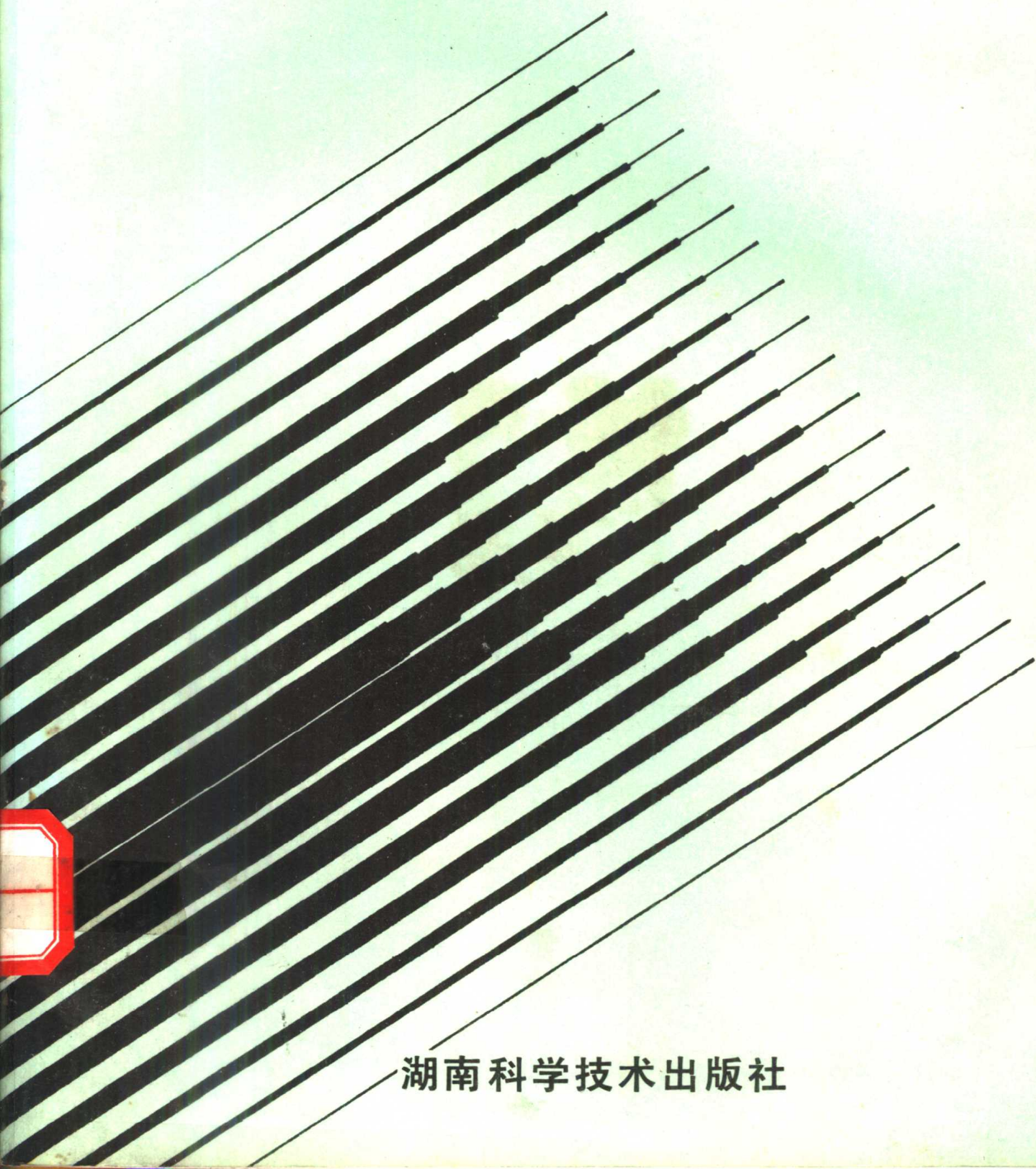


DIAN GONG JI SHU

电工技术

主编 陈宗穆

副主编 黄曼兰



湖南科学技术出版社

电 工 技 术

主 编 陈宗穆
副主编 黄曼兰

湖南科学技术出版社

湘新登字 004 号

内 容 简 介

本书是根据国家教委电工学课程指导小组制订的“电工技术教学基本要求”而编写的大学本科生教材。主要内容包括电路理论；电机与变压器、电机的继电接触器控制电路；工业企业供电与安全用电、电工测量及仪表三大部分共十章。每章首有内容提要，章末有小结和习题。本书可供各类高等学校作为电工技术的教材或教学参考书，也可供有关工程技术人员参考。

电 工 技 术

主编 陈宗穆 副主编 黄盛兰

责任编辑：刘奇琰

*

湖南科学技术出版社出版发行

(长沙市展览馆路 3 号)

湖南大学印刷厂印刷

(印装质量问题请直接与本厂联系)

