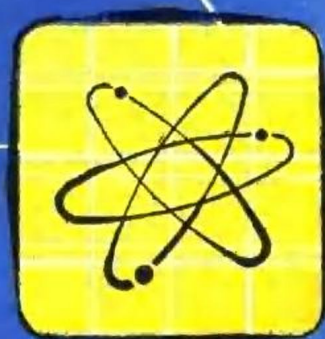


军事院校非电专业试用教材

电工电子技术基础

长沙工程兵学院 长沙炮兵学院 编
沈阳炮兵学院 海军蚌埠士官学校

●熊志洪 主编



武汉工业大学出版社

内 容 简 介

本书是参照全国高等学校工科电工学课程教学指导小组1986年10月拟定的非电专业《电工技术基础》和《电子技术基础》课程教学基本要求和各兄弟院校颁布的有关教学大纲编写的。现以电工电子技术基础一书出版。全书的内容包括：直流电路，正弦交流电路，三相交流电路，变压器，三相异步电动机及其控制，直流电机，供电，照明与安全用电，半导体直流电源，晶体管放大电路，集成运算放大器及其应用，数字电路，电工测量仪表等十二章。书中每章均附有一定的例题、思考题和习题，并有小结；所有插图均按照1986年国家标准局颁布的《电气图用图形符号》新标准绘制。

本书在编写过程中考虑了基础学科的军地通用性。可作为军事院校和地方院校专科非电专业《电工电子技术基础》课程的教材，也可供从事军事和企业管理的领导干部，工程技术人员参考。

军事院校非电专业试用教材

电工电子技术基础

长沙工程兵学院 长沙炮兵学院 编
沈阳炮兵学院 海军蚌埠士官学校

熊志洪 主编

责任编辑 蔡德明

武汉工业大学出版社出版发行
新华书店北京发行所经销
长沙炮兵学院印刷厂印装

开本787×1092 16开 19.5印张 460千字

1988年5月第1版 1988年5月第1次印刷

印数：1—11,000册

ISBN 7-5629-0038-8/TM·0001 定价4.16

前 言

为了适应军队院校电工电子技术课程教学的需要,我们遵照《中央军委关于军队院校教育改革的决定》中改革现行教材的精神,根据国家教委电工学课程指导小组对该课程的“基本要求”和各军兵种颁布的有关教学大纲,在中国人民解放军长沙地区院校协作中心的关怀和组织下,由长沙工程兵学院、长沙炮兵学院、沈阳炮兵学院和海军蚌埠士官学校共同编写了这本教材。

本教材在编写过程中,不仅考虑到参编各院校教育训练的特点,还照顾了基础学科的军地通用性。在保证基本教学质量、以利于教学质量评估的前提下,注重精选教学内容,力求深浅适宜、概念清楚、详略恰当,便于培养学员分析问题、解决问题的能力。为了保证“基本要求”中所规定的内容得到落实,我们在电路理论部分增加了电路模型的概念,编写了“安全用电”和“电工测量”等内容。从侧重应用的角度出发,在变压器、电机部分,舍弃数学上的严格推演,强调物理实质的理解;不罗列过多的计算方法,而着重于基本概念阐述。为了处理不断发展的电子技术和有限教学时数之间的矛盾,适应八十年代电子技术发展的需要,在内容的编排上遵循了元件为电路服务的原则。对电子元器件的讨论,强调以定性分析为主,着重介绍外部特性和功能,对内部电路或机理从略。模拟电路部分侧重集成运算放大器的介绍及其应用。数字电路围绕中、小规模集成电路进行介绍。

本教材的另一个重要特点是书中所有插图均采用《电气图用图形符号》新的国家标准,与现有教科书相比,插图新颖规范。

本教材按高等专科教育100学时的需要编写,其中实验课约占20学时。书中带有“*”号的是选修内容,不计在学时之内。每章之后附有小结、思考题与习题,帮助读者在复习中总结、整理和消化已学的知识,检查学习效果。

本教材可供我军指挥院校、各军、兵种士官学校、地方高等专科学校非电专业的《电工电子技术基础》课教学使用,也可供有关工程技术人员自学参考。

本书的绪论、第七、十一章及附录由长沙工程兵学院熊志洪执笔;第一、十二章由长沙炮兵学院李生才执笔;第二、三章由长沙工程兵学院高建华执笔;第四、六章由海军蚌埠士官学校王元标执笔;第五章由海军蚌埠士官学校陈三梯执笔;第八章由沈阳炮兵学院王永明执笔;第九、十章由沈阳炮兵学院应甫成执笔;所有插图由长沙炮兵学院刘岳云绘制。全书由熊志洪主编。

本书由国防科学技术大学徐升祥教授、武汉工业大学朱家万副教授主审。

长沙炮兵学院刘岳云、沈阳炮兵学院关铁民、长沙工程兵学院饶立藩、赵学芝、李仁金等同志对本书初稿的有关章节提出了不少宝贵意见,长沙炮兵学院电子教研室的许多同志为本书的插图贴字和校对付出了辛勤的劳动。在此谨向大家致以诚挚的谢意!

