

高等职业技术教育机电类专业规划教材

电工技术 及实训

(非电类专业)

陈定明 编
冯 澜

机械工业出版社
China Machine Press

953

7M-43
C46

高等职业技术教育机电类专业规划教材

电工技术及实训

(非电类专业)

陈定明 冯 澜 编
梁 森 主 审



机械工业出版社

本教材分为两大部分：理论篇和实训篇。理论篇共分十章，讲述电路模型和基本定律、电路的分析方法、正弦交流电路、三相电路、电路的过渡过程、铁心线圈及变压器、电动机、电动机的控制、控制电动机和电工测量及安全用电。实训篇包括四个实验和五个实训。书中打*号部分可根据学时和实际需要选用。本书与成叶琴、王海群编写的《电子技术及实训》配套使用。学时为60~80。

本教材可供高等职业技术教育非电类专业使用。

图书在版编目(CIP)数据

电工技术及实训/陈定明,冯澜编. —北京:机械工业出版社,2002.5

高等职业技术教育机电类专业规划教材·非电类专业

ISBN 7-111-09856-0

I. 电… II. ①陈… ②冯… III. 电工技术-高等学校:技术学校-教材 IV. TM

中国版本图书馆CIP数据核字(2002)第005822号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:贡克勤 版式设计:冉晓华 责任校对:刘志文

封面设计:姚毅 责任印制:路琳

北京机工印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2002年4月第1版·第1次印刷

787mm×1092mm¹/₁₆·12.5印张·307千字

0 001—5 000册

定价:18.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010)68993821、68326677-2527

序

职业教育指受教育者获得某种职业或生产劳动的职业道德、知识和技能的教育。机电行业的职业技术教育是培养在生产一线的技术、管理和运行人员，他们主要从事成熟的技术和管理规范的应用与运作。随着社会经济的发展和科学技术的进步，生产领域的技术含量在不断提高。用人单位要求生产一线的技术、管理和运行人员的知识与能力结构与之适应。行业发展的要求促使职业技术教育的高层次——高等职业教育蓬勃成长。

高职教育与高等工程专科、中专教育培养的人才属同一类型，都是技术型人才，毕业生将就业于技术含量不同的用人单位。高等职业教育的专业设置必须适应地区经济与行业的需求。高等职业教育是能力本位教育，应以职业分析入手，按岗位群职业能力来确定课程设置有各种活动。

机械工业出版社出版了大量的本科、高工专、中专教材，其中有相当一批教材符合高等职业教育的需求，具有很强的职业教育特色，在此基础上这次又推出了机械类、电气类、数控类三个高职专业的高职教材。

专门课程的开发应遵循适当综合化与适当实施化。综合化有利于破除原来各门课程的学科化倾向，删除与岗位群职业能力关系不大的内容，有利于删除一些陈旧的内容，增添与岗位群能力所需要的新技术、新知识，如微电子技术、计算机技术等。实施化是课程内容要按培养工艺实施与运行人员的职业能力来阐述的，将必要的知识支撑点溶于能力培养的过程中，注重实践性教学，注重探索教学模式，以达到满意的教学效果。

本教材倾注了众多编写人员的心血，他们为探索我国机电行业高职教育做出了可贵的尝试。今后还要依靠广大教师在实践中不断改进，不断完善，为创建我国的职业技术教育体系而奋斗。

赵克松

前 言

本教材是根据全国高职高专“非电类专业改革教学方案”及主干课程“电工与电子技术课程的基本要求”编写的，与成叶琴、王海群编的高等职业技术教育机电类专业规划教材《电子技术及实训》配套使用，可供高等职业技术教育非电类专业使用。学时数为60~80。

按照课程教学基本要求，在教材编写过程中坚持以能力为主线，在精选教学内容，加强基础教学，力求体现新知识、新技术，减少数学推导方面下功夫。在注意编写应用实例的同时，合理安排实验、实训，突出实践技能的培养。本教材结构合理，覆盖面广，概念清楚，语言简洁，便于学习。书中打*号部分是选用模块，可根据不同专业、不同学时的要求加以选用。

本教材由九江职业技术学院陈定明、上海电机技术高等专科学校冯澜编写。陈定明编写理论篇的第五、六、七、八、九、十章及实训篇的全部内容，冯澜编写理论篇的第一、二、三、四章，全书由陈定明统稿。九江职业技术学院倪志莲老师验算了全部习题，并协助画了实训篇的全部图。

上海电机技术高等专科学校高级工程师梁森老师任主审，对书稿进行了认真、负责、全面、细致的审阅，提出了许多宝贵的意见。在上海召开的审稿会上，上海理工大学的周贻洁副教授、上海电机技术高等专科学校吴兴云副教授、许培德副教授，河南工业职业学院王煜东副教授及与会代表提出了许多宝贵意见，编者在此表示衷心的感谢。