*

1994 年 2 月第 1 版印刷

开本：787×1092 毫米 1/16 印张：16.5 字数：406,000

印数：1—6300

ISBN 7-5357-1415-3

TM·15 定价：11.00 元

前 言

《电工技术》是根据国家教委电工学课程教学指导小组制订的“电工技术教学基本要求”组织编写的教材。

《电工技术》是一门重要的技术基础课。本书致力于贯彻“精选内容,打好基础,加强实验,培养能力”的精神。本书的主要特点是内容精炼,注重实用;语言流畅,图文并茂,逻辑性强,便于自学;与后续课程《电子技术》前后呼应,成为一个完整的体系。

本书基本内容按 70 学时编写,注“*”号的是加深、拓宽的内容,可供多学时专业选用。

参加本书编写工作的有陈宗穆(绪论、第一、二、三、七章及附录)、黄曼兰(第五、八、十章)、许新民(第四章)、谢胜曙(第六章)、方厚辉(第九章)。全书由陈宗穆、黄曼兰主编。

本书承蒙湖南大学博士导师童调生教授主审。赵雍喜副教授参加了部分章节的审核工作,他们提出了许多宝贵的意见,使本书大为增色。本书的出版还得到许多同志的指导、帮助和支持,陈燕同志为本书绘制了插图,均在此一并表示诚挚的谢意。

由于编者水平有限,不妥或错误之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

编 者

1993 年 12 月于长沙

绪 论

一、电工技术的发展和概况

电工技术的发展和电能的应用紧密联系的。19 世纪 20~30 年代,欧姆定律、克希荷夫定律、法拉第电磁感应定律和焦耳—楞次定律的相继发现,奠定了电路的理论基础。今天,人们已经掌握了大量的电工技术方面的知识,而且电工技术还在不断地发展。这些知识是人类长期辛勤劳动的结晶。

电能在各个生产部门、科技领域和日常生活中都得到广泛的应用:工业、农业及国民经济的其它各个部门都以电力作为主要的动力来源;工业上的各种生产机械,主要用电动机来驱动;生产过程中对一些物理量(如长度、速度、压力、温度、水位、流量等),都可用电的方法来测量和进行自动调节,以实现生产过程的自动化;农业生产上的电力排灌设备、粮食和饲料的电力加工设备等、日常生活中的电灯、电话、电报、电影、电视、无线电广播、X 射线透视等等都是电能的应用。

此外,利用电能还能实现巡回检测、数据分析及处理、程序显示、处理故障等功能。

电能所以得到这样广泛的应用,是因为它具有无可比拟的优越性。概括地说,电能的优越性主要表现于如下几个方面:

(1)便于转换 一方面是指电能的产生,各种类型的发电厂可以方便地从热能、水能、原子能转换成电能。例如,我国一些火力电厂就是利用煤的热能发电。装机容量 1768 万千瓦、年发电能力 840 亿度的长江三峡水利工程的兴建,是人类利用水力发电的壮举。在广东兴建并已发电的大亚湾核电站和在浙江兴建的秦山核电站,则是利用原子能发电。此外,还可以用化学能、太阳能发电。另一方面是指电能的应用,利用各种用电设备,电能又可以容易的转换为各种形式的能。例如,利用电动机将电能转换为机械能;利用电炉将电能转换为热能;利用电灯将电能转换为光能;利用扬声器将电能转换为声能,等等。

(2)便于输送 电能可以方便地被输送到远方,而且输电设备简单,输电效率高。电能的分配也很容易,从几十瓦的电灯到几千千瓦的电动机,都可分配自如。

(3)便于控制 利用电能可以达到高度自动化。例如,使生产过程实现程序控制、数字控制;对生产过程的各种参数进行检测,并实现自动调节。

综上所述,电能的应用对劳动生产率的提高和社会生产力的发展起着巨大的作用。电能的应用都以电工技术为基础,应用的实践又促进电工技术的发展,因此,学习和掌握电工技术的基本理论和应用技术具有十分重要的意义。

二、本课程的目的、任务和基本要求

高等工业院校非电专业的《电工技术》是一门实践性很强的技术基础课。它的目的和任务是使学生获得电工技术的基本理论、基本知识和基本技能,为学习后续课程及今后从事工程技

术工作打下必要的基础。

学好本课程,首先要有正确的学习目的和学习态度,应为我国社会主义现代化的伟大事业而学习。在学习中应有刻苦钻研、百折不挠的精神,要脚踏实地,循序渐进,以获得优良的成绩。

学习本课程着重注意如下几点:

