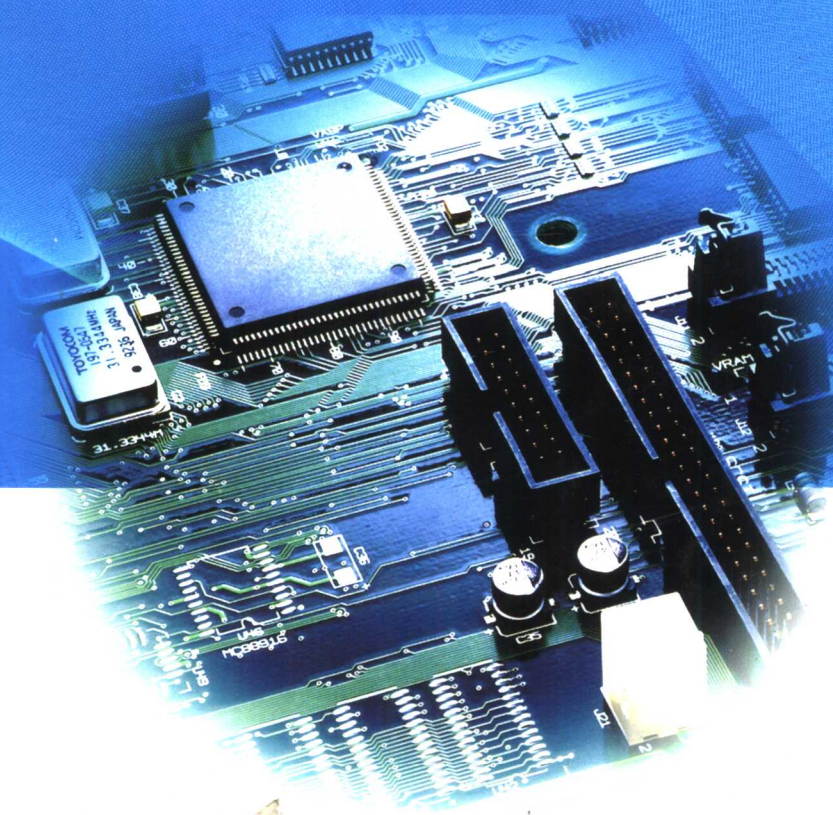


国家信息产业部电子人才“十一五”高职高专规划教材

电工电子技术 教程

王金旺 张洪润 编著

- ▶ 知识讲解
- ▶ 实用例题
- ▶ 上机实验



 科学出版社

电工电子技术教程

王金旺 张洪润 编著

科学出版社

内 容 提 要

本书是参照国家教育部“高等院校基础课程教学大纲”的要求而编写。全书从实用角度出发,结合电工电子技术发展的最新趋势,总结多年的教学经验,在内容安排上,精简了对分立元件的分析和过多的理论叙述,增加了集成电路应用方面的知识和实例,是一本有特色的教材。

全书共15章。内容包括直流电路、交流电路、变压器、电动机、继电器接触器控制、PC可编程序控制器,供电、输电、配电、安全用电,以及电工测量、半导体二极管、三极管、基本放大电路、集成运算放大器、正弦波振荡电路、数字逻辑组合电路、触发器和时序逻辑电路、模拟量与数字量转换电路等。为巩固所学知识,书末给出13个实验,供学校根据实际情况选用。各章末均有小结和习题,附录中附有习题参考答案。

本书深入浅出,通俗易懂,可作为高等职业教育、高等专科学校及成人高等教育电工电子技术课程的教材,也可作为高等学校非电类专业少学时电工电子技术课程的教材。

图书在版编目(CIP)数据

电工电子技术教程/王金旺,张洪润编著. — 北京:
科学出版社, 2007
ISBN 978-7-03-018523-5

I. 电… II. ①王… ②张… III. ①电工技术—教材,
②电子技术—教材 IV. TM TN

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第014378号

责任编辑: 成 洁 / 责任校对: 刘雪莲
责任印制: 科 海 / 封面设计: 刘冉阳

科 学 出 版 社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

北京科普瑞印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2007年3月第一版

开本: 787×1092 1/16

2007年3月第一次印刷

印张: 21.75

印数: 0001-4000

字数: 529 000

定价: 29.80 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前 言

一、电工电子技术的作用

电工电子技术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。

由于电能具有便于转换、输送和控制等突出的优点,因此它在工农业生产、国防建设和人们的日常生活中得到了广泛的应用。各个技术领域和每个科技人员都与电有着密切的联系,尤其在 21 世纪,由于电子技术和计算机技术的蓬勃发展,许多工程技术问题,如物理量的测量、数据的运算与处理、能量的转换和控制等,都广泛地采用了电子技术,它标志着科学技术进入了一个新的时代。同时,生产的需要又将推动测量技术、计算技术及自动控制技术的迅速发展。随着我国现代化建设的进行,各个技术部门都朝着电气化、自动化的方向迈进。因此,所有专业的工程技术人员和科研人员都必须掌握一定的电工与电子技术方面的知识,以便逐步掌握这些先进技术,从而适应科学技术的发展。

