



教育部 高职高专规划教材

电工技术基础

● 于占河 主编
姜敏夫 主审



化学工业出版社
教材出版中心

教育部高职高专规划教材

电工技术基础

于占河 主编

姜敏夫 主审

化学工业出版社

教材出版中心

• 北 京 •

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

电工技术基础/于占河主编. —北京: 化学工业出版社, 2001. 7

教育部高职高专规划教材

ISBN 7-5025-3316-8

I. 电… II. 于… III. 电工技术-基础理论-高等学校: 技术学校-教材 IV. TM1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 040635 号

教育部高职高专规划教材

电工技术基础

于占河 主编

姜敏夫 主审

责任编辑: 王丽娜 张建茹

责任校对: 凌亚男

封面设计: 郑小红

*

化学工业出版社 出版发行

教材出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京市昌平振南印刷厂印刷

三河市前程装订厂装订

开本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 13½ 字数 334 千字

2001 年 8 月第 1 版 2004 年 2 月北京第 3 次印刷

ISBN 7-5025-3316-8/G·871

定 价: 20.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

出 版 说 明

高职高专教材建设工作是整个高职高专教学工作中的重要组成部分。改革开放以来,在各级教育行政部门、有关学校和出版社的共同努力下,各地先后出版了一些高职高专教育教材。但从整体上看,具有高职高专教育特色的教材极其匮乏,不少院校尚在借用本科或中专教材,教材建设落后于高职高专教育的发展需要。为此,1999年教育部组织制定了《高职高专教育专门课程基本要求》(以下简称《基本要求》)和《高职高专教育专业人才培养目标及规格》(以下简称《培养规格》),通过推荐、招标及遴选,组织了一批学术水平高、教学经验丰富、实践能力强的教师,成立了“教育部高职高专规划教材”编写队伍,并在有关出版社的积极配合下,推出一批“教育部高职高专规划教材”。

“教育部高职高专规划教材”计划出版500种,用5年左右时间完成。这500种教材中,专门课(专业基础课、专业理论与专业能力课)教材将占很高的比例。专门课教材建设在很大程度上影响着高职高专教学质量。专门课教材是按照《培养规格》的要求,在对有关专业的人才培养模式和教学内容体系改革进行充分调查研究和论证的基础上,充分吸取高职、高专和成人高等学校在探索培养技术应用性专门人才方面取得的成功经验和教学成果编写而成的。这套教材充分体现了高等职业教育的应用特色和能力本位,调整了新世纪人才必须具备的文化基础和技术基础,突出了人才的创新素质和创新能力的培养。在有关课程开发委员会组织下,专门课教材建设得到了举办高职高专教育的广大院校的积极支持,我们计划先用2~3年的时间,在继承原有高职高专和成人高等学校教材建设成果的基础上,充分吸取近几年来各类学校在探索培养技术应用性专门人才方面取得的成功经验,解决新形势下高职高专教育教材的有无问题;然后再用2~3年的时间,在《新世纪高职高专教育人才培养模式和教学内容体系改革与建设项目计划》立项研究的基础上,通过研究、改革和建设,推出一大批教育部高职高专规划教材,从而形成优化配套的高职高专教育教材体系。

本套教材适用于各级各类举办高职高专教育的院校使用。希望各用书学校积极选用这批经过系统论证、严格审查、正式出版的规划教材,并组织本校教师以对事业的责任感对教材教学开展研究工作,不断推动规划教材建设工作的发展与提高。

教育部高等教育司

2001年4月3日

前 言

根据教育部《关于加强高职高专教育人才培养工作的意见》精神,为满足高职高专电类相关专业教学基本建设的需要,在教育部高教司和教育部高职教育教学指导委员会的关心和指导下,全国石油和化工高职教育教学指导委员会广泛开展调研,召开多次高职高专电类教材研讨会,组织编写了20本面向21世纪的高职高专电类专业系列教材,供工业电气化技术、工业企业电气化、工业电气自动化、应用电子技术、机电应用技术及工业仪表自动化、计算机应用技术等相关专业使用。

本套教材立足高职高专教育人才培养目标,遵循主动适应社会发展需要、突出应用性和针对性、加强实践能力培养的原则,组织编写了专业基础课程的理论教材和与之配套的实训教材。实训教材集实验、设计与实习、技能训练与应用能力培养为一体,体系新颖,内容可选择性强。同时提出实训硬件的标准配置和最低配置,以方便各校选用。

由于本套教材的整体策划,从而保证了专业基础课与专业课内容的衔接,理论教材与实训教材的配套,体现了专业的系统性和完整性。力求每本教材的讲述深入浅出,将知识点与能力点紧密结合,注重培养学生的工程应用能力和解决现场实际问题的能力。

