3 + I_5$$

或

$$I_1 + (-I_2) + (-I_3) + I_4 + (-I_5) = 0$$

基尔霍夫电流定律的根据是电流的连续性原理: 从一个地方流进多少电量的电荷, 必定同时从这个地方流出相等电量的电荷。实际上是电荷守恒定律在电路中的体现。

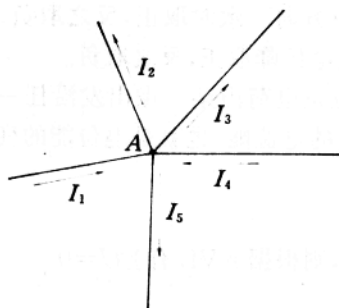


图 1-9 节点 A

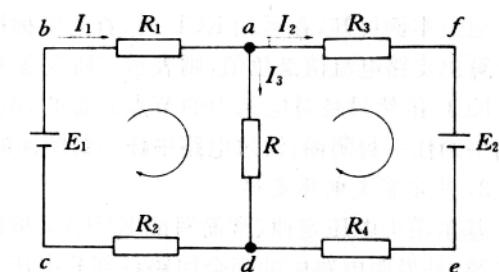


图 1-8 有分支电路

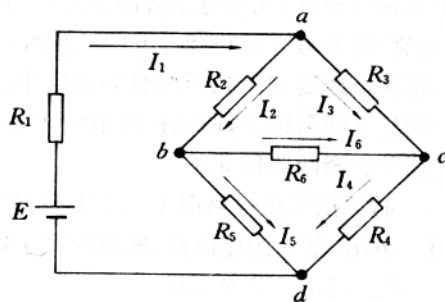


图 1-10 例 1-3 的电路图

【例 1-3】 图 1-10 的电桥电路中, 电流参考方向已标明, 已知 $I_1 = 25\text{mA}$, $I_3 = 16\text{mA}$, $I_4 = 12\text{mA}$, 求 I_2 , I_5 和 I_6 。

【解】 列节点 a 的 KCL 方程为

$$I_1 = I_2 + I_3$$

所以

$$I_2 = I_1 - I_3 = 25 - 16 = 9\text{mA}$$

节点 c 的 KCL 方程为

$$I_4 = I_3 + I_6$$

所以

$$I_6 = I_4 - I_3 = 12 - 16 = -4\text{mA}$$

节点 b 的 KCL 方程为

$$I_2 = I_5 + I_6$$

所以

$$I_5 = I_2 - I_6 = 9 - (-4) = 13\text{mA}$$

通过本例可知,在运用 KCL 时,首先要标明所有支路电流的参考方向,然后再列方程。若计算出支路电流值是负值,则表示与所定参考方向相反。

KCL 虽然只是对电路中的节点而言的,但其根据是电流的连续性原理,所以也适用于电路中的任一封闭面:流过电路中任一封闭面的各电流的代数和等于零。

3. 基尔霍夫电压定律

基尔霍夫电压定律(常简写成 KVL)又称回路电压定律,是说明电路中的闭合回路各部分电压之间的相互关系的定律。其内容是:在任一瞬时,电路中的任一回路内沿同一绕行方向,各支路电压的代数和恒为零。或者说,沿任一闭合回路,电动势的代数和等于电压降的代数和,即

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

或写成

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

如图 1-11 中的回路 $abcd$,参考方向已标注,设回路绕行方向如图箭头所示。由式(1-15)可列回路电压方程为:

$$U_{ab} + U_{bc} + U_{cd} + U_{da} = 0$$

或

$$E_1 - E_2 = I_1 R_1 + I_3 R_3 - I_2 R_2 + I_4 R_4$$

其中正负号规定:凡是电动势的正方向与回路绕行方向一致时取正,反之取负;凡是电压降(或电流)的参考方向与绕行方向一致的,该电阻上电压降取正,反之取负。

基尔霍夫电压定律反映了能量守恒定律,即把单位正电荷由某一点出发沿任一闭合回路绕行一周后又回到该点,所获得的电位能应等于失去的电位能,也就是电位能的变化量为零。该定律与选择的路径无关。

【例 1-4】 试写出电路图 1-12 中 U_{ab} 的表达式。

【解】 $abdea$ 是一假想回路,取绕行方向如图所示,则根据 KVL 有 $\sum U = 0$

$$\text{即 } U_{ab} + I_2 R_4 - I_1 R_3 = 0$$

$$U_{ab} = I_1 R_3 - I_2 R_4 = \frac{E_1 R_3}{R_1 + R_3} - \frac{E_2 R_4}{R_2 + R_4}$$

三、支路电流法

支路电流法是以电路中的支路电流为未知量,应用基尔霍夫定律建立独立节点电流方程和回路电压方程,然后解联立方程求出各支路的电流。它是分析计算复杂电路的最基本的分析方法。

下面通过图 1-13 所示电路为例,说明支路电流法的解题步骤。

1. 取各支路电流为未知量,并选定参考方向标在电路图上。本电路有六条支路,即支路数 $m=6$;

2. 应用 KCL 列 $(n-1)$ 个独立的节点方程, n 为节点数。本电路有 a, b, c, d 四个节点,则只需列出其中任意三个节点电流方程。

$$\text{对节点 } a: I_1 + I_3 - I_5 = 0$$

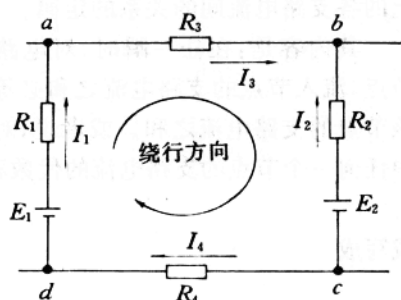


图 1-11 基尔霍夫第二定律