目前在房屋建筑、水利水电工程、桥梁、隧道等施工中,经常使用的起重机、皮带运输机、搅拌机以及电力排灌中使用的抽水机都是用电动机来驱动的,作为工程技术人员必须能够正确选择和使用这些设备;在建筑设计中还应全面地考虑配电系统的布局、照明的配置、建筑防雷、节约电能、安全用电,以及电梯、空调、光纤电视等先进设备的使用;此外,在进行工程结构的设计和研究中,为了验证设计理论、选定设计方案、鉴定工程质量和分析在使用中产生的问题,往往需要对工程结构进行静态和动态的实验。因此电测技术的应用日益增多。如动态应变仪是测量结构及材料在动载荷状况下变形的应力分析仪器,它除了测量动态应变外,如果配用相应的传感器,也可以测量压力、拉力、扭矩、位移、速度、加速度等物理量及其变化过程。由此可见,电工电子技术在现代科研和工程技术领域方面占有十分重要的地位。

二、学习电工电子技术课程的目的和方法

如前所述,电工技术在现代工农业生产中得到了极其广泛的应用。而各专业部门如何采用先进技术以改进工艺并不断地提高劳动生产率和产品质量,则是各专业工程技术人员需要研究的课题。因为先进技术常常和电工电子技术有着密切的联系,所以工程技术人员不仅要掌握本专业的知识,还要学习电工电子技术方面的相关知识。

学习电工电子技术的目的是:

1. 掌握工程技术人员必须具有的基本理论、基本知识和基本技能。
2. 为学习专业课程、从事工程技术工作和进一步钻研新技术打下基础。

这样,就可在工作中采用将所学专业 and 电工电子技术相结合的方法搞好生产和科研,以适应 21 世纪科技发展和建设的需要。

电工电子技术的内容很广泛,它的理论性和系统性也很强,如果课程的安排时间较少,

就会在学习中遇到对内容的理解不深刻、甚至出现前后混淆的问题。为了学好本课程，下面对学习方法的几点建议：

1. 上课时专心听讲并积极思考。
2. 课后及时复习并仔细阅读教科书，在弄清物理概念的基础上再去完成作业。
3. 每学完一个部分（例如电路、电机等）以后，可把学过的内容做一总结对比，找出它们之间的相互联系和本质区别。

此外，还必须认真地进行实验，通过实验可以使学到的理论知识得到验证和巩固，熟悉电气设备的使用和操作方法，掌握实验技能，培养分析问题和解决实际问题的能力。只要认真学习并注意改进自己的学习方法，是一定能够取得好的学习效果的。

三、本书特色

21 世纪，科学技术迅速发展，使高等教育的课程体系发生了许多深刻的变化。在教育部新的专业目录下，如何编写一本满足现代课程体系要求，适应当前人才培养需要，少学时的电工电子技术教材，是当前电工电子技术课程建设必须面对和急待解决的重要问题，我们正是基于这一考虑，遵照高等院校“十一五”双师技能型规划教材的体例要求，结合当前国内外电工电子技术最新发展趋势和教学、实践的需要，组织了大量有教学、科研经验的专家、教授，参照国家教育部“高等院校基础课程教学大纲”的要求，从“能够解决实际问题”的角度出发，精心编写了这本《电工电子技术教程》。

全书共 15 章。内容包括直流电路、交流电路、变压器、电动机、继电接触器控制、PC 可编程序控制器，供电、输电、配电、安全用电，以及电工测量、半导体二极管、三极管、基本放大电路、集成运算放大器、正弦波振荡电路、数字逻辑组合电路、触发器和时序逻辑电路、模拟量与数字量转换电路等。为巩固所学知识，书末给出 13 个实验，供学校根据实际情况选用。各章末均有小结和习题，附录中附有习题参考答案。

本书深入浅出，通俗易懂，可作为高等职业教育、高等专科学校及成人高等教育电工电子技术课程的教材，也可作为高等学校非电类专业少学时电工电子技术课程的教材。建议讲授 50~80 学时。

本书由王金旺、张洪润担任主编，负责全书的统稿和审校。参加编写的人员还有：邓洪敏、孙悦、张红、刘俊超、杨指南、田维北、张亚凡等。

本书在编写过程中，得到了四川大学、南京大学、清华大学、重庆大学、北京科技大学、复旦大学、四川师范大学、南开大学、西南交通大学、浙江大学、成都理工大学、电子科技大学等众多老师的支持，他们客观地提出了许多宝贵意见，北京科海电子出版社的夏非彼老师也给予了大力支持和帮助，在此，一并表示衷心的感谢。