本书的编写是高职教学摸索中的一次尝试,力求突出高等职业教育的特色,降低理论深度,删除一些数学推导内容,注意学生实际应用能力的培养。本书可与《电工基本技能实训指导》配套使用。

本书由于占河主编,并编写第四章、第九章;李昌根编写第一章;刘文军编写第二章;朱秀兰编写第三章;苑秀香编写第五章、第六章,董力编写第七章、第八章。聘请姜敏夫担任主审。

本书在编写过程中,得到了全国石油和化工高职教学指导委员会、化学工业出版社、吉林省工业职业技术学院(原吉林化工学校)领导及有关同志的指导、支持和帮助,在教材统稿过程中陈刚、边朝顺二位同志作了大量工作,编者在此一并表示深切的谢意。

由于时间仓促、编者水平有限,书中难免有不妥之处,敬请同行们给予批评指正。

编 者

2001年3月

内 容 提 要

本书是以教育部制定的《高职高专教育电工技术基础课程教学基本要求》为依据编写的,并经2001年2月在吉林召开的全国石油和化工高职高专电类专业教材审稿会议通过,作为高职高专电气类、电子类、精密仪器仪表及计算机类专业的教材。

本书共分九章,包括直流电路,正弦稳态电路,三相电路,二端口网络,磁路及铁心线圈电路,非正弦周期电流电路,线性电路过渡过程的时域分析,电能传输及转换技术。在各章后面配有综合例题及习题,需85~90学时。

本书特点是:注重培养学生的技术应用能力和职业素质,分散难点,突出重点,把握概念,推进认知。注重基础理论的实用性,在掌握主要理论知识的同时,侧重实训技能的培养。《电工基本技能实训指导》可与本书配套使用。

目 录

第一章 电路的基本概念和基本定律	1	第四节 不对称三相电路计算	112
第一节 电路及其模型	1	习题	123
第二节 电路的物理量及参考方向	2	第五章 二端口网络	125
第三节 电路的基本元件	6	第一节 二端口网络	125
第四节 独立电源	13	第二节 二端口网络的 Y 参数方程和 Z 参数方程	126
第五节 欧姆定律	14	第三节 二端口网络的 A 参数方程和 H 参数方程	130
第六节 基尔霍夫定律	15	第四节 线性无源二端口网络的等效 电路	133
第七节 电路中电位的计算	17	习题	136
习题	21	第六章 磁路及铁心线圈电路	137
第二章 电路的等效变换和一般分析 方法	23	第一节 磁场和磁路的基本知识	137
第一节 线性电阻电路的等效变换	23	第二节 铁磁性物质及其磁化	139
第二节 电阻 Y- Δ 电路的等效变换	28	第三节 磁路及基本定律	142
第三节 电压源与电流源模型间的等效 变换	30	第四节 交变磁通下的铁损耗	145
* 第四节 受控源及含受控源电路的等效 变换	33	第五节 电磁铁	147
第五节 支路分析法	38	习题	150
* 第六节 节点分析法	40	第七章 非正弦周期电路	151
第七节 叠加原理	42	第一节 非正弦周期函数的谐波分析	151
第八节 戴维南定理	44	第二节 波形对称性与傅立叶系数的关系	153
习题	52	第三节 有效值、平均值和平均功率	156
第三章 正弦稳态电路	56	第四节 非正弦周期电路的计算	159
第一节 正弦量的基本概念及表示方法	56	习题	162
第二节 单一元件的正弦电路	63	第八章 线性电路过渡过程的时域 分析	164
第三节 R、L、C 串联的正弦电路	71	第一节 初始值的确定	164
第四节 正弦电路的功率及功率因数的 提高	75	第二节 一阶电路的三要素法	166
第五节 基尔霍夫定律及欧姆定律的 相量形式	81	第三节 一阶电路的阶跃响应和冲激响应	168
第六节 正弦稳态电路的计算	85	第四节 二阶电路的零输入响应	174
第七节 谐振电路	87	习题	180
第八节 互感电路	90	第九章 电能传输及转换技术	182
习题	98	第一节 变压器	182
第四章 三相电路	103	第二节 几种常用变压器	185
第一节 三相电路	103	第三节 电热转换技术	189
第二节 对称三相电路的计算	108	第四节 电光转换技术	192
第三节 三相电路的功率	110	第五节 电声转换技术	197
		第六节 电化学转换技术	204
		习题	207
		主要参考文献	209

第一章

电路的基本概念和基本定律

第一节 电路及其模型

一、电路

电流通过的路径称为电路。它主要由电源、负载和中间环节组成。图 1-1 为简单的直流电路。

1. 电源

将其他形式的能量转换成电能的装置称为电源。例如发电机、蓄电池和干电池等都是电源。电源一般用电动势 E 和电阻 r (电源的内阻) 相串联来表示。如图 1-1 中虚线框中为电源。