由于我们水平有限,加之时间仓促,书中难免有错误和不妥之处,恳切希望读者批评指正。

编者

一九八七年十二月

绪 论

(一) 电能的应用和特点, 电气化对国防现代化的重要作用

电是现代化大工业的技术基础, 是工业、农业和军事工程的一种重要的能源。同时, 它又是通讯和电测、电子学和无线电、自动化和遥控、计算机和人工智能等先进技术中心不可少的条件。为此, 在现代几乎所有的军事装备上, 如战车、舰艇、飞机、火炮、通讯、伪装、电子对抗装置等都有各种电动机、电子仪器和电器设备。从而显示出电在国防现代化建设中所占的重要地位和广泛应用。

七十年代以来, 电子技术和电子计算机得到高速发展并迅速普遍地应用于各个军事领域, 标志着军事科学技术进入了一个新的时代, 引起了军事结构的深刻变革。例如:

新一代的常规武器逐步实现自动化和智能化, 不仅传统的电气传动控制系统用上了计算机, 而且炮弹、火箭弹头上也装上了单片微处理机, 从而大大提高了武器的反应速度和命中精确度。它们与各种地面、天空的电子预警探测系统相结合, 可以根据战场的动态信息, 迅速准确地摧毁敌方的火力发射系统和指挥中枢。这种快速命中的作战方式, 已影响到军队的结构。另外, 随着军事机器人的出现, 也将使陆军的战术改观。

以计算机及电子设备为核心的情报收集、通讯联络、武器制导和控制指挥系统, 具有情况反映快、判断准确性高、决策科学性强、作用范围广等优点, 并在突然袭击下具有瞬时作出反应的能力。尤其是能够适应现代作战指挥部远离战场和各军兵种联合作战的需要, 有利于赢得并掌握战争的主动权。

各种文件处理和数据统计分析计算机、电传打字机、复印机、电子录放像机等自动化设备的投入使用, 使办公室自动化正逐步得以实现, 从而大大提高了工作效率和工作质量。

电视机、收录机、电冰箱、洗衣机和各种电炊具等家用电器迅速普及到军人家庭, 也促进了军队的物质文明和精神文明建设。

总而言之, 武器装备和军事指挥的现代化只有在电气化的条件下才有可能实现。任何一国的军事指战员都毫无例外地要与电打交道, 主动、自觉地掌握一些电工电子技术基础知识, 将有利于提高指战员的基本素质。

电能之所以得到如此广泛的应用, 是因为它具有下列几个优越性能。

1. 转换容易。电能可以较方便地由水能、热能、化学能、原子能等转换而来, 成为廉价的动力来源; 同时, 电能又可以很方便地转换为其它形式的能量, 例如机械能、热能、光能、化学能等, 以满足各方面的需要。

2. 输送经济、分配方便。高电压远距离输送电能时, 损失小, 效率高, 因而可以充分地合理地利用蕴藏在偏远地区的煤矿和水利等资源。此外, 无论是对集中的用电场所或是对分散的用户, 电能都能分配自如。

3. 控制、测量准确迅速。电压、电流等物理量可用电器设备迅速准确地控制和测量, 而且不受距离的限制, 这是自动控制的必要条件。

4. 能以电磁波的形式在空间传播。

（二）学习电工电子技术基础课程的目的和方法

《电工电子技术基础》是研究电磁理论及其在工程技术方面应用的一门技术基础课程。要求通过本课程的学习，使我军的初级指挥干部和士官生获得必要的电工电子技术基本理论、基本知识和基本技能，了解常用电工电子元器件的原理和使用方法，为学习专业课程，以及今后从事指挥管理或技术工作打下一定的基础。

《电工电子技术基础》的内容包括电路、电机和控制、电子技术三大部分。它是一门理论性、系统性和实践性都很强的课程。它与许多学科内容相关，如它是数学、物理学许多概念的具体应用，又有工程技术的通用知识。另外，该课程还是不少现代科学理论的基础，如信息论、控制论、系统论和现代管理学中的某些基本思路都是受“电路”理论的启发，而推广引深的。因此，学好本课程将有助于更深刻地理解数学、物理概念，初步掌握一些工程问题的分析方法，也为将来学习某些高深理论奠定一定的基础。鉴于上述特点，在学习时应注意以下几点：

1. 上课时专心听讲，积极思考，要理解和弄清物理概念，基本理论、工作原理和分析方法是如何提出并引深的，又是怎样应用的。课后应及时复习并仔细阅读教科书。在总结巩固的基础上，要注意各部分之间的联系，循序渐进并善于抓住重点。要重在理解，能提出问题、自我分析，不要死记硬背。

2. 实验是很重要的教学环节，必须充分重视。通过实验可以使学到的理论知识得到验证和巩固，同时可以提高实际技能。实验前应认真准备，实验时要勤动脑、多动手，学会正确使用常用的电工电子仪表和设备，能正确连接电路、准确读取数据。实验后要对实验现象和数据认真地整理分析，编写出正确的实验报告。

3. 完成习题是巩固加深所学知识，培养学员分析问题、解决问题的能力，训练必要的运算技能并做到理论联系实际的重要手段。解题前，应基本掌握所学的内容。解题时，要看懂题意，注意分析，搞清所用的定理、公式和解题步骤。

目 录

(带“*”为选学内容)