限于时间和编者的水平，书中难免有不足和欠妥之处，敬请广大读者批评、指正。

编 者

2007 年 2 月

目 录

第 1 章 直流电路 (电路的计算和分析方法)	1
1.1 电路的组成	1
1.1.1 电源	1
1.1.2 负载	3
1.1.3 中间环节	3
1.2 电路中电位的计算	4
1.3 电路的状态	7
1.3.1 负载状态	7
1.3.2 空载 (开路) 状态	8
1.3.3 短路状态	8
1.4 克希荷夫定律	10
1.4.1 克希荷夫电流定律 (节点电流定律)	10
1.4.2 克希荷夫电压定律 (回路电压定律)	12
1.5 支路电流法	13
1.6 叠加原理	15
1.7 等效电压源定理 (戴维南定理)	18
1.8 电容器的充电与放电	21
1.8.1 电容的物理性质	21
1.8.2 电容器的充电过程	22
1.8.3 电容器的放电过程	23
1.9 RL 电路与直流电压的接通	25
1.9.1 电感的物理性质	25
1.9.2 RL 串联与直流电压的接通	26
1.9.3 短路放电	26
1.9.4 突然断开	27
本章小结	27
习题	29

第 2 章 正弦交流电路	32
2.1 交流电的基本概念	32
2.1.1 周期电压和电流	32
2.1.2 正弦电压和电流	33
2.1.3 正弦量的特征	33
2.1.4 正弦量的有效值	37
2.2 正弦量的矢量和复数表示法	39
2.2.1 正弦量的旋转矢量表示法	39
2.2.2 正弦量的复数表示法	42
2.3 单一参数的交流电路	45
2.3.1 纯电阻电路	45
2.3.2 纯电感电路	47
2.3.3 纯电容电路	50
2.4 RLC 串联交流电路	53
2.4.1 电流与电压的关系	53
2.4.2 电路的功率	55
2.4.3 串联谐振	56
2.5 负载并联的交流电路	60
2.5.1 电路的计算	60
2.5.2 并联谐振	61
2.5.3 复数运算举例	64
2.6 功率因数的提高	67
本章小结	69
习题	71
第 3 章 三相交流电路	75
3.1 三相电源	75
3.1.1 三相交流电的应用	75
3.1.2 三相电动势的产生及其表示法	75
3.1.3 三相电源的星形接法	77

3.1.4 三相电源的三角形接法.....	79	4.8.2 电流互感器	106
3.2 三相负载	79	4.9 电磁铁	107
3.2.1 负载的星形接法	79	4.10 电焊变压器	108
3.2.2 负载的三角形接法	84	本章小结	109
3.3 三相电流的功率及其测量	86	习题	110
3.3.1 三相电路的功率	86	第 5 章 电动机.....	111
3.3.2 三相有功功率的测量	88	5.1 三相异步电动机	111
本章小结	91	5.1.1 三相异步电动机的结构	111
习题	92	5.1.2 三相异步电动机的转动原理	112
第 4 章 磁路与变压器	94	5.1.3 三相异步电动机的电磁转矩 与机械特性	115
4.1 磁路概述	94	5.1.4 三相异步电动机的铭牌和技术 数据	118
4.1.1 磁场的基本物理量	94	5.1.5 三相异步电动机的选择	121
4.1.2 磁路的基本定律	95	5.1.6 三相异步电动机的起动和调速	123
4.1.3 直流磁路的工作特点	96	5.2 单相异步电动机	125
4.1.4 交流磁路的工作特点	96	5.3 直流电动机	127
4.2 变压器的基本结构	97	5.4 交直流通用电动机	128
4.2.1 铁芯	98	5.4.1 交直流通用电动机的工作原理	129
4.2.2 绕组	98	5.4.2 交直流通用电动机的使用	129
4.3 变压器工作原理	98	*5.5 步进电动机	129
4.3.1 空载运行	99	5.5.1 步进电动机的工作原理	129
4.3.2 负载运行	100	5.5.2 步进电动机的驱动电源	131
4.3.3 阻抗变换	102	本章小结	131
4.4 变压器绕组的极性	103	习题	134
4.4.1 绕组的极性与正确接线	103	第 6 章 继电接触器控制	133
4.4.2 同名端的测定方法	103	6.1 常用低压控制电器	133
4.5 三相变压器	103	6.1.1 闸刀开关	133
4.6 变压器的额定值	104	6.1.2 自动空气断路器	133
4.6.1 额定电压 U_{1N} 和 U_{2N}	104	6.1.3 交流接触器	134
4.6.2 额定电流 I_{1N} 和 I_{2N}	104	6.1.4 按钮	135
4.6.3 额定容量 S_N	105	6.1.5 热继电器	135
4.6.4 额定频率	105		
4.7 自耦变压器	105		
4.8 仪用互感器	105		
4.8.1 电压互感器	106		