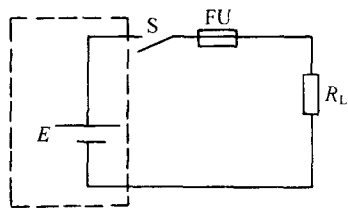


图 1-1 电路的组成

2. 负载

把电能转换成其他形式能量的装置称为负载。例如白炽灯是将电能转换成光能的负载；电动机是将电能转换成机械能的负载；电炉是将电能转换成热能的负载。图 1-1 中 R_L 表示负载。

3. 中间环节

中间环节包括连接电路的导线、控制电路的开关设备以及保护电路的熔断器等。如图 1-1 中的 S 表示开关, FU 表示熔断器。

电路能够产生、输送、分配和变换电能。在图 1-1 中, 电源产生电能, 当开关 S 闭合后, 由连接导线将电能传输给负载 R_L , 再由它将电能转换为其他形式的能量。这类电路应使电源产生的电能尽可能更多地传递给负载, 而损耗应尽可能少。

电路还能够不失真地传递和处理信号。这种电路也有能量的传递和损耗。例如收音机和电视机将载有语言或图像信息的电磁波, 通过天线接收后转换为相应的电信号, 经过选频、变频、检波、放大等中间环节进行传递和处理, 送到扬声器和显像管还原成原始信号——声音和图像。

二、电路模型

电路中的电气装置种类繁多, 形态各异, 物理性质复杂, 如果画出实物及其相互间的连接关系, 不仅结构复杂, 而且不便于分析和计算。为此, 常用能够表征其主要特性的理想元

件或理想元件的组合来代替实物。即用规定的图形符号及文字符号画出的电路称为原理图，简称电路图。如图 1-1 就是用表示电源、开关、熔断器和负载的图形符号及文字符号画出的电路图。

常用的理想电路元件有电阻、电感、电容、理想电压源和理想电流源。其图形符号及文字符号如表 1-1 所示。

表 1-1 电路图中常用的图形及符号

直流电源 E		电容 C		开关 S	
固定电阻 R		电压源		熔断器 FU	
可变电阻 R		电流源		电压表	
电感 L		电灯 HL		电流表	

第二节 电路的物理量及参考方向

一、电流及参考方向

(一) 电流的定义

导体中存在着大量的、可以自由移动的电荷，当导体中有电场时，自由电子在电场力作用下定向移动，就形成电流。单位时间内，通过导体某截面的电量称为电流强度，简称电流。规定正电荷移动的方向为电流的方向。

如图 1-2 所示，设在极短的时间 dt 内，通过导体某横截面积 A 的电量为 dq ，则电流为

$$i = dq/dt \quad (1-1)$$

如果电流不随时间变化， dq/dt 为常数，称为直流电流，用 I 表示，即

$$I_{ab} = q/t \quad (1-2)$$

式中 q ——表示时间 t 内通过导体横截面的电量；

I_{ab} ——表示电流的正方向由 a 点流向 b 点。

在国际单位制中，电量的单位为 C (库仑)；时间的单位为 s (秒)；电流的单位为 A (安培)，更小的单位为 mA (毫安) 及 μA (微安)，它们之间的换算关系为

$$1A = 10^3 mA = 10^6 \mu A$$

(二) 电流的方向

在复杂的直流电路中，往往难以确定电路中电流的实际方向，为此，在分析、计算电路时，任意选定某一方向作为电流的正方向 (参考方向)。所选定的电流的正方向不一定就是

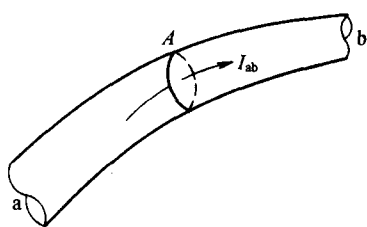


图 1-2 导体中的电流

电流的实际方向。当实际方向与它相同时，是正值；相反时，就是负值。在图 1-3 中，实线箭头是选定的正方向，虚线箭头表示该电路中电流的实际方向。

图 1-4 表示的电流实际方向与正方向一致， I 为正值；图 1-5 表示的电流实际方向与正方向相反， I 为负值。

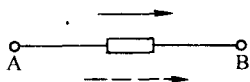
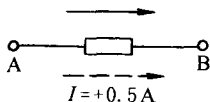
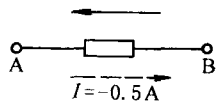