目 录	2	一、电容及其物理性质	21
结 论	7	二、电感及其物理性质	22
第一章 直流电路	1	三、电阻电容电路的暂态分析	23
1—1 电路的组成和电路模型	1	本章小结	26
一、电路的组成	1	思考题与习题	28
二、电路的作用	2	第二章 正弦交流电路	33
三、电路模型的概念	2	2—1 正弦交流电的基本概念	33
1—2 电路基本物理量 电流和电压的参考方向	2	一、交流电	33
一、电流	2	二、正弦交流电的三要素	34
二、电压	3	三、交流电的有效值	36
三、电流、电压的参考方向	4	2—2 正弦量的矢量表示法	38
四、电位	4	*2—3 正弦量的复数表示法	40
五、电动势	6	一、复数及复数的四则运算	40
1—3 电路的基本定律	6	二、正弦量的复数表示法	42
一、欧姆定律	6	2—4 纯电阻电路	43
二、克希荷夫定律	7	一、电压与电流的关系	43
1—4 电阻元件	10	二、功率关系	44
一、线性电阻和非线性电阻	10	2—5 纯电感电路	45
二、电阻的串联和并联	11	一、电压与电流的关系	45
三、电阻消耗的功率	12	二、电感上的功率	47
1—5 电路的工作状态	13	2—6 纯电容电路	48
一、带负载	13	一、电压与电流的关系	48
二、开路(空载)	14	二、电容上的功率	50
三、短路	14	2—7 R、L、C串联的交流电路	51
1—6 电压源与电流源	15	一、电路的分析计算	51
一、电压源	15	二、串联谐振	56
二、电流源	16	2—8 感性负载与电容器并联的交流电路	58
1—7 支路电流法	16	一、电路的分析计算	58
1—8 迭加原理	18	二、并联谐振	60
1—9 戴维南定理	19	三、提高功率因数的意义和方法	62
1—10 电容、电感及电阻电容电路的暂态分析	21	本章小结	63
		思考题与习题	65

第三章 三相交流电路	69
3—1 三相交流电的基本概念.....	69
3—2 三相电源的接法.....	70
一、星形联接.....	70
二、三角形联接.....	72
3—3 三相负载的星形联接和中 线的作用.....	72
一、三相负载.....	72
二、三相负载的星形联接.....	73
三、中线的作用.....	74
3—4 三相负载的三角形联接.....	75
3—5 三相功率的计算.....	77
本章小结.....	78
思考题与习题.....	78
第四章 变压器	80
4—1 磁路的基本概念.....	80
一、磁路.....	80
二、磁路的欧姆定律.....	80
4—2 变压器的基本结构.....	82
一、绕组.....	82
二、铁心.....	82
4—3 变压器的工作原理.....	83
一、变压器的空载运行、电压 变换.....	83
二、变压器的负载运行、电流 变换.....	84
三、变压器的阻抗变换作用.....	85
四、变压器的外特性.....	87
五、变压器的效率.....	88
4—4 变压器绕组极性的测定.....	88
一、变压器绕组的极性.....	88
二、变压器绕组极性的测定.....	89
4—5 几种常见的变压器.....	89
一、三相变压器.....	89
二、自耦变压器.....	90
三、仪用互感器.....	91
4—6 变压器的使用.....	92
一、变压器的额定值.....	92

*二、变压器的常见故障及处理 方法.....	93
本章小结.....	94
思考题与习题.....	95
第五章 三相异步电动机及其控制	98
5—1 三相异步电动机的基本结构.....	98
一、定子.....	98
二、转子.....	99
5—2 三相异步电动机的转动 原理.....	100
一、旋转磁场.....	100
二、转子的转动原理.....	103
三、转子的转速 n 和转差率 s	104
5—3 三相异步电动机的工作 原理.....	104
一、电磁转矩.....	105
二、转矩特性和机械特性.....	105
三、工作特性.....	107
5—4 三相异步电动机的起动.....	108
一、起动性能.....	108
二、起动方法.....	109
三、绕线式异步电动机的起动 方法.....	110
5—5 三相异步电动机的铭牌.....	111
5—6 常用低压控制电器.....	112
一、闸刀开关.....	113
二、组合开关.....	113
三、按钮开关.....	114
四、熔断器.....	114
五、交流接触器.....	115
六、热继电器.....	115
5—7 异步电动机的直接起动及 正反转控制电路.....	116
一、直接起动的控制电路.....	116
二、接触器控制线路.....	117
三、正、反转控制电路.....	118
*5—8 单相异步电动机.....	120
一、定子绕组产生的脉动磁场.....	120

二、单相异步电动机的转动		三、保护接地和保护接中线·····	151
原理·····	122	本章小结·····	153
本章小结·····	123	思考题与习题·····	153
思考题与习题·····	123	第八章 半导体直流电源 ·····	155
第六章 直流电机 ·····	126	8—1 二极管·····	155
6—1 直流电机的基本结构·····	126	一、PN结及其单向导电性·····	155
一、定子·····	126	二、二极管·····	157
二、转子·····	127	8—2 单相整流与滤波电路·····	159
三、电刷装置·····	127	一、单相整流电路·····	159
6—2 直流电机的工作原理·····	127	二、滤波电路·····	161
一、直流发电机的工作原理·····	128	8—3 稳压管及稳压电路·····	163
二、直流电动机的工作原理·····	128	一、稳压管·····	163
6—3 直流电动机·····	129	二、稳压管稳压电路·····	164
一、并励电动机·····	129	三、集成稳压器·····	165
二、串励电动机·····	130	8—4 晶闸管及其应用·····	166
三、复励电动机·····	132	一、晶闸管·····	166
四、并励电动机的起动与调速·····	132	二、单向可控桥式整流电路·····	169
6—4 直流电动机的使用·····	134	8—5 单结晶体管及触发电路·····	171
一、直流电动机的铭牌·····	134	一、单结晶体管·····	171
*二、电机的维护常识·····	135	二、单结晶体管的自振荡电路·····	172
本章小结·····	136	三、单结晶体管的同步振荡与触发电路·····	173
思考题与习题·····	137	本章小结·····	173
第七章 供电、照明与安全用电 ·····	139	思考题与习题·····	174
一、供电系统的基本知识·····	139	第九章 晶体管放大电路 ·····	177
一、发电、输电概述·····	139	9—1 晶体三极管·····	177
二、电力网·····	139	一、晶体管的基本结构·····	177
三、负荷计算·····	141	二、晶体管的电流放大作用·····	178
四、变电所·····	141	三、晶体管的特性曲线·····	179
*7—2 移动电站·····	142	四、晶体管的主要参数·····	181
一、同步发电机·····	143	五、晶体管的简易测试·····	182
二、其它设备·····	145	9—2 基本交流放大电路·····	183
三、移动电站的使用·····	145	一、基本交流放大电路的组成·····	183
7—3 照明·····	145	二、基本放大电路的工作原理·····	184
一、常用的电光源·····	145	三、静态工作点的稳定·····	186
二、实施照明中应注意的问题·····	148	四、放大电路的微变等效电路分析法·····	187
7—4 安全用电·····	149	9—3 共集电极电路——射极输	
一、几种可能的触电方式·····	149		
二、安全用电常识·····	151		