(1)理论基础方面要抓住物理概念、基本理论、基本定律、工作原理和基本分析方法,着重于理解,积极思考。

(2)实验是本课程重要的教学环节,在实验中要训练和提高技能,培养严谨的科学作风以及解决实践问题的能力。

(3)完成教师布置的习题是巩固和加深对所学理论的理解的重要途径。做习题前,要先复习有关内容,掌握基本理论,必须认真、独立地完成所布置的作业。

目 录

绪 论.....	(1)	第二章 正弦交流电路.....	(34)
第一章 直流电路	(1)	第一节 正弦交流电的基本概念.....	(34)
第一节 电路的作用及其组成	(1)	一、周期和频率	(34)
一、电路的作用.....	(1)	二、瞬时值和最大值	(35)
二、电路的组成.....	(1)	三、相位和相位差	(35)
第二节 电路模型	(2)	四、有效值	(37)
第三节 电路的基本物理量	(3)	第二节 正弦交流电的相量表示法.....	(38)
一、电流.....	(3)	第三节 单一参数的交流电路.....	(41)
二、电压与电动势.....	(4)	一、纯电阻电路	(41)
第四节 电路的状态	(5)	二、纯电感电路	(43)
一、负载状态.....	(5)	三、纯电容电路	(46)
二、开路(空载)状态.....	(6)	第四节 RLC 串联电路	(49)
三、短路状态.....	(6)	一、电流和电压的关系	(49)
第五节 电压源与电流源及其等效变换	(7)	二、电路的功率	(51)
一、电压源.....	(7)	第五节 RLC 并联电路	(53)
二、电流源.....	(8)	* 第六节 阻抗的串联与并联.....	(54)
三、电压源与电流源的等效变换.....	(9)	一、阻抗的串联	(54)
第六节 克希荷夫定律.....	(12)	二、阻抗的并联	(55)
一、克希荷夫电流定律(KCL)	(12)	第七节 交流电路的频域分析.....	(58)
二、克希荷夫电压定律(KVL)	(13)	一、 RC 电路的频率特性	(59)
第七节 支路电流法.....	(14)	二、谐振电路	(61)
* 第八节 节点电压法.....	(17)	第八节 功率因数的提高.....	(66)
第九节 叠加原理.....	(18)	一、提高功率因数的意义	(66)
第十节 等效电源定理.....	(20)	二、提高功率因数的方法	(67)
一、戴维南定理	(20)	习 题.....	(70)
二、诺顿定理	(22)	第三章 三相交流电路.....	(76)
第十一节 电路中各点电位的计算.....	(23)	第一节 三相交流电源.....	(76)
第十二节 非线性电阻电路的分析.....	(25)	第二节 负载星形联接的三相电路.....	(79)
习 题.....	(28)	第三节 负载三角形联接的三相电路	(81)

第四节 三相功率..... (82)	第六章 磁路与变压器 (120)
习 题..... (84)	第一节 磁路及其基本物理量 (120)
第四章 非正弦周期电流电路..... (87)	一、磁路概念..... (120)
第一节 非正弦周期信号的合成与分解 (88)	二、磁路的基本物理量..... (121)
一、信号的合成 (88)	第二节 磁性材料的磁性能 (122)
二、信号的分解 (89)	一、高导磁性..... (122)
第二节 非正弦周期信号的最大值、平 均值、有效值和功率 (92)	二、磁饱和性..... (122)
一、最大值 (92)	三、磁滞性..... (123)
二、平均值 (92)	第三节 简单磁路的分析 (124)
三、有效值 (92)	第四节 交流铁心线圈电路 (126)
四、平均功率 (93)	一、各物理量之间的关系..... (127)
第三节 线性参数的非正弦周期 电流电路的计算..... (94)	二、铁心中的能量损耗..... (128)
习 题..... (97)	第五节 变压器 (129)
第五章 电路的时域分析..... (99)	一、变压器的工作原理..... (130)
第一节 换路定律与电流、电压初始值 的确定..... (99)	二、变压器的工作特性..... (134)
一、概述 (99)	三、特殊变压器..... (134)
二、储能元件的换路定律与电压、 电流初始值的确定..... (100)	四、变压器绕组的同极性端及其测定 (137)
第二节 RC 电路的响应 (102)	第六节 电磁铁 (138)
一、RC 电路的零输入响应 (102)	习 题 (141)
二、RC 电路的零状态响应 (104)	第七章 电动机 (144)
三、RC 电路的全响应 (105)	第一节 三相异步电动机的结构 ... (144)
第三节 求解一阶电路的三要素法 (107)	一、定子..... (145)
第四节 微分电路和积分电路 (110)	二、转子..... (145)
一、微分电路..... (110)	第二节 三相异步电动机的工作原理 (146)
二、积分电路..... (111)	一、旋转磁场的产生..... (146)
第五节 RL 电路的响应 (112)	二、异步电动机的转动原理..... (149)
一、RL 电路的零输入响应 (112)	第三节 三相异步电动机的电磁 转矩与机械特性 (150)
二、RL 电路的零状态的响应 (113)	一、电磁转矩..... (150)
三、RL 电路的全响应 (114)	二、机械特性..... (151)
习 题 (116)	三、运行特性..... (153)
	第四节 三相异步电动机的起动 ... (154)
	一、起动..... (154)
	二、起动方法..... (154)