图 1-3 电流的正方向

图 1-4 电流 $I > 0$ 图 1-5 电流 $I < 0$

从这里可以得出如下结论：电流的正方向与它的实际方向是两个不同的概念，不能混淆。①电流的实际方向是一种客观存在，不能任意选择。电流的正方向则是分析、计算电路的一种方法和手段，它可以是任意选择的。②一个直流电路确定之后，电路中各部分电流的实际方向也就全部确定了，它不受正方向的影响，但是，规定了正方向之后，电流是一个标量：可正可负。从另一个角度说，某一个电流是正、还是负，都是相对于某一个确定的正方向来说的，否则，正或负就没有意义了。总之，某段电路的电流的正方向被确定了，该电流的正、负值也确定了，这两者结合，使该段电流的真实方向也被确定了。例如图 1-6 所示的电路中，箭头表示电流的正方向，且 $I = -0.5\text{A}$ 。根据电流为负值可知，电流的实际方向与正方向相反，是从 A 流向 B 的。

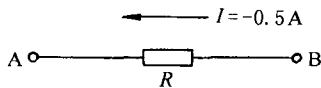


图 1-6 电流实际方向的确定

③一段电路里电流的正方向虽然是可以任意选择的，但是在可能条件下，总是尽量使正方向与实际方向一致。尤其重要的一点是，电流的正方向一经确定，在整个分析与计算过程中就必须以此为准，不允许再更改了。

对于电流和其他物理量正方向的重要性，在分析简单电路时，往往体会不深刻，因为这时电流等物理量的实际方向是很容易确定的。但是，在分析和计算复杂电路及交流电路时，正方向的重要性就是显而易见了，它是分析、计算电路的基础。所以，从一开始，就应正确建立正方向的概念，并逐步掌握和熟练运用之。

二、电压及参考极性

(一) 电压及电位

1. 电压

电场力将单位正电荷从电场中的一点移至另一点所作的功称为这两点间的电压。图 1-7 中，若电场力将单位正电荷 q 从 a 点移到 b 点所作的功为 W_{ab} ，则 a 点到 b 点的电压为

$$U_{ab} = dW / (dq) \quad (1-3)$$

在国际单位制中，电荷的单位是 C（库仑），功的单位是 J（焦耳），则电压的单位是 V（伏特）。作为辅助单位有 kV（千伏）及 mV（毫伏）它们之间的换算关系为

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

大小和方向不随时间变化的电压是直流电压，规定用大写字母“U”来表示。用小写字母“u”来表示交变电压。

在电工技术中，电压的实际方向规定为由高电位指向低电位。也就是说，沿着电压的实际方向，电位是逐点降低的，正电荷沿着这个方向运动，将失去电能，并转化成为其他形式

的能量。

在分析和计算电路问题时，如同需要为电流规定正方向一样，也需要为电压规定一个正方向。例如，当某一段电路电压的实际方向难以确定时，或者该段电压的极性是随时间不断变化的，就可以任意规定该电路电压的正方向，如在图 1-8 中规定 A 点为高电位点，标以“+”号，B 点相对于 A 点是低电位点，标以“-”号，即假定这一段电路电压的正方向是从 A 点指向 B 点。当电压的实际方向与事先选定的正方向一致时，为正值；相反时就是负值。

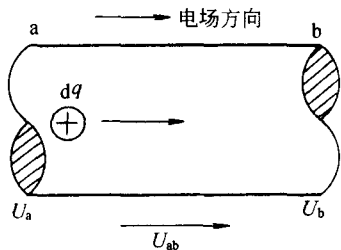


图 1-7 电压的概念

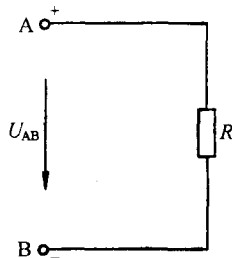


图 1-8 电压的正方向

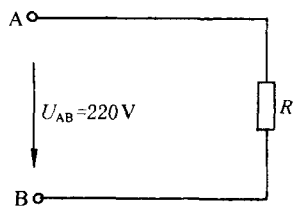
电压的正方向，可以用三种方法表示：

- ① 用“+”、“-”符号表示假定的高电位端和低电位端；
- ② 用箭头的指向来表示，它由假定的高电位指向低电位端；

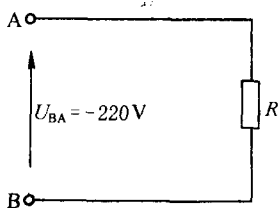
③ 用双下标字母表示。如在图 1-8 中，假定的 AB 段电压的正方向是从 A 指向 B，则给电压符号 U 加双下标 AB，即用 U_{AB} 表示：第一个下标字母 A 表示假定的高电位点，第二个下标字母 B 表示假定的低电位点。