出器.....	191	一、有源滤波器.....	221
一、射极输出器的主要特点.....	192	二、光电转换电路.....	223
二、射极输出器的应用.....	193	三、比较器.....	223
9—4、功率放大电路.....	193	四、方波发生器.....	225
一、功率放大电路的图解分析		10—5 正弦波振荡电路.....	225
法.....	193	一、自激振荡的条件.....	225
二、互补对称功率放大电路.....	196	二、集成运算放大器构成的	
9—5 多极放大器.....	198	RC 振荡器.....	226
一、多极放大器的组成.....	198	本章小结.....	228
二、极间耦合方式.....	198	思考题与习题.....	228
三、放大倍数的计算.....	199	第十一章 数字电路	232
四、实际电路举例.....	200	11—1 基本逻辑门电路.....	232
本章小结.....	201	一、“与”逻辑和与门电路.....	232
思考题与习题.....	202	二、“或”逻辑和或门电路.....	233
第十章 集成运算放大器及其应用	205	三、“非”逻辑和非门电路.....	234
10—1 集成运算放大器基础.....	205	四、复合门电路.....	235
一、集成运算放大器的基本概		11—2 TTL 集成与非门电路.....	237
念.....	205	一、电路结构和工作原理.....	237
二、集成运算放大器的级间耦		二、逻辑规范.....	238
合方式与差动放大电路.....	207	11—3 逻辑代数及其应用.....	239
*三、BG305组件介绍.....	210	一、逻辑代数的基本定律.....	239
四、集成运算放大器的主要参		二、逻辑表达式的化简.....	240
数.....	212	三、组合逻辑电路的分析与设	
五、理想运算放大器的特		计.....	241
点.....	213	11—4 运算器.....	243
10—2 运算放大器的闭环特性.....	213	一、半加器.....	243
一、负反馈的基本概念.....	213	二、全加器.....	243
二、负反馈对放大电路性能的		三、四位集成电路全加器.....	244
影响.....	214	11—5 触发器.....	245
三、负反馈的类型.....	215	一、基本R—S 触发器.....	245
10—3 集成运算放大器的基本		二、JK 触发器.....	246
运算电路.....	218	三、D 触发器.....	248
一、加法运算电路.....	218	四、T 触发器.....	248
二、减法运算电路.....	219	11—6 寄存器.....	248
三、积分运算电路.....	220	一、数码寄存器.....	248
四、微分运算电路.....	220	二、移位寄存器.....	249
*10—4 集成运算放大器应用举		11—7 计数器.....	251
例.....	221	一、二进制计数器.....	251

二、十进制计数器·····	253	三、使用方法·····	278
11—8 译码器和译码显示电路·····	255	四、使用注意事项·····	278
一、二进制译码器·····	255	*五、数字万用表简介·····	278
二、分段式数字显示器件·····	255	12—4 兆欧表·····	280
三 DCD—七段译码/驱动器·····	256	一、基本构造·····	280
11— 模拟量与数字量的相互		二、工作原理·····	281
转换·····	257	三、使用注意事项·····	281
一、数/模转换器·····	257	12—5 单相电度表·····	282
二、模/数转换器·····	260	一、基本结构·····	282
本章小结·····	261	二、工作原理·····	282
思考题与习题·····	262	三、使用注意事项·····	283
第十二章 电工测量仪表 ·····	267	本章小结·····	284
12—1 电工仪表的一般知识·····	267	思考题与习题·····	284
一、仪表的误差·····	267	附录 ·····	285
二、仪表的准确度·····	268	附录一、常用新旧《电气图用图	
三、仪表的分类和表面标记·····	269	形符号》对照表·····	285
四、对仪表的一般要求·····	270	附录二、国产半导体器件型号命	
12—2 磁电式测量机构·····	270	名方法·····	291
一、基本结构·····	270	附录三、常用半导体元件的参数·····	292
二、工作原理·····	271	附录四、半导体集成电路型号命	
12—3 万用表·····	272	名方法·····	297
一、基本构造·····	272	附录五、低压电器产品型号命名	
二、工作原理·····	272	方法·····	300

第一章 直流电路

在工业、农业、国防和科学技术中广泛使用的电气设备，种类繁多，结构各异，但绝大部分设备仍由各种基本电路所组成，而直流电路又是分析其它基本电路的基础，因此，掌握直流电路的基本概念和基本分析计算方法是十分重要的。

本章主要介绍电路的组成和电路模型的概念、电路的基本物理量、电路的基本定律、电路的状态和电路的基本分析计算方法，以及电容元件和电感元件的物理特性。有些内容虽然在物理课中已经学过，但是为了加强理论的系统性，仍把它们列入。