第五节 三相异步电动机的调速 … (158)	* 第十二节 控制电机 …… (178)
一、变频调速…………… (158)	一、伺服电动机…………… (178)
二、改变极对数调速…………… (160)	二、测速发电机…………… (181)
三、改变转差率 s (转子串电阻) 调速 …………… (160)	三、步进电动机…………… (183)
第六节 三相异步电动机的制动 …………… (160)	习 题 …… (186)
一、能耗制动…………… (160)	第八章 电动机的继电接触器控制 … (189)
二、反接制动…………… (160)	第一节 常用控制电器 …… (189)
三、发电反馈制动…………… (161)	一、组合开关…………… (189)
第七节 三相异步电动机的铭牌数据 …………… (161)	二、按钮…………… (189)
一、型号、结构和用途 …… (161)	三、行程开关…………… (190)
二、额定数据…………… (163)	四、交流接触器…………… (190)
第八节 三相异步电动机的选择 … (165)	五、中间继电器…………… (191)
一、容量(即功率)选择…………… (165)	六、热继电器…………… (191)
二、种类的选择…………… (167)	七、熔断器…………… (192)
三、型式的选择…………… (167)	八、自动空气断路器…………… (192)
四、电压和转速的选择…………… (169)	第二节 三相异步电动机的基本 控制电路 …… (193)
* 第九节 单相异步电动机 …… (169)	一、直接起动控制电路…………… (193)
一、单相异步电动机的工作原理 …………… (169)	二、正反转控制电路…………… (194)
二、电容分相式单相异步电动机 …………… (171)	第三节 三相异步电动机的基本 控制原则 …… (195)
三、罩极式单相异步电动机…… (172)	一、行程控制…………… (195)
* 第十节 三相同步电动机 …… (172)	二、时间控制…………… (196)
一、同步电动机的构造…………… (172)	三、顺序控制…………… (197)
二、同步电动机的工作原理…… (172)	四、速度控制…………… (197)
三、同步电动机的起动…………… (172)	第四节 可编程序控制器 …… (198)
* 第十一节 直流电动机 …… (173)	一、概述…………… (198)
一、直流电动机的结构和工作原理 …………… (173)	二、PC 的结构原理 …… (199)
二、并励直流电动机的机械特性 …………… (175)	三、程序编制…………… (201)
三、并励直流电动机的起动、 反转与调速…………… (176)	四、PC 应用实例 …… (206)
	习 题 …… (209)
	第九章 工业企业供电与安全用电 … (211)
	第一节 工业企业供电和配电 基本知识 …… (211)
	一、电力系统及电力网…………… (211)
	二、主要配电方式及其应用…………… (212)

第二节 建筑物的内部线路	(213)	第十章 电工测量和仪表	(231)
一、内线装置中的常用导线	(213)	第一节 电工仪表的结构及工作原理	(231)
二、内线装置的主要配线方式	(214)	一、电工仪表的分类	(231)
三、内线装置方式的适用场所、安全要求、运行维护	(215)	二、电工仪表的结构及工作原理	(231)
第三节 导线截面的选择	(217)	第二节 电流和电压的测量	(233)
一、根据发热条件选择导线截面	(217)	一、电流的测量	(233)
二、根据容许电压损失选择导线截面	(217)	二、电压的测量	(233)
第四节 电光源和照明装置	(218)	三、电压、电流表的选择	(234)
一、电光源	(219)	第三节 万用电表	(234)
二、照明装置	(221)	一、磁电式万用电表	(234)
第五节 计划用电和节约用电	(223)	二、数字式万用电表	(239)
一、计划用电	(223)	第四节 电功率和电能的测量	(239)
二、节约用电	(223)	一、电功率的测量	(239)
第六节 安全用电	(224)	二、电能的测量	(241)
一、电流对人体的危害	(225)	第五节 兆欧表	(242)
二、触电方式	(225)	一、兆欧表的结构和工作原理	(242)
三、接地保护	(226)	二、兆欧表的使用	(243)
四、保护接零	(227)	第六节 电桥及其应用	(243)
五、静电防护和电气防火、防爆	(229)	一、用交流电桥测电容	(244)
习 题	(230)	二、用交流电桥测电感	(244)
		习 题	(245)
		附 录 电气图常用图形符号	(246)

第一章 直流电路

本章主要讨论电路的基本物理量、电路的基本定律、电路的状态以及电路的基本分析方法。

分析与计算电路的基本定律是欧姆定律和克希荷夫定律,往往由于实际电路复杂、计算过程极为繁复,因此,要根据电路的结构特点,寻找分析和计算的简便方法。本章将扼要地介绍几种常用的电路分析方法,如支路电流法、叠加原理、等效电源定理、节点电压法等。这些方法虽然在直流电路中提出,但原则上也适用于正弦交流电路及各种线性电路。