由于电力半导体技术的飞速发展，电工技术也在不断更新，教学内容也要不断更新，鉴于编者水平有限，时间比较仓促，书中难免有错误与不妥之处，敬请读者批评指正，以便改进。

编 者

目 录

序	
前言	
绪论	1
理论篇	3
第一章 电路模型和基本定律	3
第一节 电路和电路模型	3
第二节 电路的基本物理量	4
第三节 电阻、电感和电容元件	6
第四节 电压源和电流源	8
第五节 基尔霍夫定律	10
第六节 电路的有载工作、开路及 短路状态	12
第七节 电压、电位及功率的计算	13
本章小结	15
习题	15
第二章 电路的分析方法	18
第一节 电阻的串联、并联及混联	18
第二节 实际电压源与实际 电流源的等效变换	20
第三节 叠加原理	22
第四节 戴维宁定理	23
本章小结	24
习题	25
第三章 正弦交流电路	27
第一节 正弦交流电路的基本概念	27
第二节 交流电路中的电路元件	32
第三节 串联交流电路	36
第四节 功率因数的提高	40
* 第五节 谐振电路	41
本章小结	44
习题	45
第四章 三相电路	47
第一节 三相电源	47
第二节 三相负载	50
第三节 三相功率	53
本章小结	54
习题	54
第五章 电路的过渡过程	56
第一节 RC 电路的过渡过程	56
第二节 RL 电路的过渡过程	59
第三节 微分电路与积分电路	61
本章小结	62
习题	63
第六章 铁心线圈与变压器	65
第一节 磁路的基本概念与基本定律	65
第二节 磁性材料的磁性能	68
第三节 直流铁心线圈与直流电磁铁	70
第四节 交流铁心线圈与交流电磁铁	72
第五节 变压器	75
* 第六节 三相变压器	83
本章小结	84
习题	85
第七章 电动机	87
第一节 三相异步电动机的构造及 工作原理	87
第二节 三相异步电动机的转矩 与机械特性	93
第三节 三相异步电动机的起动、 调速和制动	95
第四节 三相异步电动机的铭牌数据	99
第五节 三相异步电动机的选择	101
第六节 单相异步电动机	102
* 第七节 同步电动机	104
本章小结	106
习题	107
第八章 电动机的控制	109
第一节 常用控制电器	109
第二节 三相笼型异步电动机 控制线路	116
第三节 三相异步电动机的电气制动 控制线路	119
* 第四节 直流电动机及其控制线路	121
本章小结	126

习题	127	实验一	直流电路的认识实验	159
第九章 控制电动机	130	实验二	电阻和电源伏安特性的测定	162
第一节 伺服电动机	130	实验三	正弦交流电路认识实验	166
第二节 步进电动机	133	实验四	电阻、电感及电容识别实训	169
本章小结	136	实验五	日光灯电路与提高功率因数实训	172
习题	136	实验六	星形负载的三相电路及功率测量	174
第十章 电工测量及安全用电	138	实验七	三相异步电动机的正反转控制实训	176
第一节 测量误差与仪表准确度	138	* 实验八	室内照明线路的安装实训	178
第二节 电流、电压和功率的测量	139	* 实验九	万用表的安装实训	181
第三节 万用表与兆欧表的使用	145	参考文献		192
第四节 安全用电常识	150			
本章小结	156			
习题	157			
实训篇	158			
电工实验概述	158			

绪 论

一、电生磁，磁生电

2500 多年前，人类就发现了摩擦起电，随后又发现了磁现象。第一次记载摩擦起电的古希腊人泰利斯认为，磁石能吸引铁屑的现象与琥珀吸引麦秆碎渣的现象是一回事。直到 1600 年，英国人吉伯大胆地指出，电力和磁力是两回事，才打破泰利斯错误见解的禁锢，但吉伯在做了许多试验以后，把像琥珀那样能摩擦起电的物体叫做“电体”，把不能摩擦起电的金属称为“非电体”……电究竟是什么？它从哪儿来？直到 18 世纪 40 年代以前，摩擦起电仍然是人们获得电的唯一方法。电学在 2100 多年的时期内迷惘徘徊，进展十分缓慢。

1752 年，自学成才的科学家富兰克林做了一次十分冒险的天电（云层所带的电）试验，揭开了“雷神”的真面目。他用莱顿瓶收集的天电与地面上摩擦产生的电进行比较，证明了两者的相同性，结果他发明了避雷针，并最早提出“电荷”这一概念。从此，“电”的真相的帷幕开始慢慢地被拉开了。1875 年科学家库伦用自己设计的实验器具居然测出了同种电荷或异种电荷间作用力（斥力或引力）的大小，开创了人类用数学定量分析电规律的先河。随后解剖学教授伽伐尼在解剖青蛙时，发现他的钢刀触到青蛙的神经时，蛙腿突然抖动起来，因而竟然成了世界上第一个发现电荷流动——电流现象的人。

1820 年，物理学家奥斯特发现，通有电流的铁丝能使靠近它的小磁针发生偏转……轰动了当时的欧洲科学界。接着科学家安培和其他一些学者相继详细地研究了奥斯的发现，得出了磁针转动方向和通电电流方向间的精确关系。1827 年欧姆在他的论文中发表了著名的欧姆定律……