6.1.6 时间继电器	135	第 8 章 供电、输电、配电与安全用电	158
6.1.7 行程开关	136	8.1 供电	158
6.1.8 熔断器	137	8.1.1 供电过程	158
6.1.9 漏电保护器	137	8.1.2 供电质量	159
6.2 三相异步电动机的继电器接触器控制	139	8.2 输电	159
6.2.1 三相异步电动机的直接起动控制电路	139	8.2.1 输电电压	159
6.2.2 三相异步电动机的正反转控制	140	8.2.2 输电功率	160
6.2.3 三相异步电动机的 Y- Δ 起动控制电路	141	8.3 配电	160
6.2.4 顺序控制电路	141	8.3.1 工厂供配电系统	160
6.2.5 行程控制电路	142	8.3.2 配电方式	160
本章小结	143	8.3.3 户内配电	160
习题	143	8.4 安全用电	161
*第 7 章 可编程序控制器	145	8.4.1 触电	161
7.1 PC 的特点与基本结构	145	8.4.2 接地和接地电阻	162
7.1.1 PC 的特点	145	8.4.3 保护接地	162
7.1.2 PC 控制系统的组成	146	8.4.4 保护接零	163
7.1.3 可编程序控制器的组成	147	8.4.5 重复接地	163
7.2 可编程序控制器的工作原理	149	8.4.6 工作零线和保护零线	163
7.2.1 输入采样阶段	149	8.5 节约用电	164
7.2.2 程序执行阶段	149	本章小结	165
7.2.3 输出刷新阶段	150	习题	165
7.3 PC 的编程语言	150	*第 9 章 电工测量	166
7.3.1 两种常用的编程语言	150	9.1 电工测量仪表的分类	166
7.3.2 PC 的基本指令	151	9.2 电工测量仪表的型式	168
7.4 可编程序控制器的应用举例	154	9.2.1 磁电式仪表	168
7.4.1 三相异步电动机直接起动控制	154	9.2.2 电磁式仪表	170
7.4.2 异步电动机的正反转控制	154	9.2.3 电动式仪表	171
7.4.3 异步电动机的 Y- Δ 起动控制	155	9.3 电流的测量	172
本章小结	156	9.4 电压的测量	173
习题	157	9.5 万用表	173
		9.5.1 磁电式万用表	173
		9.5.2 数字式万用表	175
		9.6 功率的测量	176

9.6.1 单相交流和直流功率的测量.....176	第 11 章 基本放大电路200
9.6.2 三相功率的测量177	11.1 共发射极放大电路的组成..... 200
9.7 兆欧表.....177	11.2 共发射极放大电路的分析..... 201
本章小结.....178	11.2.1 静态分析..... 201
习题.....178	11.2.2 动态分析..... 203
第 10 章 电子电路中常用的半导体元件..... 180	11.3 静态工作点的稳定..... 208
10.1 半导体二极管180	11.4 射极输出器 210
10.1.1 N 型和 P 型半导体180	11.4.1 静态分析..... 210
10.1.2 PN 结及其单向导电性181	11.4.2 动态分析..... 210
10.1.3 二极管的结构和符号.....181	11.5 放大电路中的负反馈..... 212
10.1.4 二极管的伏安特性181	11.5.1 什么是放大电路中的负反馈 213
10.1.5 二极管的主要参数182	11.5.2 负反馈的类型..... 213
10.1.6 二极管的整流作用182	11.5.3 负反馈对放大电路工作性能 的影响 215
10.1.7 滤波电路185	11.6 差分放大电路..... 218
10.2 稳压二极管187	11.6.1 静态分析..... 218
10.2.1 稳压管的伏安特性187	11.6.2 动态分析..... 219
10.2.2 稳压管的主要参数188	11.7 互补对称功率放大电路..... 221
10.2.3 稳压管稳压电路188	11.7.1 对功率放大电路的基本要求 221
10.3 特殊用途二极管189	11.7.2 互补对称放大电路..... 222
10.3.1 发光二极管189	*11.8 场效应管及其放大电路..... 223
10.3.2 光电二极管189	11.8.1 绝缘栅场效应管 224
10.3.3 变容二极管189	11.8.2 场效应管放大电路..... 226
10.4 半导体三极管190	本章小结 228
10.4.1 三极管的结构190	习题 229
10.4.2 三极管的电流放大作用.....191	第 12 章 集成运算放大器231
10.4.3 三极管的特性曲线191	12.1 集成运算放大器的概述..... 231
10.4.4 三极管的主要参数193	12.1.1 集成运算放大器的组成..... 231
10.5 场效应晶体管193	12.1.2 集成运算放大器的主要参数... 232
10.5.1 绝缘栅型场效应管的结构.....193	12.1.3 理想集成运算放大器..... 232
10.5.2 场效应管的工作原理.....194	12.2 集成运算放大器在信号运算方面 的应用..... 233
10.5.3 MOS 管的特性曲线.....196	
10.5.4 MOS 管的主要参数.....196	
本章小结196	
习题.....197	