第一节 电路的作用及其组成

一、电路的作用

为了某种需要,将某些电工设备或元件按一定方式组合起来,构成电流的通路,称为电路。

电路的结构形式和所能完成的任务是多种多样的,最典型的例子是电力系统,其示意图如图 1-1a 所示。它的作用是实现电能的传输和转换。

电路的另一个重要作用是进行电信号的处理、存贮、控制和测量等。常见的例子如晶体管声音放大电路,其示意图如图 1-1b 所示。先由话筒把语言或音乐(通常称为信息)转换为相应的电压和电流,它们就是电信号;通过放大和转换(称为信号的处理)后传递到扬声器,把电信号还原为语言或音乐。更简单的电路如图 1-1c 所示的手电筒电路。

二、电路的组成

不论电路结构的复杂程度如何,其组成包括了如下三个基本部分:

1. 电源

它是将其它形式的能量转换为电能的装置,常用的电源有干电池、蓄电池和发电机等,它们分别将化学能和机械能转换成电能。此外,还有将某种形式的电能转换成另一种形式的电能的装置,通常也称为电源,例如常见的直流稳压电源就是将交流电转换为直流电,并在一定范围内保持输出电压稳定的一种装置。

2. 负载

它是将电能转换为其它形式的能量的装置。例如,小电珠把电能转换成光能和热能,电动机将电能转换成机械能等。负载有时也称负荷。

3. 中间环节

它能起传递、分配和控制电能的作用。最简单的中间环节就是开关和联接导线,一般还有

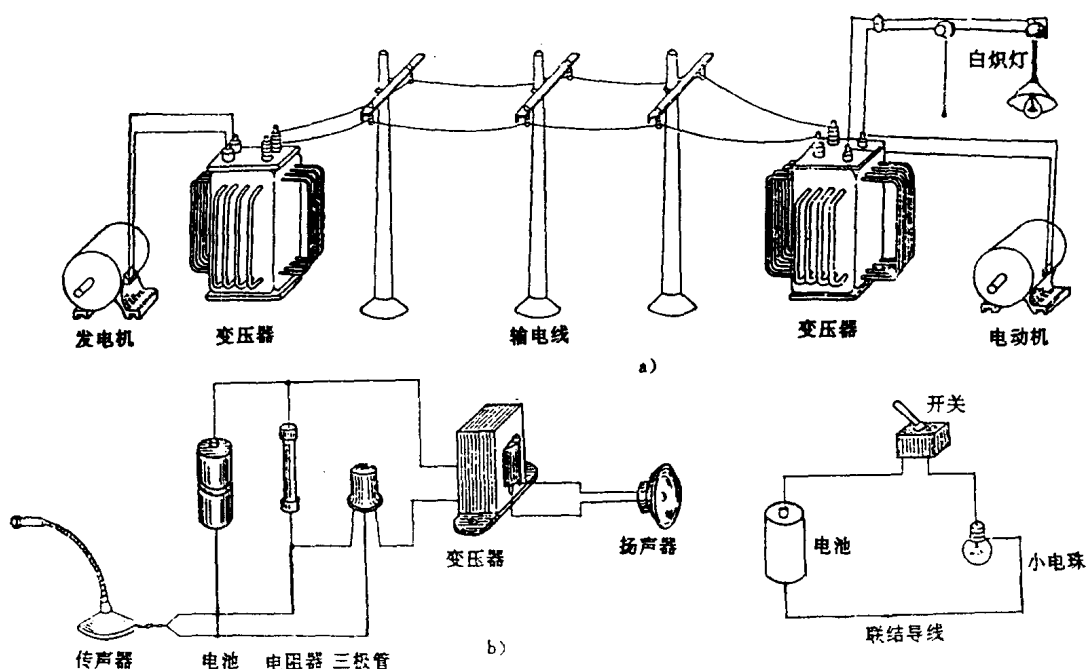


图 1-1 电路的例子

保护和测量装置；更为复杂的中间环节可能是各种电路元件组成的网络系统，电源接在它的输入端，负载接在它的输出端。不论电能的传输和转换，或者信号的传递和处理，电路中的外施信号或输入信号常称为激励，而输出信号则称为响应。所谓电路分析，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。

第二节 电路模型

实际电路都是由一些按需要起不同作用的实际电路元件所组成，诸如发电机、变压器、电动机、电池、晶体管以及各种电阻器和电容器等，它们的电磁关系较为复杂。最简单的例子如一个白炽灯，它除具有消耗电能的性质（电阻性）外，当有电流通过时还会产生磁场，就是说它还具有电感性。因其电感微小，可忽略不计，所以，可认为白炽灯是一个电阻元件。

为了便于对电路进行分析计算，常常将实际元件理想化（也称模型化），即在一定条件下突出其主要的电磁性质，忽略次要的因素，用一个足以表征其主要特性的理想元件近似表示。由一些理想电路元件所组成的电路，称为电路模型。在理想电路元件（此后理想两字略去）中，主要有电阻元件、电感元件、电容元件和