这三种表示方法所代表的意义是相同的，可以相互通用，实际使用时可以任选一种。

同一段电路的电压相对不同的正方向可能是正值，也可能是负值。如图 1-9 (a) 规定电压正方向是从 A 指向 B，且得 $U_{AB} = +220V$ ，电压的这个正值表明该段电压的实际方向与正方向一致：A 点确实是高电位点，B 点确实是低电位点。对于这一段电路，若选取相反方向为正方向，如图 1-9 (b) 所示，则 U_{BA} 必定等于 $-220V$ 。表明这一段电压的实际方向与规定的正方向刚好相反。



(a)



(b)

图 1-9 电压的正值与负值

通过以上的分析可知，如同规定电流的正方向一样，电压的正方向是在分析与计算电路问题时引入的，它与电压的实际方向是两个不同的概念。但是，对于某一段电路来说，借助于规定的正方向及电压的正值或负值，能够很容易地确定出这一段电压的实际方向。电压的正方向原则上可以任意选取。

2. 电位

电场力将单位正电荷从某点移至规定的参考点所作的功，称为该点的电位。若电场力将正电荷 q 从电场中的 a 点移至参考点 O 所作的功为 W_{ao} ，则 a 点的电位为

$$V_a = W_{ao}/q \quad (1-4)$$

可见， a 点的电位 V_a 就是 a 点到参考点 O 的电压 U_{ao} ，即 $V_a = U_{ao}$ 。

由电位的定义可知，参考点的电位为 $V_o = 0$ 。因此， $U_{ao} = V_a - V_o$ ，即 a 点的电位等于该点到参考点的电位差。电位的单位也是 V （伏特）。

电力系统中，常选大地作为电位的参考点（零电位点），电器设备常选金属外壳作为参考点。

对于电位与电压这两个概念，既要注意它们之间的差别，又要看到两者在本质上是相同的。

电路中某一点的电位就是该点到参考点之间的电压。电路中两点之间的电压就是这两点的电位之差。例如在图 1-10 中选取 O 点作为参考点，则 A 、 B 二点的电位分别是 V_A 和 V_B ， A 、 B 两点之间的电压 U_{AB} 就是 $(V_A - V_B)$ 。因此，电压又叫做电位差，电压（电位差）与参考点的选取是无关的。

（二）电动势

1. 电动势的概念

电动势是表示电源性质的物理量。

在图 1-11 所表示的闭合电路中，在电源以外的部分电路，正电荷是从电源正极流出，最后流回电源负极。就是从高电位点流向低电位点，这是电场力推动正电荷做功的结果。为了要在电路中保持持续的电流，就必须使正电荷从电源负极，经过电源内部，移动到电源正极。在电源内部，存在着某种非电场力。例如电池内部因化学作用而产生化学力，发电机内部因电磁感应作用而产生电磁力等等。这种非电场力又叫电源力，它能够把正电荷自电源负极移动到正极。在这个过程中，电源把其他形式的能转换为电能。总结以上的讨论可知：在电源内部电流（正电荷）从低电位点（负极）流向高电位点（正极），非电场力做功，正电荷的电位能增加。在外电路，电流从高电位点流向低电位点，正电荷的电位能减少。为了表征电源内部非电场力对正电荷做功的能力，或者说，电源将其他形式的能量转换成为电能的本领，引入了电动势的概念。电源把正电荷由负极经电源内部移到正极时，非电场力所做的功 W 与所移动的电荷量 q 之比叫做电源的电动势。

$$E = W/q \quad (1-5)$$

电动势在数值上等于非电场力把单位正电荷从负极经电源内部运动到正极时所做的功。根据定义，电动势的单位是 V （伏特）。

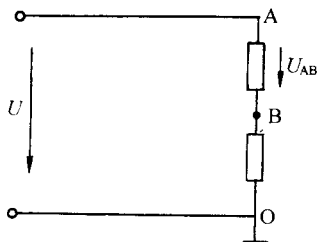


图 1-10 电压与电位的关系

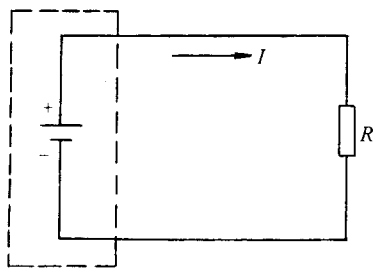


图 1-11 电动势的作用

2. 电动势的方向

电动势的方向规定为从电源负极指向电源正极，因此，电动势的方向是电位升高的方向，与电压的实际方向相反。

作为分析与计算电路的一种方法，同样也可以为电动势规定一个正方向。图 1-12 所示，电源的电动势数值是 5V，正、负极已标出。但在图 1-12 中取电动势的正方向如箭头所示：从 A 指向 B，则 $E = -5\text{V}$ ，表明电动势的实际方向与假定的正方向相反。在图 1-13 中，取正方向从 B 指向 A，即与实际方向相同，则 $E = 5\text{V}$ 。