12.2.1 比例运算	233	13.8.1 故障报警器	262
12.2.2 加法运算	235	13.8.2 卡片钥匙式电子锁	263
12.2.3 减法运算	235	13.8.3 水位检测电路	263
12.2.4 积分运算	236	本章小结	264
12.2.5 微分运算	236	习题	265
12.3 正弦信号产生电路	237	第 14 章 触发器和时序逻辑电路	267
12.3.1 正弦波振荡的条件	238	14.1 双稳态触发器	267
12.3.2 RC 正弦波振荡电路	238	14.1.1 双稳态触发器的基本性能	267
12.3.3 LC 振荡电路	239	14.1.2 基本 RS 触发器	267
本章小结	240	14.1.3 钟控 RS 触发器	268
习题	241	14.1.4 边沿触发器	269
第 13 章 门电路和组合逻辑电路	245	14.1.5 触发器逻辑功能的转换	271
13.1 集成基本门电路	245	14.2 寄存器与移位寄存器	271
13.1.1 或门电路	245	14.2.1 寄存器	271
13.1.2 与门电路	246	14.2.2 移位寄存器	272
13.1.3 非门电路	247	14.3 计数器	273
13.2 集成复合门电路	248	14.3.1 同步计数器	273
13.2.1 或非门电路	248	14.3.2 中规模集成计数器	275
13.2.2 与非门电路	249	14.4 集成 555 定时器的原理及应用	278
13.2.3 三态与非门	250	14.4.1 集成 555 定时器	278
13.3 组合逻辑电路的分析	251	14.4.2 用 555 定时器构成施密特 触发器	279
13.3.1 逻辑代数化简	251	14.4.3 555 定时器的应用举例	280
13.3.2 组合逻辑电路的分析	253	*14.5 应用举例	281
13.4 组合逻辑电路的设计	254	14.5.1 数字钟	281
13.4.1 半加器	255	14.5.2 四人抢答电路	282
13.4.2 全加器	255	本章小结	283
13.5 编码器	257	习题	284
13.6 译码器	258	*第 15 章 模拟量与数字量的转换	286
13.6.1 二进制译码器	258	15.1 数/模转换器 (D/A)	286
13.6.2 显示译码器	259	15.1.1 数/模转换器的工作原理	286
13.7 数据分配器和数据选择器	261	15.1.2 数/模转换器的类型	289
13.7.1 数据分配器	261	15.1.3 数/模转换器的主要参数	289
13.7.2 数据选择器	261	15.2 模/数转换器 (A/D)	290
*13.8 应用举例	262		

15.2.1 模/数转换器的工作原理	290	实验 8 PC 可编程控制器的基本操作	
15.2.2 模/数转换器的类型	294	实验	310
15.2.3 模/数转换器的主要参数	294	实验 9 PC 可编程控制器的三相异步	
15.2.4 选择 A/D 或 D/A 转换器时		电动机正、反转控制实验	312
应注意的问题	295	实验 10 基本放大电路的测试	313
本章小结	295	实验 11 集成运放的简单应用设计与	
习题	296	测试	315
实验	297	实验 12 整流、滤波、稳压电路的安装	
实验守则	297	测试	316
实验 1 元件参数及性能的测定	298	实验 13 组合逻辑电路的设计与测试	318
实验 2 叠加原理和基尔霍夫定律的验证		附录 1 可编程序控制器简介	323
.....	299	附录 2 电阻电容标注及半导体集成器件	
实验 3 戴维南定理的测试	301	命名方法	326
实验 4 单相交流电路功率因数的提高		附录 3 常用半导体器件参数	329
.....	304	附录 4 常用电机与电器的图形符号 ...	334
实验 5 三相交流电路的测试	306	参考答案	335
实验 6 三相异步电动机正、反转继电		参考文献	338
接触器控制实验	307		
实验 7 三相异步电动机综合实验	309		

第1章 直 流 电 路

(电路的计算和分析方法)

【学习目的和要求】

通过本章的学习，应了解电路的组成，电路的状态，电路分析计算常用的几个基本定律以及电感电容在电路中的物理特性；掌握电路的计算和分析方法。

目前使用的电气设备种类繁多，但绝大部分的设备仍是由各式各样的基本电路组成的。因此，掌握电路的分析和计算方法是十分重要的，它是我们进一步学习电机、电器和电子技术的共同基础。

本章通过直流电路介绍电气工程上常用的分析和计算方法，同时对电感和电容这两个基本电路参数做必要的讨论。值得指出的是，本章虽然讲的是直流电路，但这些基本规律和分析方法只要稍加扩展，对于交流电路也是适用的。

1.1 电路的组成

电路就是电流通过的路径。电路按其用途不同，可分为复杂电路和简单电路。但不管电路有多复杂或有多简单，就其在电路中的作用来说都可归纳为如下三个组成部分，即：电源、负载以及连接电源和负载的中间环节。图 1-1 所示为最常见的手电筒电路，其中干电池即为电源，灯泡为负载，中间环节包括开关和连接导线。

对于电源来说，由负载和中间环节组成的电路称为外电路，电路内部的电流通路则称为内电路。

1.1.1 电源

电源是一种将非电能转换成电能的装置。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成直流电并在一定范围内保持输出电压稳定的一种装置。