自从有了莱顿瓶，人们能将摩擦得到的零星电蓄存起来，进行较大的电学实验，但它毕竟只能用来储蓄电，并不能产生电。因此人们希望发明一种能源源不断自行产生电的东西——一种稳定的电源。伏打对蛙腿的颤抖经过多次的重复实验和仔细的研究，终于发现流过蛙腿的电流并不是其内部的所谓“动物电”，而是钢刀和挂蛙腿的铜钩这两种不同的金属接触所产生的电位差而引起的。他还发现不同种类的金属同时接触电解液时，都会产生电位差和引起电流。1800 年，伏打创造出历史上第一个电池，这在电学史上是一个不小的飞跃。但是伏打电池产生的电力十分昂贵和有限，当时世界上最大、由 2000 片铜片和锌片组成的伏打电池也只能点亮一盏弧光灯，社会迫切需要强大而廉价的电力供应。

科学自有后来人。法拉第想，电产生磁是一种感应，为什么不能有一种磁转化为电的反感应呢？1831 年，经过十年艰辛试验的法拉第，一天他把磁铁棒迅速插入绕有铜丝的圆筒中时，一个梦寐以求的现象使法拉第惊住了——与圆筒铜丝连结的检流计指针摆动了一下，他不由自主地将磁铁棒从铜线圈中抽了出来，奇怪的是检流计指针又摆动了一下。转磁为电成功了，感应电流产生了。不久，法拉第创造了人类历史上真正的第一部发电机。

1834 年雅可比制造出世界上第一台电动机。随后，多里沃—多勃罗沃尔斯基发明和制造了三相异步电动机和三相变压器，并首先采用了三相输电线路。麦克斯韦提出了电磁波理论……接踵而至的电磁现象新发现，一个又一个电量之间的关系式和计算公式的创立，以及

其他许多重要的电学实验，将电学带到了一个全新的境地，使电学一步一步走向实际应用的道路。

二、电能的应用及其与生产的关系

进入 21 世纪后，电能的广泛应用已经渗透到工农业生产、交通运输、国防科技和日常生活中。由于电能生产方便、传输高效、控制与检测灵活、使用便捷、对环境污染少等优点，在国民经济和人民生活起着至关重要的作用。电气化是人类长期以来的美好理想，但电能的生产和应用，只是近代才得到突飞猛进的发展。经过 20 世纪末高科技成果的不断涌现，人类借助于计算机技术，开创了自动化、网络化的新纪元。

电工技术是研究电磁特性基本规律及其应用的技术基础课，其发展十分迅速，应用非常广泛，现代一切新的科学技术无不与电有着密切的关系，几乎所有的行业一旦引入电工技术、电子技术、计算机技术就将面貌一新，从而释放出巨大的生产力，获得喜人的经济效益。

三、课程的目的、任务及其学习方法

由于电工技术和各行各业有着不可分割的联系，非电专业的学生在学好本专业的同时，还要努力钻研电工技术，把电工技术和本专业紧密地结合起来，使其成为发展本专业的强有力的工具，使自己成为一个机电一体化方面的优秀人才。

电工技术内容广泛，理论性、系统性强。在较少的教学课时内，要着重基本概念、基本方法和基本实践技能的学习。

电学的历史就是一个不断地实践，不断地探索，不断地总结深入的历史。我们要学习前人那种联系实际，积极思考，富于想象的精神，学好这门课程。

本教材各章节都附有一定数量的应用实例、思考题及习题，引导学生逐步深入各部分的学习，不断提高实际应用的能力。

理 论 篇

第一章 电路模型和基本定律

当今电已经无孔不入地渗透至人类社会的每一缝隙，从手电筒、电灯至各种用电设备、移动电话、计算机网络……人们时时刻刻都在使用着电路。本章主要介绍直流电路分析的基本知识，主要内容有电路和电路模型的概念、电路的基本物理量、常用的电路元件、电路的基本工作状态、电路的基本定律及其基本的分析方法等。