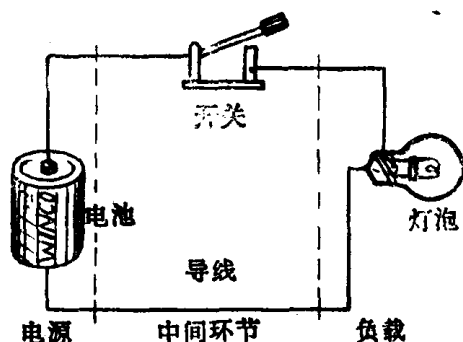
应该指出，本章虽然讲的是直流电路，但这些基本定律和分析方法也适用于交流电路。

1—1 电路的组成和电路模型

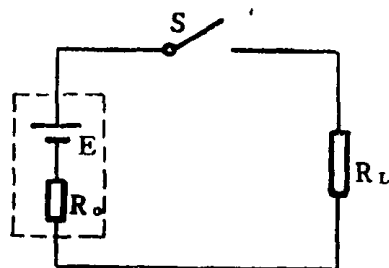
一、电路的组成

电流流通的路径叫电路。

电路主要由电源、负载和中间环节三部分组成。



(a) 电路的组成



(b) 电路模型

图1—1 电路的组成和电路模型

电源是电路中供给能量的装置。它将非电的能量转换成电能，如干电池将化学能转换成电能，发电机将机械能转换成电能，光电池将光能转换成电能。

负载也叫用电设备，是吸收电能的装置，它将电能转换成其它形式的能量，以达到用电的目的。如电灯是将电能转换成光能和热能，电动机是将电能转换成机械能。

中间环节的作用是传输、分配和控制电能。最简单的中间环节是开关和导线，复杂一点的还有保护、测量装置以及由各种元件组成的系统。

电源、负载、中间环节统称为电路元件，所以，电路也就是电路元件组合的总体。图1—1 (a)为一简单电路的示意图。其中干电池为电源，灯泡为负载，开关和联接导线为中间环节。

电路分为两段：电源内部的通路称为内电路，由负载和中间环节构成的电路称为外电路。

二、电路的作用

电路的作用可概括为以下两个方面：一是进行电能量的传输和分配，并实现与其他形式能量的互相转换。例如发电机组把热能、水能或原子能等转换成电能，通过变压器、输电线等输送给用电部门，然后再通过各种用电设备把电能转换成热能、光能或机械能等。二是应用电路进行信号变换、传输和处理。例如收音机，其天线把载有语言或音乐（通常称为信息）的电磁波接收后，通过调谐、变频、检波、放大等电路，将调谐电路所选择的信号，进行变换、传输和处理，最后送到扬声器，还原成原来的语言或音乐。

三、电路模型的概念

研究电路实际上就是研究电路中所发生的电磁现象与过程。而实际电路元件在电路中的电磁现象与过程往往是很复杂的。例如一个线绕电阻器，当有电流通过它时，除了表现出电阻特性外，还会产生磁场，所以它还具有电感的性质。简单的线绕电阻器都如此，至于比较复杂的电路元件，其电磁现象与过程就更为复杂，且更不便于用数学方法来描述了。

怎样研究如此复杂的电磁现象与过程？科学的方法是采用模型化的方法。

所谓模型化，就是在一定的条件下，突出实际电路元件的主要电磁性能，忽略其次要因素，用理想的模型近似地反映实际元件。例如线绕电阻器，不考虑它的具体结构和材料等问题，在电感不大的条件下，忽略它的电感性，只保留它的主要特性——电阻性。因而可以把它看作理想的纯电阻模型。同样，收音机调谐回路的电感线圈，电阻很小，可看作理想的电感元件，等等。今后，为简便起见，“理想”二字常省略。

把实物抽象成模型，把实际元件组成的电路抽象成理想元件电路，以对理想元件电路的研究代替实际元件电路的研究，从而使电路分析和计算大为简便，这就是电路模型的基本概念，也是电路分析和计算的基本出发点。

图1—1(b)为图1—1(a)的电路模型(又称电路图)。其中电源用电动势 E 和内阻 R_0 及相应的图形表示，负载(小灯泡)用 R_L 及相应的图形表示，开关用 S 及相应的图形表示。导线的电阻忽略不计，用电阻为零的理想导线表示。

1—2 电路的基本物理量 电流和电压的参考方向

电路的基本物理量是：电流、电压、电位、电动势、电功、电功率等。这些物理量虽然在物理学中已经学过，但它们是分析电路的基础，有必要从电路的观点出发分别加以阐述。下面简要介绍电流、电压、电位和电动势。

一、电流

电荷有规则地移动便形成了电流。电流是一种客观现象，人们通过它的各种效应(如热效应、磁效应、化学效应等)觉察到它的存在。

电流的大小用“电流强度”来衡量，电流强度简称电流，如果电流的大小和方向都随时间变化则称为交流电流，用小写字母 i 表示，其定义为

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

电流强度在数值上等于单位时间内通过某导体截面的电量。

如果在相同的时间间隔 t 内，单方向地通过导体的电量都相等，且等于 Q ，则式 (1-1) 可改写为

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

这种大小和方向都不随时间变化的电流，则称为恒定电流，简称直流，用大写字母 I 表示。

鉴于电流强度简称为电流，这样电流一词既代表一种物理现象，又代表一种物理量，在国际单位制 (SI) 中，电流强度的基本单位是安培，简称安 (A)。辅助单位有千安 (KA)、毫安 (mA)、微安 (μA)，它们的关系是