在分析和计算电路时，通常总是将实际电路（例如图 1-1）画成图 1-2 所示的电路图。在这个电路图中，电动势 E 和内阻 R_0 为电源部分，电路工作时，它将对外输出电压 U ，所以也叫做电压源。

从物理学中我们知道：电动势的方向在电源内部为从低

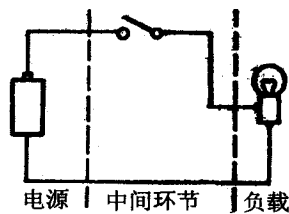


图 1-1 手电筒电路

电位(负极)指向高电位,即电位升的方向;电源端电压的方向为从高电位指向低电位,即电位降的方向,如图 1-2 所示。当开关 K 闭合时,根据全电路欧姆定律可得电流

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

其方向在外电路中从高电位通过负载流向低电位,在电源内部则是从低电位流向高电位。

由式(1-1)得:

$$IR + IR_0 = E$$

上式中 IR 为负载 R 两端的电压,在不考虑连接导线电阻的情况下等于电源的端电压 U ,即电源的端电压在带负载的情况下,等于电源电动势减去其内阻压降。显然,如果负载变化(R 值改变),电源的端电压将随之变化。通常将电源的端电压 U 与电流 I 的关系 $U=f(I)$ 叫做电源的外特性或伏安特性。内阻 R_0 一定时的电源外特性如图 1-3 所示。

$$U = E - IR_0 \quad (1-2)$$

当电源不带负载时($I=0$),输出电压 U 在数值上等于电源电动势 E ;随着负载的增加(I 加大),输出电压将随之下降。

由式(1-2)可以看出,当输出电流变化时,电源内阻 R_0 愈小,则输出电压的变化也愈小。在理想情况下,若电源的内阻 $R_0=0$,则不管负载如何变化,电压源将输出恒定电压,其值为

$$U = E \quad (1-3)$$

这样的电压源称为理想电压源或恒压源。恒压源有两个基本性质:

- (1) 它的端电压为恒定值 V 或给定的时间函数 $u(t)$,与流过它的电流无关;
- (2) 它的输出电流不是由电压源本身确定的,而是由电压源以及与其相连接的外电路一起确定。

虽然,恒压源实际上并不存在,但在分析电路时恒压源却是很理想的模型。因为所有实际电源都可表示为恒压源 E (或 V) 与内阻 R_0 相串联的组合。而当内阻 R_0 较外电路电阻小得多时,即可将这样的电压源近似地看作为恒压源,以利于简化计算。

电压源的极性常用正方向标出。所谓正方向,是人们在计算和分析电路时任意选定的方向,它不一定要与实际方向一致。当电压源的实际极性已知时,常用实际极性作为正方向;当实际极性未知时,则可以任意假定一个正方向。这样,当电动势或电压的实际方向与所标正方向一致时,其值为正;当实际方向与所标正方向相反时,其值为负。因此,在正方向已规定的情况下,电动势或电压的值可为正,也可为负。

下面讨论电源的功率。若将式(1-2)等号两边同乘以电流 I , 则得:

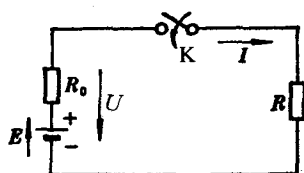


图 1-2 图 1-1 的电路图

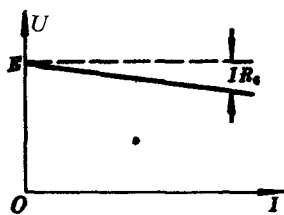


图 1-3 电压源的外特性

$$UI = EI - I^2 R_0 \quad (1-4)$$

这就是读者在物理学中熟知的功率表达式，即负载取用的功率（ UI ）等于电源产生的电功率（ EI ）减去电源内部的功率消耗（ $I^2 R_0$ ）。

对于电源来说，由图 1-2 可见，电动势 E 的方向和电流 I 的方向是一致的，这时 EI 为正，表示电源发出功率。如果流经电源的电流和电动势的方向相反，如图 1-4 所示，电源则吸收功率，处于负载状态，例如蓄电池就是这种情况。

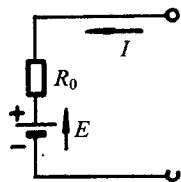


图 1-4 电源处于负载状态

1.1.2 负载

负载即用电设备，它是取用电能的装置，其作用是将电能转换为其他形式的能量（如机械能、热能、光能等）为人们所用。常见的电灯、电动机、电炉、扬声器等都是电路中的负载。

负载的大小是以单位时间内耗电量的多少来衡量的。由于电路中的负载都表现出一定的电阻，所以当电源电压一定时，电阻大的负载所取用的电流较小，因此消耗的功率也较小；反之，负载的电阻越小，则消耗的功率越大。