第一节 电路和电路模型

一、电路的组成与作用

电路就是电流通过的路径，电路的各组成部分及其功能如下：

(1) 电源 为电路提供电能的装置，如发电机、干电池、稳压电源等。

(2) 负载 将电能转换为其他形式能量的装置，如电动机、电灯、电热水器等。

(3) 控制和连接件 用来传输、控制和分配电能的装置，如导线、开关等。

图 1-1 是最简单的手电筒电路，它由干电池（电源）、电珠（负载）、开关（控制件）与连接铜片、金属压簧（连接件）等组成，以实现照明的功用。

电路的应用十分广泛，其作用主要为两方面：

1. 实现电能的传输和转换

图 1-2 所示的电力系统中，发电厂的发电机生产的电能，经过变压器、输电线输送给各用户使用。

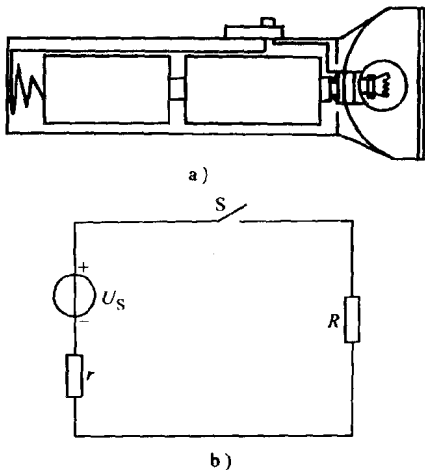


图 1-1 手电筒电路
a) 结构示意图 b) 电路图

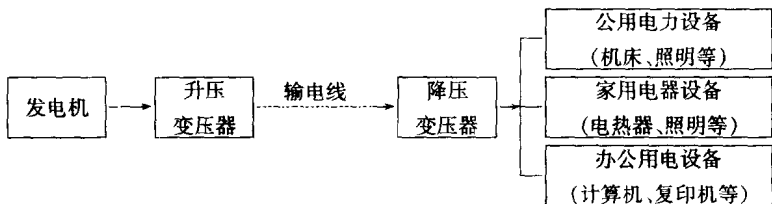


图 1-2 电力系统示意图

2. 进行信号的传递与处理

图 1-3 为电话系统示意图, 语音信号经电话机 A 的处理电路转变为电信号, 由传输电路送到电话机 B, 再经电话机 B 的信号处理电路, 把电信号还原成语音信号。

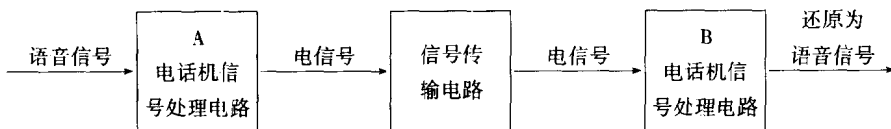


图 1-3 电话系统示意图

二、电路模型

实际电路中的电工设备或元器件往往具多重电磁性能, 如电灯、电炉, 它们的主要性质是消耗电能, 但还有微弱的储存磁能的性质。为了便于对电路进行分析计算, 我们常将实际的元器件加以近似化、理想化, 即在一定条件下忽略次要性质, 用足以表征其主要特征的“模型”——理想元件来表示。表 1-1 为几种常用的理想电路元件的类型。

表 1-1 几种理想电路元件的类型

理想元件名称	电阻元件	电感元件	电容元件
主要电磁性能	消耗电能	储存磁场能	储存电场能

由理想元件所组成的电路称为电路模型。图 1-1b 是手电筒的电路模型 (简称为电路), 其中干电池近似为理想电压源 U_S 与电阻 r , 电珠近似为电阻元件 R 。后面未加说明时, 我们所说的电路均指理想的电路模型。

思考题

1. 什么是理想元件? 采用理想元件分析电路有何意义?
2. 什么是电路模型? 为什么一个实际电路要用电路模型来代替?

第二节 电路的基本物理量

检修一个电路时, 常常要根据电路中物理量的变化情况进行分析, 以确定电路的故障。下面介绍电路分析计算的几个基本物理量。

一、电流

电荷在电场力的作用下的定向运动形成电流。大小和方向都不随时间变化的电流, 称为恒定电流, 简称直流。电流的大小可用电流强度 (简称电流) 来衡量, 用符号 I 表示, 在数值上等于单位时间内通过导体横截面的电荷量, 即

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

电流的大小和方向都随时间变化, 称为变动电流。其强度用符号 i 表示。在很小的时间间隔 dt 内, 通过导体横截面的电荷量为 dq , 则该瞬间的强度为:

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

在国际单位制（本书采用国际单位制，下同）中，电流的单位是安培（A），实用的单位还有毫安（mA）、微安（ μA ）， $1\text{mA} = 10^{-3}\text{A}$ ， $1\mu\text{A} = 10^{-6}\text{A}$ 。

习惯上规定正电荷运动的方向为电流的实际方向，但对于复杂的直流电路和交流电路，往往难以事先判断电流的实际方向，为了便于分析，在一段电路或一个电路元件中任意设定一个电流方向，称为参考方向，用箭头表示，标在电路旁，如图 1-4 所示。后面未加说明时，所指的方向都是参考方向。参考方向一经设定，在分析该电路的过程中就不能再改动。

图 1-4 电流的参考方向

在分析计算电路时，若电流的计算结果为正值，则说明实际方向与参考方向相同；若为负值，则说明实际方向与参考方向相反。

例 1-1 在图 1-4 中，已知 $I = -3\text{A}$ ，试问正电荷的移动方向如何？

解 因为 $I = -3\text{A}$ 为负值，电流的实际方向与箭头方向相反，即由 B 向 A。所以，正电荷的移动方向由 B 向 A。

二、电压与电位

电压是衡量电场力对电荷做功能力的物理量，在数值上等于电场力把单位正电荷从一点移动到另外一点所做的功。设电场力把正电荷 Q 从 A 点移动到 B 点所做的功为 W_{AB} ，那么 A、B 两点之间的电压 U_{AB} 为：