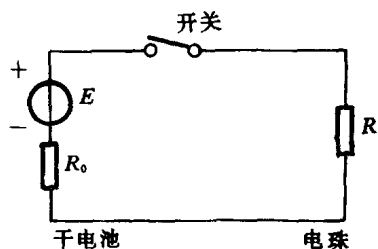


图 1-2 手电筒的电路模型

电源元件等。这些元件分别由相应的参数来表征。例如图 1-1c 的手电筒电路,其电路模型如图 1-2 所示。干电池是电源元件,其参数为电动势 E 和内电阻 R_0 ;电珠是电阻元件,其参数为 R ;筒体是联接干电池和电珠的中间环节(还包括开关),其电阻忽略不计,认为是一个无电阻的理想元件。

今后所分析的都是电路模型,简称电路。电路中的各种元件用规定的图形符号表示。电气图常用图形符号如附录所示。

第三节 电路的基本物理量

一、电流

电荷的有规则的定向运动形成电流。电流是一种物理现象,又是一个表示电流强弱的物理量。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。

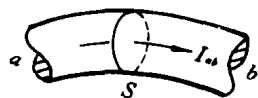


图 1-3 导体中的电流

设在时间 dt 内通过导体横截面 S (见图 1-3)的电荷量为 dq , 则导体中的电流为

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

如电流不随时间而变化,即 $\frac{dq}{dt} = \text{常数}$,则这种电流称为直流。直流常用大写字母 I 表示,所以式 1-1 可改写为

$$I = \frac{q}{t} \quad (1-2)$$

电流的基本单位是安培,简称为安(A)。在 1 秒钟时间内通过导体截面的电荷为 1 库仑时,则电流为 1 安(即 $1\text{A} = 1\text{C/S}$)。对于较小的电流可用毫安(mA)和微安(μA)表示,它们间的关系为

$$1\text{A} = 10^3\text{mA} = 10^6\mu\text{A}$$

本书中的物理量的单位及其代号统一采用与国际单位制(SI制)一致的国家法定计量单位。

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。在电路分析中,往往难于事先判定某支路中电流的实际方向,因此常任意选定某一方向作为电流的正方向,或称为参考方向。当电流的实际方向与其参考方向一致时,则电流为正值(图 1-4a);反之,当电流的实际方向与参考方向相反时,则电流为负值(图 1-4b)。可见,在参考方向(正方向)选定之后,电流之值才有正负之分。

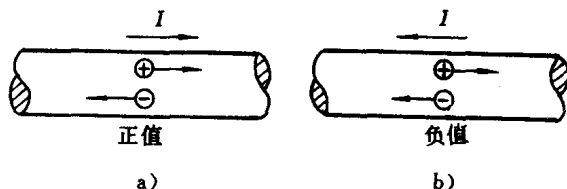


图 1-4 电流的实际方向与参考方向

本书电路图中所标电流的方向都是正方向。

电流的正方向除用箭头表示外,还可用双下标表示。如图 1-3 中的 I_{ab} 即表示正方向是由

a 指向 b 的电流。如果正方向选定为由 b 指向 a, 则为 I_{ba} , 两者之间仅相差一个负号, 即

$$I_{ab} = -I_{ba} \quad (1-3)$$

二、电压与电动势

图 1-5 中, a 和 b 是电源的两个电极, 设 a 极带正电, b 极带负电, 因此在两极之间产生电场, 其方向从 a 指向 b。如用导线将 a 和 b 联接起来, 则在电场的作用下, 正电荷就从 a 极沿导线移至 b 极(实际上是导线中的自由电子从 b 极经导线移至 a 极, 两者是等效的)。这就是电场力对电荷做了功。为了表示电场力做功的能力, 引入电压这一物理量。电场力把单位正电荷从 a 点移动到 b 点所做的功, 称为 a、b 两点间的电压, 用 U_{ab} 表示。

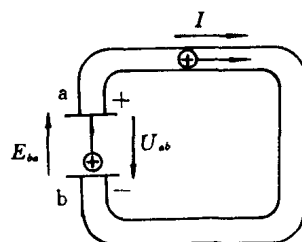


图 1-5 说明电压、电动势概念的图

在电场内 a、b 两点间的电压也常称为该两点间的电位差, 即

$$U_{ab} = U_a - U_b \quad (1-4)$$

在国际单位制中, 电压的单位是伏特(V)。当电场力把 1 库仑(C)的电荷量从一点移到另一点所做的功为 1 焦耳(J)时, 则该两点间的电压为 1 伏特(V)。大电压可用千伏(kV)、小电压可用毫伏(mV)、微伏(μV)表示。

电压的方向规定为由高电位端指向低电位端, 即电位降低的方向。

当一个元件或一段电路上的电流、电压参考方向一致时, 则称它们为关联的参考方向, 如图 1-6 中的 I 与 U , 或 I' 与 U' 为关联参考方向, 而 I 与 U' 或 I' 与 U 为非关联参考方向。