$$1 \text{ 千安 (KA)} = 10^3 \text{ 安 (A)}$$

$$1 \text{ 毫安 (mA)} = 10^{-3} \text{ 安 (A)}$$

$$1 \text{ 微安 } (\mu A) = 10^{-6} \text{ 安 (A)}$$

我们习惯上规定正电荷运动的方向为电流的方向 (实际方向)。由于金属导体中移动的是带负电的自由电子，因此它的电流的实际方向和电子移动的方向相反。

二、电压

在图1—2中， a 、 b 是电池的两个电极， 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。如果我们用导线把灯泡和两个电极连接起来，则在电场力的作用下，正电荷就要从 a 电极经过灯泡移至 b 电极 (实际上是电子由 b 电极移至 a 电极)，于是形成了电流，这时电场力移动电荷作了功。电场力做功的大小不仅与被移动的电荷量有关，而且与电场本身的情况有关。为了衡量电场力移动电荷做功的能力，引入电压这个物理量。用字母 U 或者 u 表示 (一般用 U 表示直流电压， u 表示交流电压)。 a 、 b 、两点间的电压 U_{ab} 在数值上等于电场力把单位正电荷从 a 点移到 b 点所做的功。用公式表示为

$$U_{ab} = \frac{W}{q} \quad (1-3)$$

式中 W 为电场力所做的功， q 为移动电荷的电量。

在国际单位制中，电压的单位是伏特，简称伏 (V)，辅助单位有千伏 (KV)、毫伏 (mV) 和微伏 (μV)，它们之间的关系是

$$1 \text{ 千伏 (KV)} = 10^3 \text{ 伏 (V)}$$

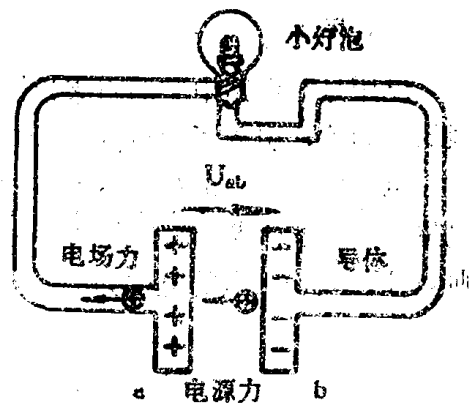


图1—2 电场力对电荷做功

$$1 \text{ 毫伏 (mV)} = 10^{-3} \text{ 伏 (V)}$$

$$1 \text{ 微伏 (}\mu\text{V)} = 10^{-6} \text{ 伏 (V)}$$

三、电流、电压的参考方向

在分析和计算电路时，电流、电压的实际方向往往事先难以确定，因此，常常任意假设某一方向为电流或电压的方向，这种假设的方向称为参考方向，并用实箭头标在电路图上。实际方向可能与参考方向相同，也可能相反。当电流、电压的实际方向与参考方向一致时，它们的数值为正，反之为负。需要特别指出的是，在未规定参考方向的情况下，电流、电压的正负是没有意义的。参考方向也叫正方向。

【例1—1】在图1—3中，电流的参考方向已标明，已知 $I = -4$ 安，试指出电流的实际方向。

解： $I = -4$ 安，其中“-”号表示电流的实际方向与参考方向相反，所以电流的实际方向由a端指向b端。

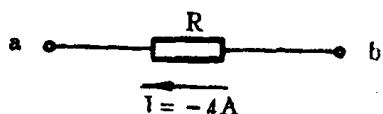


图1—3 例 1—1的图

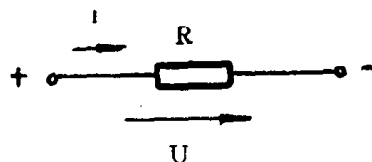


图1—4 电压和电流的关联参考方向

顺便指出，在分析复杂电路时，电路中同一元件中的电压和电流的真正方向往往是不知道的，但它们的假定参考方向是可以独立任意规定的，为了方便起见，我们常常用关联参考方向表示，即选取电流的参考方向与电压的参考方向一致，如图1—4所示。

四、电位

电压是对电路中某两点来说的，在比较复杂的电路中，要一一说明两点间的电压是很繁琐的。为此，引入了电位这个物理量。

电路中某一点的电位就是该点到参考点之间的电压。电位用 U 加下标表示。例如图1—5中若选d点为参考点，则a、b、c、e四点的电位为

$$U_a = U_{ad}$$

$$U_b = U_{bd}$$

$$U_c = U_{cd}$$

$$U_e = U_{ed}$$

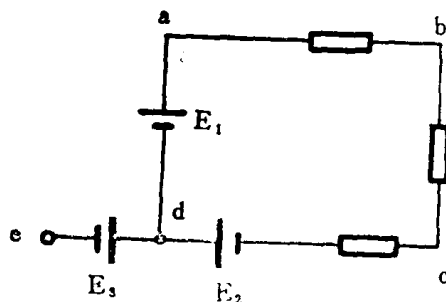


图1—5 电路中的电位

电压和电位的关系是：电路中任意两点的电压等于这两点的电位差。例如a、b两点的电位分别为 U_a 和 U_b ，则a、b两点之间的电压。

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

就象以海平面作为计算物体所处高度的参考点一样，计算电位时要首先指定电路中某一点作为参考点，并规定参考点的电位为零。比参考点高的电位为正，比参考点低 的电位为负。未指定参考点，讨论电位是没有意义的。原则上，参考点(零电位点)可以任意选定，但