1.1.3 中间环节

中间环节起传递、分配和控制电能的作用。最简单的中间环节就是开关和连接导线（如图 1-1），一般还有保护和测量装置；更为复杂的中间环节可能是由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。

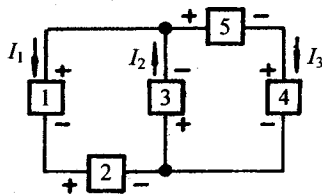
【例 1-1】 在图 1-5 (a) 所示电路中，方框表示电源或负载。各电压和电流的正方向如图中所示，今通过测量得知： $I_1=2$ 安， $I_2=1$ 安， $I_3=-1$ 安， $U_1=-4$ 伏， $U_2=8$ 伏， $U_3=-4$ 伏， $U_4=7$ 伏， $U_5=-3$ 伏。

- (1) 试标出各电流和电压的实际方向和极性；
- (2) 判断哪些是电源？哪些是负载？并计算其功率。

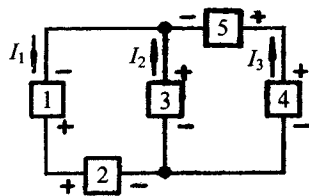
解：

(1) 测量结果表明，凡电流和电压为正值者，其实际方向和极性同图 (a) 中所给出的正方向一致；凡电流和电压为负值者，其实际方向和极性同图 (a) 所给正方向相反。按照上述原则，得到各电流的实际方向和电压的实际极性如图 (b) 所示。不难理解，如按照图 (b) 的实际方向和极性去测量，则所有各电流和电压均应为正值。

(2) 将图 1-5 (b) 所示电流的实际方向和电压的实际极性结合起来考虑，即可判别电源和负载。例如：方框 1 的电压极性为上负下正，电流 I_1 从低电位通过方框内部流向高电位，故方框 1 为电源。同理，方框 3 和方框 4 也为电源。而通过方框 2 的电流 I_1 和通过方框 5 的电流 I_3 都是由高电



(a) 电流与电压的正方向



(b) 电流与电压的实际方向

图 1-5 例 1-1 的电路图

位经方框内部流向低电位, 故方框 2 和方框 5 为负载。

(3) 对于电源 1、3、4, 它们发出的功率分别为:

$$P_1 = E_1 I_1 = 4 \times 2 = 8 \text{ W}; P_3 = E_3 I_2 = 4 \times 1 = 4 \text{ W}; P_4 = E_4 I_3 = 7 \times 1 = 7 \text{ W}$$

对于负载 2、5, 它们消耗的功率分别为:

$$P_2 = U_2 I_1 = 8 \times 2 = 16 \text{ W}; P_5 = U_5 I_3 = 3 \times 1 = 3 \text{ W}$$

由上面的计算得:

$$P_1 + P_3 + P_4 = 8 + 4 + 7 = 19 \text{ W}; P_2 + P_5 = 16 + 3 = 19 \text{ W}$$

可见在一个电路中, 电源提供的功率与负载消耗的功率总是平衡的。

1.2 电路中电位的计算

在分析和计算电路时, 特别在电子线路中, 较少使用电压而普遍使用电位来讨论问题。

下面以图 1-6 所示电路为例来说明电路中各点电位的计算方法。

图中电动势 E_1 和 E_2 , 其内阻分别为 R_{01} 和 R_{02} ; R_1 和 R_2 为两个电阻元件。设电动势 E_1 大于 E_2 , 则在这种情况下, 根据全电路欧姆定律, 求得电路的电流为:

$$I = \frac{E_1 - E_2}{R_1 + R_{01} + R_2 + R_{02}} \quad (1-5)$$

其方向与电动势 E_1 一致, 如图 1-6 所示。

为了确定电路中各点的电位, 必须选定一个零电位点作为参考点。现以 a 点作为参考点, 即 a 点的电位 $V_a = 0$, 则其余各点的电位可分别推算如下:

b 点的电位低于 a 点的电位 (因为电流 I 从 a 通过电阻流向 b), 其值为

$$V_b = V_a - IR_1 = -IR_1$$

由于电动势 E_1 的作用, 使 c' 点的电位相对于 b 点升高了一个值 E_1 , 故

$$V_{c'} = V_b + E_1 = -IR_1 + E_1$$

当电流通过内阻 R_{01} 时, 使 c 点的电位低于 c' 点, 其值为

$$V_c = V_{c'} - IR_{01} = -IR_1 + E_1 - IR_{01}$$

d 点的电位应从 c 点的电位减去 IR_2 , 即

$$V_d = V_c - IR_2 = -IR_1 + E_1 - IR_{01} - IR_2$$

根据电动势 E_2 的方向, d' 点的电位相对于 d 点下降了 E_2 , 故

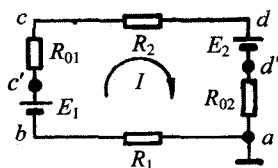


图 1-6 电位计算例图

$$V_{d'} = V_d - E_2 = -IR_1 + E_1 - IR_{01} - IR_2 - E_2$$

a 点的电位比 d' 点的电位低 IR_{02} ，故 a 点的电位为

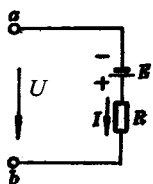
$$V_a = V_{d'} - IR_{02} = -IR_1 + E_1 - IR_{01} - IR_2 - E_2 - IR_{02}$$