实际电源常用电压源和电流源两种电路模型来表示。输出电压不随负载变化的电源称为理想电压源，输出电流不随负载变化的电源称为理想电流源。一个实际电源可用理想电压源和内阻串联的电源模型表示，也可用理想电流源和内阻并联的电源模型表示。如图 1-14，图 1-15。

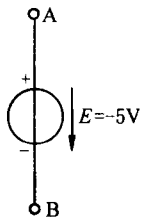


图 1-12 电动势 $E < 0$

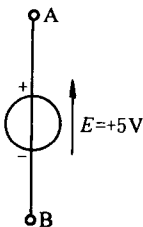


图 1-13 电动势 $E > 0$

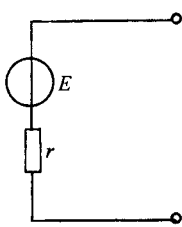


图 1-14 电压源

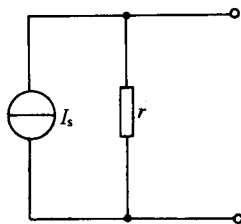


图 1-15 电流源

第三节 电路的基本元件

一、电阻元件

(一) 线性电阻

理论和实践证明，导体对电流的通过具有一定的阻碍作用，称为电阻，用字母 R 表示，单位为 Ω （欧〔姆〕）。金属导体的电阻可用下式计算

$$R = \rho l / A \quad (1-6)$$

式中 l ——导体长度，m；

A ——导体横截面， m^2 ；

ρ ——导体的电阻率， $\Omega \cdot \text{m}$ 。

ρ 反映导体的导电性能， ρ 值越小，表明该导体的导电性能越好。

表 1-2 列出了部分常用金属材料的电阻率。

表 1-2 常用金属材料的电阻率

材 料	电阻率 / ($\Omega \cdot \text{m}$)	材 料	电阻率 / ($\Omega \cdot \text{m}$)
银	1.6×10^{-8}	铝	2.7×10^{-8}
铜	1.7×10^{-8}	铁	9.6×10^{-8}

续表

材 料	电阻率 / ($\Omega \cdot \text{m}$)	材 料	电阻率 / ($\Omega \cdot \text{m}$)
碳 (纯)	3.5×10^{-5}	锰铜	4.4×10^{-7}
金刚石	5×10^{12}	康铜	4.8×10^{-7}
玻璃	$10^{10} \sim 10^{14}$	硅	2300
云母	$10^{11} \sim 10^{15}$	天然橡胶	$10^{12} \sim 10^{15}$
钨	5.5×10^{-8}	熔融石英	7.5×10^{16}

电路中的电阻元件一般为理想电阻元件。如图 1-16 所示, 在电阻元件的两端加电压 u , 通过电阻元件的电流为 i , 它们的参考方向一致, 电压和电流这种参考方向称为“关联参考方向”。电阻的特征可以通过电流 (i) 和电压 (u) 之间的函数关系来表达:

$$u = f(i) \quad (1-7)$$

电流和电压的这种函数关系称为伏安特性。伏安特性通常是对它所替代的实际电阻器由实验取得数据, 将其绘成曲线或列成表格。在一定温度下, 不随外加电压变化的电阻, 称为线性电阻。

线性电阻元件的伏安特性曲线是通过 $u-i$ 坐标系原点的直线。图 1-17 是一组通过原点的直线, 表示这些电阻元件上电流与电压成正比。将式 (1-7) 的函数关系写成方程式

$$u = Ri \quad (1-8)$$

或

$$i = \frac{u}{R} \quad (1-9)$$

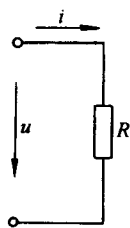


图 1-16 纯电阻电路

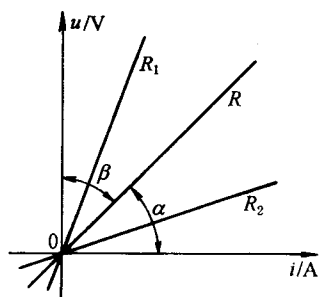


图 1-17 线性电阻的伏安特性曲线

【例 1-1】 一台三相感应电动机, 它的定子绕组采用直径为 1.16mm 的铜线制成, 每相绕组在 20℃ 时的电阻为 1.64Ω , 问每相绕组的导线长度是多少? ($\rho_{\text{Cu}} = 1.75 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$)

解: 由已知的导线直径可求出它的面积

$$A = \pi d^2 / 4 = [3.14 (1.16 \times 10^{-3})^2] / 4 = 1.06 \times 10^{-6} \text{m}^2$$