习惯上与大地相通的实际电路，取大地为参考点；不与大地相通的电路，取公共点或机壳为参考点。前者接地点用符号⊥表示，后者用符号⊥表示。

电压的实际方向(极性)为电场力移动正电荷的方向，即由高电位指向低电位，也就是电位降低的方向。电位的单位和电压相同。

【例1—2】 试求图1—6 (a) 所示电路中各点的电位。

解： (1) 选b为参考点，则 $U_b = 0$ ，如图1—6 (b) 所示，根据电位的定义得：

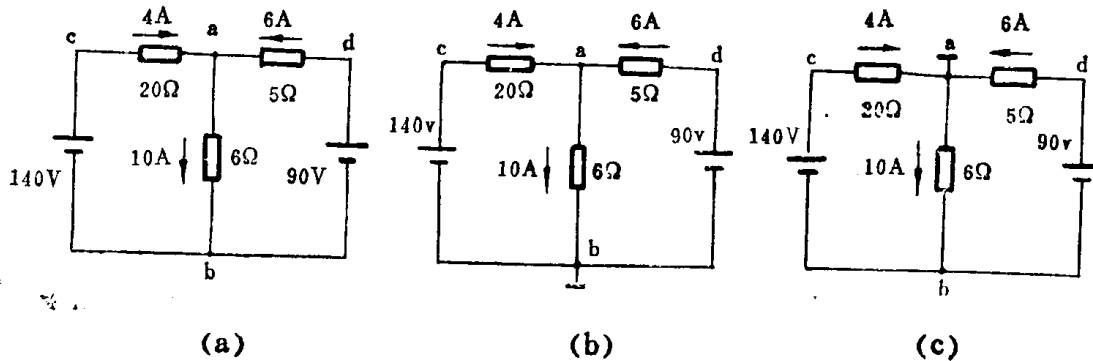


图1—6 例1—2的图

$$U_{ab} = U_a - U_b \quad U_a = U_{ab} + U_b = U_{ab} = 10 \times 6 = +60 \text{ 伏}$$

同理 $U_c = U_{cb} = +140 \text{ 伏} \quad U_d = U_{db} = +90 \text{ 伏}$

(2) 选a为参考点，即 $U_a = 0$ ，如图1—6 (c) 所示

$$U_b = U_{ba} + U_a = U_{ba} = -10 \times 6 = -60 \text{ 伏}$$

同理 $U_c = U_{ca} = 4 \times 20 = +80 \text{ 伏}$

$$U_d = U_{da} = 6 \times 5 = +30 \text{ 伏}$$

比较(1)、(2)结果可见，电路中各点的电位是随参考点选择不同而改变的，但两点之间的电压却与参考点的选择无关。

【例1—3】 分别求出图1—7(a)所示电路中的开关S断开和接通时a点的电位。

解： 电路中接地符号表示零电位点，这些点实际上是互相连接在一起的。但在比较复杂的电路中，为了不使图中过多地出现连接线的交叉，接地点常常如图1—7(a)那样分别表示。

当开关S断开和接通时，其电路分别如图1—7(b)、(c)所示。

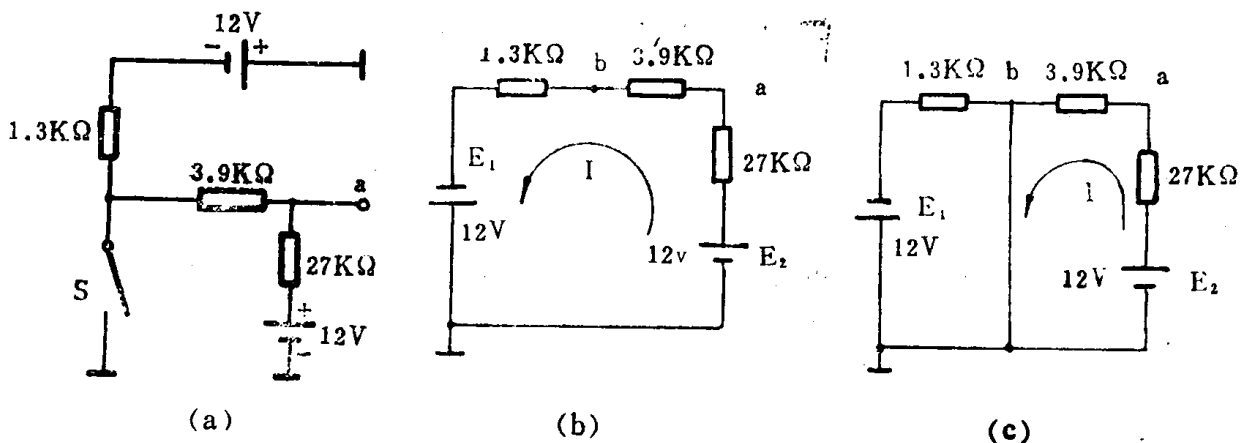


图1—7、例1—3的图

(1) S断开时, 由图(b)求a点电位

$$I = \frac{12+12}{(27+3.9+1.3) \times 10^3} = 0.745 \times 10^{-3} \text{ 安}$$

$$U_a = 12 - 27 \times 10^3 \times 0.745 \times 10^{-3} = -8.1 \text{ 伏}$$

或

$$U_a = -12 + (1.3+3.9) \times 10^3 \times 0.745 \times 10^{-3} = -8.1 \text{ 伏}$$

可见, 参考点一经确定, 电路中各点的电位就确定了, 而与计算时所选择的路径无关。

(2) S接通时, 由图(C)求a点电位。

a点的电位只与右回路有关, 因为

$$I = \frac{12}{(27+3.9) \times 10^3} = 0.39 \times 10^{-3} \text{ 安}$$

$$\text{所以: } U_a = 3.9 \times 10^3 \times 0.39 \times 10^{-3} = 1.52 \text{ 伏}$$