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

电压的单位是伏特（V），常用的单位还有毫伏（mV）、微伏（ μV ）、千伏（kV）。 $1\text{kV} = 10^3\text{V}$ ， $1\text{mV} = 10^{-3}\text{V}$ ， $1\mu\text{V} = 10^{-6}\text{V}$ 。

电压也称电位差。众所周知，水流是由于存在水位差（水压）才流动，从水位高的地方流向水位低的地方。而电路中由于存在电位差（电压），才产生电荷的移动。在电场力的作用下，正电荷总是从电路的高电位点向低电位点移动。某点的电位，实质上是该点与所选电位参考点之间的电压，用符号 V 表示。参考点的电位规定为零。工程上常取大地、电气设备的外壳、电路的公共联结点作为参考点，以符号“ $\perp$ ”表示。电路中 A、B 两点之间的电压 U_{AB} 与这两点的电位关系为：

$$U_{AB} = V_A - V_B \quad (1-4)$$

电压的实际方向习惯上规定为由高电位点指向低电位点，即电位降低的方向，所以电压又称为电位差。同电流一样，在分析计算电压时，也需要引入参考方向。电压的参考方向可用箭头、“+”、“-”极性及双下标来表示，如图 1-5 所示。箭头的起点、极性法的“+”端及双下标的第一位均为假定高电位端。

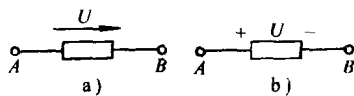


图 1-5 电压的参考方向

例 1-2 在图 1-5a 中，已知 $U = -7\text{V}$ ，试求：1) U_{AB} 、 U_{BA} 分别等于多少？2) A、B 两点哪点的实际电位高？

解 1) 因为 $U_{AB} = U$ 所以 $U_{AB} = -7\text{V}$ ；而 $U_{BA} = V_B - V_A = -U_{AB}$ ，故 $U_{BA} = 7\text{V}$ ；

2) 因为 $U_{AB} = V_A - V_B = -7\text{V}$ ，所以 $V_A < V_B$ ，即 B 点电位高。

三、电动势

电动势是衡量电源将非电能转换为电能的本领的物理量，用符号 E 表示，其单位为伏特（V）。电动势的方向规定为在电源内部从负极（低电位）指向正极（高电位），用箭头表

示,如图 1-6 所示。在电路分析时,常常考虑的是电源的端电压 U_S ,图 1-6 中 $U_S = E$ 。

四、电能和电功率

当电流流过负载时,电流要做功,将电能转换为光能、热能、机械能等其他形式的能量。电流所做的功是电能转换成其他形式能量的度量,用 W 表示。由式 (1-1) 和式 (1-3) 可得

$$W = UQ = UI t \quad (1-5)$$

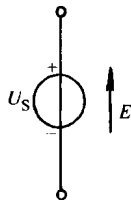


图 1-6 电源
电动势与端
电压的关系

功和能的单位都是焦耳 (J)。

电流在单位时间内所做的功称为电功率,用 P 表示。由式 (1-5) 有

$$P = \frac{W}{t} = \frac{UI t}{t} = UI \quad (1-6)$$

功率的单位是瓦 (W),实用的单位还有千瓦 (kW)、毫瓦 (mW)。1kW = 10^3 W, 1mW = 10^{-3} W。

实际应用中,电能的单位常用千瓦小时 (kW·h)。1kW·h 的电能通常叫做 1 度电。1 度电为:

$$1\text{kW} \cdot \text{h} = 1000\text{W} \times 3600\text{s} = 3.6 \times 10^6\text{J}$$

思 考 题

1. 电流、电压的实际方向是怎样规定的? 参考方向分别如何表示?
2. 鸟站在 220V 的输电线上为什么不会被电死? 试用电压、电位的概念进行分析。
3. 甲电炉 2h 用了 1.5kW·h, 乙电炉 4h 用了 2kW·h。有人说乙电炉的功率比甲大。这种说法对吗? 为什么?