再由计算电阻的公式求出导线长度

$$l = RA / \rho_{\text{Cu}} = 1.64 \times 1.06 \times 10^{-6} / (1.75 \times 10^{-8}) = 100 \text{m}$$

(二) 非线性电阻

图 1-18 所示的一组伏安特性曲线, 不再是通过原点的直线了, 电流和电压的关系只能用式 (1-7) 表示, 而不能用式 (1-8) 或式 (1-9) 来表示, 这种随外加电压变化的电阻元件

称“非线性电阻元件”，其电阻 R 是电流（电压）的函数，不再是一个常数。它的伏安特性是一曲线。例如晶体二极管的正向电阻就是非线性电阻。

二、电容元件

（一）电容器的充放电

两个导体中间用介质隔开就构成“电容器”。例如：两块金属板或两块金属纸中间用介质隔开就构成平行板电容器。金属板或金属纸叫做电容器的极板。

在图 1-19 中， C 为平行板电容器，当开关 S 拨向“a”时，电容器的两个极板分别与电源 E 的正负极相接，电源会使电容器的两个电极板上带上等量的异号电荷，这个过程叫电容器的充电。充电后，两个板分别带上“ $+Q$ ”和“ $-Q$ ”的电量，称电容器带电量为 Q 。

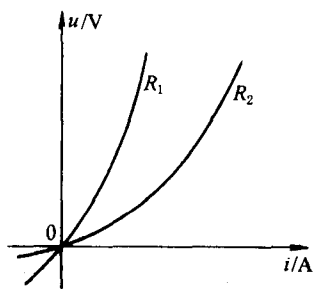


图 1-18 非线性电阻的伏安特性曲线

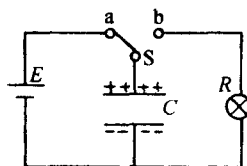


图 1-19 电容器的充、放电

若再将开关 S 拨到“b”，会看到小灯泡 R 会突然亮一下。在这个过程中，电容器失去电荷，称为电容器放电，灯泡闪亮，说明有电能转变成了热能和光能等。可见，在充电过程中，电容器在储存电荷的同时，也储存了电能。摄影时的闪光灯就是利用电容器的这一特点工作的。先用电池给大容量的电容器充电，然后使电容器在短时间内放电，从而使闪光灯发出一道强烈的闪光。

电容器有储存电荷的特点，那么，一个电容器储存电荷的本领有多大呢？实验指出电容器极板上聚积的电量 Q 与加在电容器的电压成正比，即

$$Q \propto U$$

理论和实验都证明上式的比例系数是一个与电压及电量有关的量，叫做电容器的电容，简称电容，用字母 C 表示。所以

$$C = Q/U \quad (1-10)$$

或

$$Q = CU \quad (1-11)$$

电容的单位是法拉，简称法，符号用 F 表示， $1F = 1C/V$ 。法是一个很大的单位，常用的电容器的电容没有超过 $1F$ 的，所以，常用 μF （微法）和 pF （皮法）作单位。它们的关系是

$$1F = 10^6 \mu F = 10^{12} pF$$

电容 C 的大小反映了电容器储存电荷的能力，其数值由电容器的构造所决定，而与电容器带不带电或带电多少无关。

（二）电容元件上电流和电压的关系

如果把电容元件接通电源时，如图 1-20 所示，电荷从电源流向电容元件的极板。在 dt

时间内, 通过导线进极板的电量为

$$dq = i dt \quad (1-12)$$

这些电荷储存在电容器的极板上, 使极板电量增加 dq 。

根据电容的定义

$$q = Cu_c \quad (1-13)$$

可得

$$dq = Cdu_c \quad (1-14)$$

将式 (1-14) 代入式 (1-12) 得到

$$i = Cdu_c/dt \quad (1-15)$$

这就是电容元件电流、电压间的关系式。它是在电容电压与电流为“关联参考方向”时得出的。如果是“非关联参考方向”, 则应写成 $i = -Cdu_c/dt$, 从电容元件的伏安关系可以看出, 某一时刻的电容电流取决于该时刻的电容电压变化率, 这种性质称为电容元件的“动态性质”。如果电容电压不随时间变化, 则电流为零, 这时电容元件的作用相当于使电路开路, 这就是电容元件的“隔直流作用”。