在电场力的作用下, 正电荷就从高电位沿着导线向低电位移动。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 两电极间的电位差逐渐减小到等于零。与此同时, 联接导线中的电流也会相应减小到等于零。

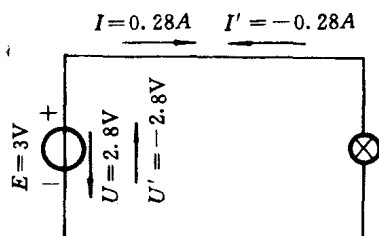


图 1-6 电流、电压和电动势正方向的关系

为了维持连接导线中的电流连续并保持恒定, 则必须使 a、b 间的电压 U_{ab} 保持恒定, 即必须有另一种力能克服电场力而使电极 b 上的正电荷经过另一路径移向电极 a。电源就能产生这种力, 我们称它为电源力。电源力将单位正电荷由低电位端 a 经过电源内部移动到高电位端 b 所做的功, 称为电源的电动势, 用 E 表示。

电源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, 即电位升高的方向。

和电流一样, 在电路图上所标的电压和电动势的方向也都是正方向(也用箭头或双下标表示)^①, 它们是正值还是负值, 视选定的正方向而定, 如图 1-6 所示。例如电压 U 的正方向与实际方向一致, 故为正值; 而电压 U' 的正方向与实际方向相反, 故 U' 为负值。

电动势的单位也是伏特(V)。

^① 有些书上, 电压的正方向不用箭头而用参考极性“+”、“-”表示。在本书中, “+”和“-”表示电压的实际极性。

第四节 电路的状态

电路可以处于下面几种状态的某一状态中：负荷状态、开路（空载）状态和短路状态。现分别讨论每一种状态的特点。

一、负载状态

在图 1-7 中，将开关 S 合上时，电路接通，有电流通过负载 R ，这种状态称为负载状态。电路中的电流为

$$I = \frac{E}{R_0 + R} \quad (1-5)$$

通常电源的电动势 E 和内电阻 R_0 是一定的，所以电流 I 的大小取决于负载电阻 R 。 R 愈小，则电流 I 愈大。

负载两端的电压为

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

在忽略导线的电阻时，电源两端的电压就等于负载两端的电压。

将式 1-6 代入式 1-5，则得

$$U = E - IR_0 \quad (1-7)$$

由上式可见，电源端电压小于电动势，两者之差等于电流通过电源内阻所产生的压降 IR_0 。它与负载电流的大小有关。电流愈大，电压降 IR_0 也愈大。

式 1-7 各项乘以电流 I ，则得功率平衡式

$$UI = EI - I^2 R_0 \quad (1-8)$$

即

$$P = P_E - \Delta P$$

式中， $P_E = EI$ ，电源产生的功率；

$\Delta P = I^2 R_0$ ，电源内阻上损耗的功率；

$P = UI$ ，电源输出的功率。

在国际单位制中，功率的单位是瓦特(W)或千瓦(kW)。1 秒(s)内转换 1 焦耳(J)的能量，则功率为 1 瓦(W)。由上式可以看出，电源的输出功率和电流决定于负载的大小。若需电源输出大的功率，则需要有大的电流和高的电压。但是，任何一个实际电源的电压和电流都有一定的限额，这个限额就是电源的额定电压和额定电流。对于用电设备来说，也有类似的情况，即各种用电设备的电压、电流及功率都有一个额定值。例如，一盏电灯的电压是 220V，功率是 6W，这就是它的额定值。额定值是制造厂为了使产品能在给定工作条件下正常运行而规定的正常容许值。电气设备的额定值常标于产品铭牌上或写在其它说明中。用户应遵照制造厂规定的各项额定值来使用电气设备。电气设备工作在额定情况下称为额定工作状态。

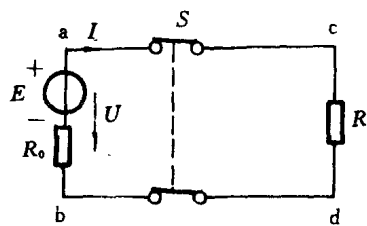


图 1-7 最简单的电路

额定电压、额定电流、额定功率分别用 U_N 、 I_N 和 P_N 表示。

二、开路(空载)状态

在图 1-7 所示电路中,当开关 S 断开时,电路处于开路(空载)状态,如图 1-8 所示。由式 1-7 可知,这时电源的端电压在数值上等于电动势,称为开路电压或空载电压,用 U_0 表示。由于电路的电流为零,故电路不输出功率。

开路时,电路的主要特征可归纳为

$$\left. \begin{aligned} I &= 0 \\ U &= U_0 = E \\ P &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (1-9)$$