第三节 电阻、电感和电容元件

在收音机、电视机等电路板上可以看到大小不等、形状各异的各种电阻器、电感器和电容器。这些大量使用的器件,在电路中起着不同的作用,一有损坏将使电路出现故障。

要分析一个电路,必须了解构成这个电路各元件的特性。本节分别介绍线性电阻、线性电感和线性电容元件。

一、电阻元件

当电流在导体中流过时,定向运动的自由电子与导体内的原子核发生碰撞而受到阻碍,这种导体对电流的阻碍作用称为电阻,用 R 表示。电阻的单位是欧姆 (Ω),常用的单位还有千欧姆 (k Ω)、兆欧姆 (M Ω), 1k Ω = $10^3\Omega$, 1M Ω = $10^6\Omega$ 。

由有电阻作用的材料制成的电炉、电烙铁、白炽灯、电阻器等实际电阻器件,当其有电流通过时就要消耗电能,将电能转变成热能、光能等能量而不可逆。我们将这些实际器件对电流的阻碍作用、消耗电能的特征,集中、抽象化为一种理想电路元件即电阻元件。

流过电阻元件的电流 I 与其两端的电压 U 是成正

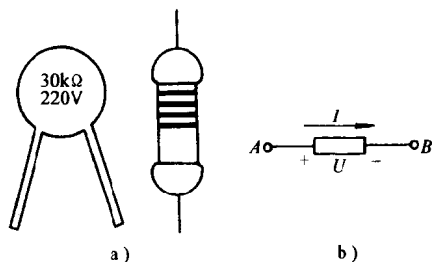


图 1-7 电阻器及电阻元件
a) 电阻器外形 b) 电阻元件

比的, 这就是欧姆定律。如图 1-7b 所示, 若 U 和 I 取相同参考方向 (即关联方向), 欧姆定律表达为:

$$U = IR \quad (1-7)$$

R 为常数的电阻元件称为线性电阻, 其电压电流关系 (也称伏安特性) 是一条通过坐标原点的直线, 如图 1-8a 所示。若其电压电流关系为非直线的电阻元件, 则称为非线性电阻元件, 如灯泡中常用的钨丝, 其伏安特性曲线如图 1-8b 所示。

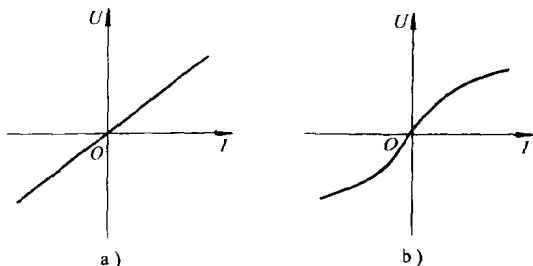


图 1-8 电阻元件的伏安特性曲线

a) 线性电阻 b) 非线性电阻

二、电感元件

图 1-9a 中所示为几种实际电感器的外形。

电感元件是假想由没有电阻的导线绕成的, 其图形符号如图 1-9b 所示。

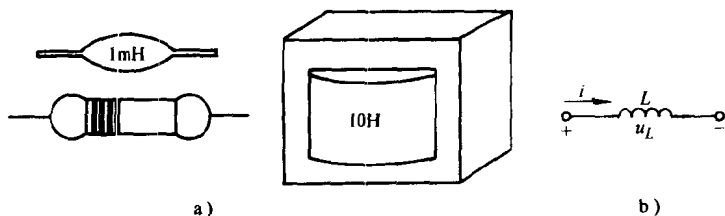


图 1-9 电感器及电感元件

a) 电感器外形 b) 电感元件

当电流 i 通过线性电感元件时, 在元件内部将产生磁通 Φ , 若磁通 Φ 与线圈的 N 匝都交链, 则磁链 $\Psi = N\Phi$, Ψ 和 Φ 都是由元件的电流所产生, 且与电流成正比, 即

$$L = \frac{\Psi}{i} \quad (1-8)$$

式中, L 称为元件的自感或电感, 其单位是亨利 (H), 常用的单位还有毫亨 (mH)、微亨 (μH), $1\text{mH} = 10^{-3}\text{H}$, $1\mu\text{H} = 10^{-6}\text{H}$ 。

根据电磁感应定律, 当变化的电流流过线圈时, 引起磁通的变化, 从而在线圈上产生感应电压, 其大小与磁链的变化率成正比, 在电压电流参考方向一致时

$$u_L = \frac{d\Psi}{dt} = L \frac{di}{dt} \quad (1-9)$$

式中, L 的单位为 H, i 的单位为 A, t 的单位为 s, u_L 的单位为 V。

当电感元件通过直流时, $di/dt = 0$, 电感元件两端电压 $u_L = 0$, 如同零电阻一样, 此时电感元件如同一短路线。

电感元件中有电流, 元件中就有磁场, 储存着磁能, 经推算其大小为:

$$W_L = \frac{1}{2} Li^2 \quad (1-10)$$

电感元件是一种储能元件。

三、电容元件

图 1-10a 中所示为几种电容器的外形。电容器通常由两块金属极板中间隔以绝缘介质组

成。忽略其介质损耗时,就得到电容元件,其图形符号如图 1-10b 所示。

当电容元件两端加上电源,对电容进行充电,则极板上将聚集等量异号的电荷 q 。断开电源后,极板上仍留有电荷,极板间建立了电压 u_C 。实验证明,极板上所带电荷 q 与两极板间电压 u_C 成正比,其比值称为电容元件的电容,即

$$C = \frac{q}{u_C} \quad (1-11)$$

式中, C 的单位为法拉 (F), 常用的

单位还有微法 (μF)、皮法 (pF), $1\mu\text{F} = 10^{-6}\text{F}$, $1\text{pF} = 10^{-12}\text{F}$ 。线性电容元件 C 为常数。