五、电动势

在电场力的作用下, 正电荷总是从高电位端经过负载向低电位端移动形成电流, 如图1—2所示。当正电荷从a移至b时, 就要与b极板上的负电荷中和, 使极板间的电场逐渐减弱以至最后消失, 电流就要中断。要使电流不断地维持下去, 在a、b极板间必须有一种力(非电场力), 它能源源不断地把正电荷从低电位的电极b, 搬到高电位的电极a, 使两极板间始终维持一定的电场。电源就能产生这种力。图1—2中, 电源是个电池, 由于电池内部的化学反应产生一种外力, 能把正电荷从电源内部的负极b移到正极a, 我们把这种力称为电源力。

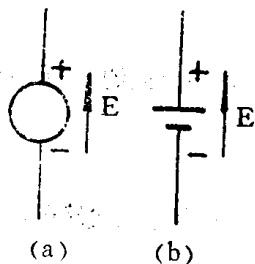


图1—8 恒定电动势
电源的符号

电源力在电源内部移动正电荷而做功, 做功能力的大小用电动势这个物理量来衡量。电源电动势在数值上等于电源力把单位正电荷从电源的低电位端经电源内部移到高电位端所做的功。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。电动势的单位和电压相同。大小和方向不随时间变化的电动势称为直流电动势, 用大写字母E表示。在电路图中的符号如图1—8所示, 其中图(a)表示一般的电源, 图(b)表示干电池或蓄电池一类的电源。

1—3 电路的基本定律

一、欧姆定律

欧姆定律是电路的基本定律之一, 它表明流过电阻的电流与该电阻两端的电压之间的关系, 反映出电阻元件的特性。

欧姆定律的内容是: 流过电阻R的电流与电阻两端的电压U成正比。在电压、电流取关联参考方向时, 其数学表达式为

$$U = IR$$

(1—5)

如图1—4所示。

如果电流和电压的参考方向相反, 则欧姆定律的数学表达式为

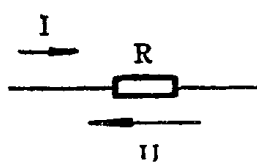


图1-9 例1-4图

$$U = -IR$$

(1-6)

如图1-9所示。

【例1-4】图1-9中，若 $I = -4$ 安， $U = 20$ 伏，试求 R 为多少？

解：图1-9中，电压、电流的参考方向不一致，所以

$$R = -\frac{U}{I} = -\frac{20}{-4} = 5 \text{ 欧}$$

【例1-5】计算图1-10中电阻 R 的值，已知 $U_{ab} = -24$ 伏。

解：a点电位比b点电位低 24 伏

n点电位比b点电位低 $24 - 5 = 19$ 伏

m点电位比b点电位高 0 伏

于是

n点电位比m点电位低 $19 + 0 = 25$ 伏

即

$$U_{nm} = -25 \text{ 伏}$$

由欧姆定律得出

$$R = \frac{U_{nm}}{I} = \frac{-25}{-2} = 12.5 \text{ 欧}$$

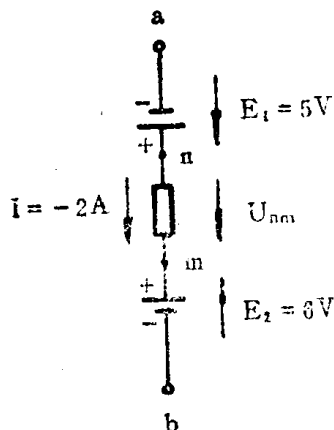


图1-10 例1-5的图

二、克希荷夫定律

在生产实践中，常常会遇到一些不能利用电阻串、并联公式进行简化，仅用欧姆定律

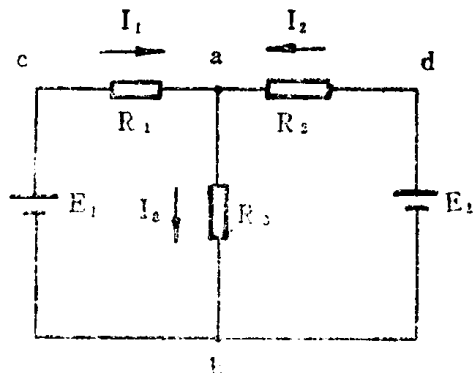


图1-11 电路举例

解决的所谓复杂电路的问题。要解决这类问题就有赖于克希荷夫定律与欧姆定律配合使用。克希荷夫定律包括克希荷夫电流定律(KCL)和克希荷夫电压定律(KVL)。在叙述克希荷夫定律之前，我们结合图1-11所示的电路，介绍几个名词。

支路 电路中的每一个分支叫支路，一条支路流过一个电流。图1-11中共有三条支路：acb、ab和adb。支路acb、abd中含有电源，称为有源支路；支路ab中没有电源，叫无源支路。

节点 三条或三条以上支路的连接点叫节点。图1-11中a和b都是节点。

回路 电路中任一闭合路径叫回路。图1-11中有三个回路：abca、adba和adbca，其中abca和adba为单孔回路，也叫网孔。

(一) 克希荷夫电流定律(KCL)

该定律说明电路中某一节点中各电流的相互关系。它的内容是：在任一瞬时，流入任一节点的电流之和等于流出该节点的电流之和。用数学式表示为

$$\sum I_{\text{入}} = \sum I_{\text{出}} \quad (1-7)$$

对于图1-11中的节点a有

$$I_1 + I_2 = I_3 \quad (1-8)$$

将上式改写成