三、短路状态

在图 1-7 所示电路中,当电源的两端 a 和 b 由于某种原因而直接接通,即外电路电阻等于零,称电源被短路,如图 1-9 所示。这时电流仅由内阻 R_0 限制。在 R_0 很小的情况下,电流

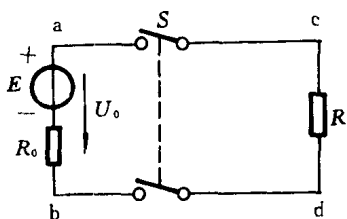


图 1-8 开路

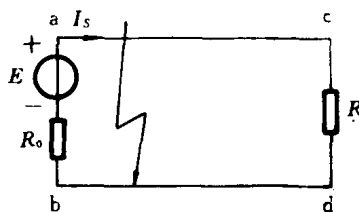


图 1-9 短路

会达到很大的数值,这个电流称为短路电流,用 I_s 表示。

电源短路时,由于外电路的电阻为零,所以电源的端电压也为零。这时电源的电动势全部降落在内电阻上。

由上所述,电源短路时的特征可归纳为

$$\left. \begin{aligned} U &= 0 \\ I &= I_s = \frac{E}{R_0} \\ P_s &= \Delta P = I^2 R_0, \quad P = 0 \end{aligned} \right\} \quad (1-10)$$

短路通常是一种事故,应尽量避免。为了防止短路事故的危害,通常在电路中安装熔断器或其它自动开关等保护装置,一旦发生短路,能迅速切断故障电路,从而防止事故扩大,以保护电气设备和供电线路。

有时由于某种需要,人为地将电路的某一部分短路。如图 1-10 所示,为防止电动机起动电流对电流表的冲击,在起动时用开关将电流表短路,使起动电流从开关 S_2 旁路通过,待起动结束,再断开 S_2 ,恢复电流表的作用。这种人为地将电路某一部分短路,常称为“短接”。

例 1-1 设图 1-11 所示电路中的电源额定功率 $P_N = 22\text{kW}$, 额定电压 $U_N = 220\text{V}$, 内阻 $R_0 = 0.2\Omega$, R 为可调节的负载电阻。

求:

(1) 电源的额定电流 I_N ;

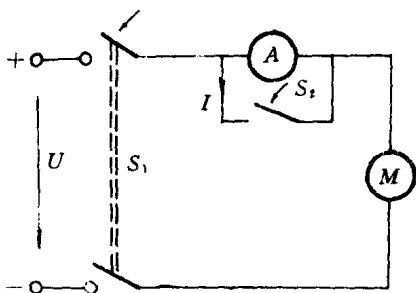


图 1-10 开关将电流表短接

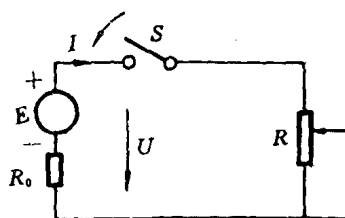


图 1-11 例 1-1 的图

(2) 电源的开路电压 U_0 ;

(3) 电源在额定工作情况下的负载电阻 R_N ;

(4) 负载发生短路时的短路电流 I_s 。

解: (1) 电源的额定电流

$$I_N = \frac{P_N}{U_N} = \frac{22 \times 10^3}{220} = 100\text{A}$$

(2) 电源的开路电压

$$U_0 = E = U_N + I_N R_0 = 220 + 0.2 \times 100 = 240\text{V}$$

(3) 电源在额定状态时的负载电阻

$$R_N = \frac{U_N}{I_N} = \frac{220}{100} = 2.2\Omega$$

(4) 短路电流

$$I_s = \frac{E}{R_0} = \frac{240}{0.2} = 1200\text{A} \gg I_N$$

第五节 电压源与电流源及其等效变换

一个电源可以用两种不同的电路模型来表示:一种是用电压的形式来表示,称为电压源;另一种是用电流的形式来表示,称为电流源。

一、电压源

发电机、电池等实际电源,都含有电动势 E 和内阻 R_0 ,为了表示实际电源的端电压随电流而变化的外特性,用电动势 E 与内阻 R_0 串联作为电源的电路模型,这就是电压源,如图 1-12 所示。图中 U 是电源端电压, R_L 是负载电阻, I 是负载电流。

根据图 1-12b 所示的电路,可得

$$U = E - IR_0 \quad (1-11)$$

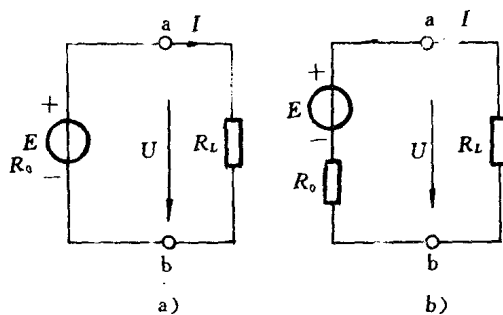


图 1-12 电压源模型
a) 实际电源; b) 电压源模型