当电容元件和电路相联处于充电或放电时,电极上就有电流,在电压电流参考方向一致时,由式 (1-2) 和式 (1-11) 可得电容元件的电流与其电压的变化率成正比,即

$$i = C \frac{du_C}{dt} \quad (1-12)$$

式中, C 的单位为 F, u 的单位为 V, t 的单位为 s, i 的单位为 A。

当 $du_C/dt = 0$, 即电容上虽有电压,但不变化,电流也为零,此时可视其为开路。

电容元件的极板聚集电荷时,在介质中形成电场,储存了电场能,经推算其大小为:

$$W_C = \frac{1}{2} Lu_C^2 \quad (1-13)$$

当电容两端的电压绝对值增大时,电容元件吸收电源供给的电能并以电场能的形式储存起来,电容的能量增加,这个过程称为充电;当电容两端的电压绝对值减小时,电容元件将储存的电场能释放出去,电容的能量减少,这个过程称为放电。

思考题

1. 若电压 U 和电流 I 取相反参考方向 (非关联方向), 试写出欧姆定律的表达式。
2. 常见电源单相进户线, 若两根线经同一套管入户, 可用瓷套管也可用铁套管; 若单线经套管入户, 则只用瓷套管而不用铁套管, 为什么?
3. 如图 1-11 所示, 有的线圈为了消除电感, 常采用导线打折后双线并绕的方法, 试说明其理由。

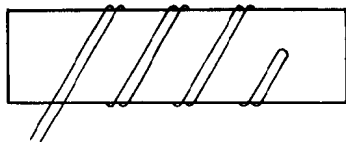


图 1-11 思考题 3 图

第四节 电压源和电流源

电源是电路中能量的提供者,如蓄电池、光电池及发电机。当电流流过电源内部时,没有能量损耗的电源称为理想电源,内部有损耗的为实际电源。

一、电压源

如图 1-12a 所示,两端电压恒定为 U_S , 内部没有损耗的电源称为理想电压源,简称电压源。电压源的端电压不受负载的影响,其特性曲线平行于 I 轴。当负载短路时,电流无穷

大, 应避免这种情况。常用的稳压电源, 可近似为电压源。

实际电压源内部具有损耗, 可用一个电压源 U_S 与一个电阻元件 r 串联的模型表示, 如图 1-12b 所示。当向负载供电时, 随着电流的增加, 其端电压下降, 由电压与电位的关系可得

$$U = U_S - Ir \quad (1-14)$$

上式称为实际电压源的伏安特性方程。

内阻小的实际电压源在使用时要防止短路, 以免损坏。

例 1-3 在图 1-1 所示的手电筒电路中, 用两节相同型号的电池串联成实际电压源, 开关未闭合时, 用万用表直流电压档测得此时两节电池的总电压为 3V, 当开关闭合时测得电珠两端的电压为 2.7V, 流过电珠的电流为 0.3A, 试求:

- 1) 热态时电珠的电阻值 R 。
- 2) 每节电池的电压 U_S 及内阻 r 。

解 1) 当开关闭合时, 根据欧姆定律可得电珠的热态电阻为 $R = (2.7/0.3) \Omega = 9\Omega$;

2) 当开关未闭合时, 万用表测得的电压为 $2U_S = 3V$, 所以每节电池的电压为 $U_S = 1.5V$ 。

由式 (1-14) 知, $U = U_S - Ir$, 可得: $2.7V = 3V - 0.3A \times 2r$

所以每节电池的内阻 $r = 0.5\Omega$ 。

在实际中应注意防止电压源被短路, 以免电压 U_S 全加在较小的内阻 r 上, 使很大的电流流过电源, 损坏电源。

二、直流电流源

能输出恒定电流 I_S , 内部没有损耗的电源, 称为理想电流源, 简称电流源, 如图 1-13a 所示。电流源输出的电流不受负载的影响, 其伏安特性曲线平行于 U 轴。当负载开路时, 其端电压为无穷大, 要避免这种情况。

实际电流源内部具有损耗, 可由电流源 I_S 与电阻 r 并联的模型来表示。当接上负载时, 随着电流的增加, 其端电压下降。由于内阻的分流作用, 其输出电流 I 与端电压 U 的关系为