因为 $V_a = 0$ ，因此有：

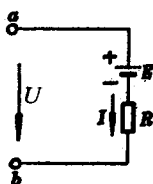
$$-IR_1 + E_1 - IR_{01} - IR_2 - E_2 - IR_{02} = 0$$

将上式进行移项整理，即可得到式 (1-5)。可见上面的推算是正确的。

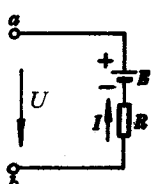
【例 1-2】 图 1-7 所示的电路，电动势 E 、电流 I 和外加电压 U 的正方向均标在图中，令 b 点的电位为零，分别求 a 点的电位并导出电流的一般计算式。



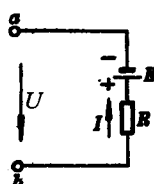
(a) $V_a = -E + IR$



(b) $V_a = E + IR$



(c) $V_a = E - IR$



(d) $V_a = -E - IR$

图 1-7 有源支路的欧姆定律

解：对于图 (a)，根据电动势和电流的正方向，电动势使 a 点的电位比 b 点低 E ，而电流通过电阻使 a 点的电位比 b 点高 IR ，故

$$V_a = -E + IR \quad (1-6)$$

同理，可以写出图 (b)、(c)、(d) 三种情况 a 点的电位如下：

$$\text{图 (b)} \quad V_a = E + IR \quad (1-7)$$

$$\text{图 (c)} \quad V_a = E - IR \quad (1-8)$$

$$\text{图 (d)} \quad V_a = -E - IR \quad (1-9)$$

从物理学中我们知道，如果在电路中指定了零电位点，则另一点的电位就是该点对零电位点的电压。在这个例题中，指定了 b 点为零电位点，因此，对于图 (a)、(b)、(c)、(d) 均有

$$V_a = U \quad (1-10)$$

将 $V_a = U$ 分别代入上列各式，则：

$$\text{由式 (1-6) 得} \quad I = \frac{U + E}{R}$$

$$\text{由式 (1-7) 得} \quad I = \frac{U - E}{R}$$

$$\text{由式 (1-8) 得} \quad I = \frac{-U + E}{R}$$

由式 (1-9) 得

$$I = \frac{-U - E}{R}$$

归纳上述四种情况, 可得电流的一般表达式为

$$I = \frac{\pm U \pm E}{R} \quad (1-11)$$

式 (1-11) 即为有源支路欧姆定律的数学表达式。式中电压与电流的正负号对照图 1-7 可以归纳如下:

电压和电动势的正方向与电流的正方向一致时取正号, 相反时取负号。

【例 1-3】 分别求图 1-8 (a) 所示电路中的开关 K 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 1-8 (a) 那样分别表示。

当开关 K 断开和接通时, 其电路分别如图 1-8 (b)、(c) 所示。

(1) K 断开时, 由图 (b) 求 a 点的电位

根据电动势 E_1 和 E_2 的正方向, 电流 I 的正方向如图 (b) 所示。其值为

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

沿电动势 E_2 和 27 千欧电阻这条路径求 a 点的电位, 得

$$V_a = 12 - 27 \times 10^3 \times 0.745 \times 10^{-3} = -8.1 \text{ V}$$

若沿电动势 E_1 、1.3 千欧电阻和 3.9 千欧电阻这条路径求 a 点的电位, 同样可得

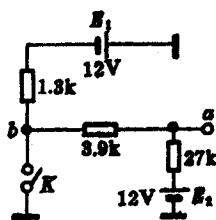
$$V_a = -12 + (1.3 + 3.9) \times 10^3 \times 0.745 \times 10^{-3} = -8.1 \text{ V}$$

可见, 对于同一个参考点, 电路中任一点的电位都为一定值, 而与计算时所选择的路径无关。

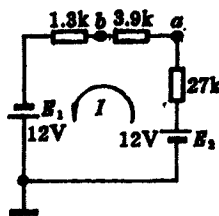
(2) K 接通时, 由图 (c) 求 a 点的电位

这时 b 点变成了零电位点, 电路形成了两个彼此无关的回路, a 点的电位只与右边回路的电流有关, 这个电流的数值为

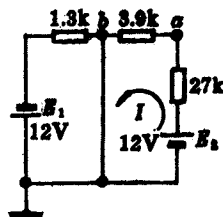
$$I = \frac{12}{(27 + 3.9) \times 10^3} = 0.39 \times 10^{-3} \text{ A}$$



(a) 例 1-3 电路图



(b) 开关 K 断开



(c) 开关 K 接通

图 1-8 例 1-3 中的电路图