(三) 电场能量

在电场中放入带电体时, 带电体将受到电场力的作用而移动, 电场力做功。电场能够对带电体做功, 说明电场必具有能量。下面以平行板电容器为例导出电场能量的计算式。

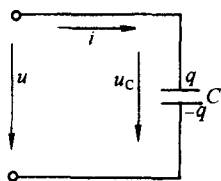


图 1-20 纯电容电路

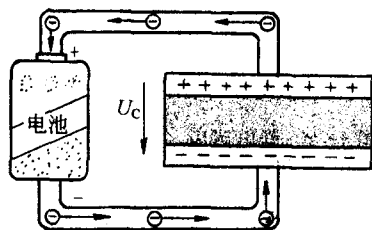


图 1-21 电容器的储能

电容器的储能是在充电过程中得到的。如图 1-21 所示, 电容器接通电源后, 电源做功, 把负电荷从正极板移到负极板, 使得两个极板分别带上等量异号的电荷, 并且在极板之间建立电场。为了计算电容器的储能, 假设充电前电容器极板不带电, 极板间电压为零。充电时, 极板电荷逐渐积累使极板电压逐渐升高, 若电压用 U_c 表示, 电荷用 Q 表示, 将电荷 dq 从负极板移到正极板, 电源做功为

$$dW' = u_c dq$$

这个功转化为电容器储能, 使得电容器储能 dW_E , 即

$$dW_E = dW' = u_c dq$$

根据电容定义

$$C = q/u_c$$

得到

$$dW_E = (q/C) dq$$

电容器从 $q=0$ 开始充电, 到极板电量 $q=Q$ 时, 电容器总储能为

$$W_E = \int_0^Q (q/C) dq = Q^2 / (2C) \quad (1-16)$$

利用电容的定义式，电容器的储能公式还可以写成

$$W_E = \frac{1}{2} C u_C^2 = \frac{1}{2} Q u_C \quad (1-17)$$

(四) 静电屏蔽

1. 静电感应

静电在生产实际中的应用都离不开导体。金属是常见的导体，其特点是内部含有大量的自由电子。不带电的金属导体不受外电场的影响，自由电子在金属内部作无规则热运动，导体各部分均处于电中和状态，导体呈电中性。

在图 1-22 中，B 是有绝缘座的不带电的金属导体，当带电体 A 移近时，附在导体两端的金属箔张开了，显然这两端带了电。原来不带电的导体为什么会带电呢？当在 B 处放一带电导体 A 时，B 处在 A 的电场中，B 中的自由电子在电场力作用下，将逆着电力线运动，在靠近 A 的一端电子过剩，表现出带负电，而远离 A 的一端缺少电子，表现出带正电。这样，在外电场的作用下，导体中电荷重新分布的现象，叫做静电感应，所出现的电荷叫做感应电荷。

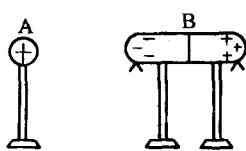


图 1-22 静电感应

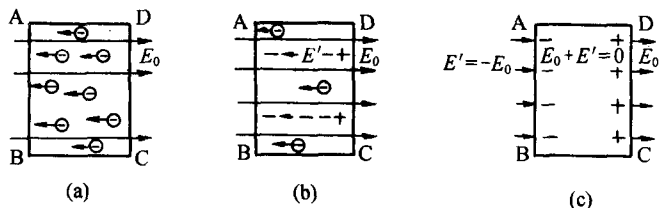


图 1-23 静电平衡

2. 静电平衡

导体在电场中有静电感应现象，自由电子会定向移动。是否一直有电子作定向移动呢？如图 1-23 (a) 所示，把导体放入场强为 E_0 的匀强电场中，由于静电感应现象，AB 面和 CD 面分别出现了感应电荷，感应电荷也生产了一个电场 E' （电场线用虚线表示），方向与 E_0 相反 [图 1-23 (b)]。 E' 减弱了导体内部的电场，不过，只要 E' 还小于 E_0 时，自由电子就会继续移动，导体两端的正负电荷继续增加，使得 E' 继续增大，直到导体内部各点电场强为零为止 (E' 与 E_0 完全抵消)。这时自由电子的定向移动停止 [图 1-23 (c)]。导体中（包括表面）没有导体定向移动的状态叫做静电平衡状态。处于静电平衡状态的导体内部的场强处处为零。

3. 静电屏蔽

静电平衡时导体内部的场强为零，这一现象在技术上可用来实现静电屏蔽。

如图 1-24 (a) 所示，使带正电的金属球靠近验电器，验电器的箔片张开了，这表明验电器受到了带电体的电场的影响，产生了感应电荷。如果事先用一个金属网罩把验电器罩住，再让带电金属球靠近，如图 1-24 (b) 所示，验电器的箔片并不张开。可见，金属网罩也能把外电场“遮住”，使其内部不受外电场的影响。这种现象就是静电屏蔽。通讯电缆的外面包的一层金属皮、电子仪器外套的金属罩、专为电子仪器做的精密测量而准备的金属网隔离的屏蔽室等，都是用静电屏蔽的例子。火车、轮船的收音机收不到信号也是由于静电屏蔽的缘故。