$$I = I_S - \frac{U}{r} \quad (1-15)$$

上式称为实际电流源的伏安特性方程。

应注意, 实际电流源是不允许开路的,

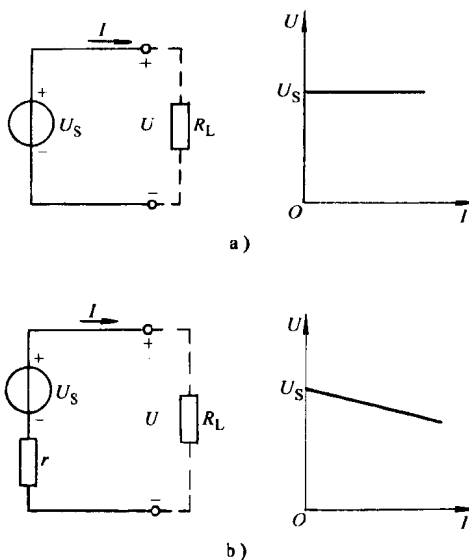


图 1-12 电压源及实际电压源

a) 电压源 b) 实际电压源

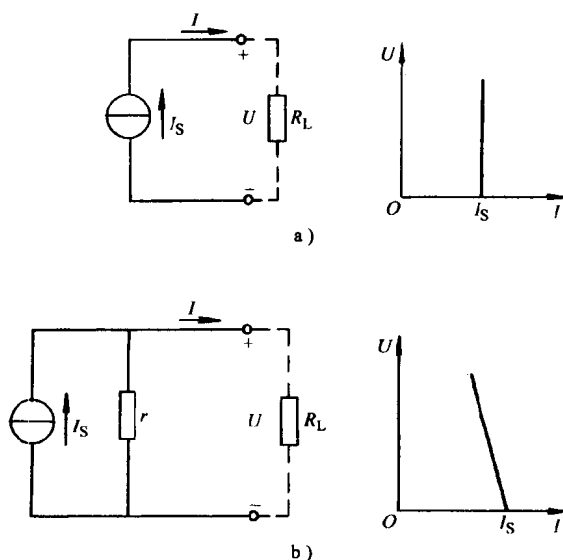


图 1-13 电流源及实际电流源

a) 电流源 b) 实际电流源

因为此时电流 I_S 全部流过内阻 r ，而一般 r 都是很大的，这就在电源两端形成很高的电压，以致损坏电源。

思考题

1. 性能好的电压源，其内阻应（ ）；性能好的电流源，其内阻应（ ）。
A. 很大 B. 很小 C. 无法确定
2. 为保证安全使用电源，实际中电压源不允许（ ），实际电流源不允许（ ）。
A. 短路 B. 开路 C. 无法确定
3. 干电池用久了，其内阻会大大增加。若用万用表来测定电池的端电压，以判断干电池是否能继续使用，试问应在干电池开路时还是接负载时测量？为什么？

第五节 基尔霍夫定律

只用欧姆定律就能完成电路分析计算的电路，称为简单电路，否则，就是复杂电路。图 1-14 为复杂电路。复杂电路的分析，要用到基尔霍夫定律。基尔霍夫定律包括基尔霍夫电流定律和基尔霍夫电压定律。在学习基尔霍夫定律之前，先介绍几个电路名词的含义。

支路 电路中流过同一个电流的每一个分支，称为支路。

图 1-14 中有 ACB 、 ADB 、 AR_3B 均为支路。 ACB 、 ADB 中有电源称为有源支路， AR_3B 中无电源称为无源支路。

节点 三条或三条以上支路的联结点。图 1-14 中 A 点和 B 点为节点。

回路 电路中任何一条闭合路径称为回路。图 1-14 中 $ADBCA$ 、 AR_3BDA 、 AR_3BCA 均为回路。

网孔 回路中不含支路的回路称为网孔。图 1-14 中 $ADBCA$ 、 AR_3BDA 为网孔， AR_3BCA 不是网孔。

一、基尔霍夫电流定律

基尔霍夫电流定律 (Kirchhoff's Current Law) 简称 KCL 定

律，它用来确定电路中同一节点上各个支路电流之间的关系。根据电流的连续性原理，任何一节点的电荷既不可能堆积也不会自行消失，所有流入节点电流之和等于流出该节点的电流之和，其数学形式为：

$$\sum I_{\text{入}} = \sum I_{\text{出}} \quad (1-16)$$

在列节点电流方程前，要标定电流的参考方向，根据计算结果来确定电流的实际方向。

例 1-4 在图 1-14 中，已知 $I_1 = 4\text{A}$ ， $I_3 = 8\text{A}$ ，试求 I_2 。

解 $\sum I_{\text{入}} = \sum I_{\text{出}}$

$$I_1 = I_2 + I_3$$

所以 $I_2 = -4\text{A}$ 。

根据计算结果， I_2 为负值，表明其实际方向与参考方向相反，是流入节点 A 的。

KCL 定律还可推广到假设的封闭面——广义节点。图 1-15 中，点划线框所包围的封闭面是广义节点，图 1-15a 中，三极管 e 、 b 、 c 极上的电流关系为 $I_e = I_b + I_c$ ；图 1-15b、c 中，

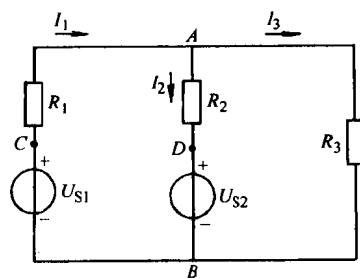


图 1-14 复杂电路