



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

电 工 学

■ 刘国林 主编



高等教育出版社
Higher Education Press



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

电 工 学

■ 刘国林 主编



高等教育出版社
Higher Education Press

内容简介

本书为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。

全书共 18 章,内容包括直流电路、正弦交流电路、三相交流电路、瞬态电路、半导体器件、基本放大电路、集成运算放大电路、功率电子电路、组合逻辑电路、时序逻辑电路、半导体存储器、模拟信号与数字信号的相互转换、测试技术、电磁设备、电气自动控制、计算机控制技术、低压配电系统和实验。每章选用的例题和实验大部分来自工程实际,使读者在学习过程中,对电工学在其他学科方面的应用有一个初步了解。本书配备的电子教案(参阅中国高校电工电子课程网,<http://ee.cncourse.com/electron/index#>),内容丰富、直观生动,有助读者在较短时间内理解并掌握书中内容。

本书力求概念准确、内容新颖、语言流畅、可读性强,既注重对基本原理进行必要的讲解,又力求突出工程上的实用性。可作为高等院校非电类专业电工学(少学时)的教材,也可作为普通高等职业院校非电类专业电工学的教材(标以“△”、“*”号的内容除外),还可供工程技术人员自学。

图书在版编目(CIP)数据

电工学/刘国林主编. —北京:高等教育出版社,
2007.6

ISBN 978 - 7 - 04 - 021274 - 7

I. 电… II. 刘… III. 电工学 - 高等学校 - 教材

IV. TM1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 049101 号

策划编辑 金春英 责任编辑 曲文利 封面设计 于文燕 责任绘图 尹 莉
版式设计 余 杨 责任校对 俞声佳 责任印制 陈伟光

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100011
总 机 010-58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 涿州市星河印刷有限公司

开 本 787 × 1092 1/16
印 张 26
字 数 630 000

购书热线 010-58581118
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landraco.com>
<http://www.landraco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2007 年 6 月第 1 版
印 次 2007 年 6 月第 1 次印刷
定 价 29.70 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 21274-00

前 言

本书以教育部高等学校电子电气基础课程教学指导分委员会 2004 年 8 月修订的《电工学教学基本要求》为基础,精选经典内容,适当增加现行工程中广泛采用的新技术、新工艺、新产品等方面的内容,强调电气设备和工程安全,力求使本书成为适应工程教育需要的电工学教材。本书主要特色如下:

1. 精选内容。介绍电工电子技术的基本概念、基本理论、基本分析和计算方法。在阐明物理概念和基本定律的前提下,采用工程近似方法进行计算,略去一些不必要的数学推导。例如把变压器、电动机等作为一个元件,侧重讲它们的外特性。

2. 推陈出新。本书所讲述的内容,大多是近十年来国内外工程中广泛采用的新技术、新工艺、新材料和新设备等,力图反映 20 世纪 90 年代以来国内外工程界与学术界在电工学方面所取得的最新成果,学以致用。

(1) 反映近代电力电子技术的发展,例如绝缘栅双极晶体管以及变流电路等内容。

(2) 非电量测试在现代工业中显得越来越重要,本书从系统的基本组成出发,介绍了传感器、信号处理和信号的输出等单元电路。

(3) 20 世纪 50 年代,由于我国铜材紧张,变压器绕组采用铝线,变压器一次侧大多采用星形联结。20 世纪 80 年代以来,变压器绕组采用铜线,变压器一次侧大多采用三角形联结。20 世纪 90 年代以来,变压器导磁材料采用非晶合金,铁心无接缝一次卷绕,心柱横截面呈近似纯圆形,大大减少了空载损耗和空载电流,它的空载损耗值与同容量的硅钢片变压器相比,可降低 75%。而且配电变压器联结组别推荐采用 Dyn11,降低了 3 次及以上的高次谐波励磁电流。

配电变压器嵌装传感器和加装智能终端,可实现远距离检测其参数。

(4) 异步电动机的起动和调速,除了介绍传统的降压起动方式(如 Y- Δ 换接、自耦变压器起动等)和变极调速外,还增加了采用电子技术的变频调速(VVVF)等新技术。

(5) 随着电子技术、计算机技术和通信技术的发展,我国于 20 世纪 90 年代开始淘汰第一代产品低压电器,限制使用第二代产品,逐步采用第三代产品。第三代产品具有模块化、智能化和网络化的特点,直接与计算机组成监控系统。

(6) 用信息技术改造传统工业,推进机电一体化,提高信息采集、传输和利用的能力,是我国加快实现工业化和现代化的必然选择。本书有机地结合电工、电子设备和电气控制系统介绍数据通信、计算机网络、现场总线控制系统以及 Modbus 协议等基本知识。

3. 强调安全。本书按照现行的国家标准规范和国际电工委员会(IEC)有关标准,在制造电工、电子设备时要以人为本,在工程设计和施工中,应保证人身安全。

(1) 在多数场合,低压配电系统采用中性点直接接地方式即 TN 系统,当控制回路发生接地故障时,应避免保护和控制被大地短路,造成电动机意外起动或不能停车。因此,《通用用电设备配电设计规范》GB50055—1993 规定,电动机一般在控制回路中应装隔离电器(用于安全检修)和短路保护电器。控制电压采用 220 V,不宜采用 380 V。电气控制图按工程施工图常规画

法,让学生在 学习理论的同时能熟悉一些工程施工图。

(2) 在三相四线制供电系统中,中性线必须连接牢固,不允许单独串接熔断器或装断路器(开关)。

4. 突出应用。本书所选的例题和实验,大部分来自工程实际。这有助于读者阅读电工电子线路图,设计电工电子工程方案,绘制电工电子施工图,查阅电工产品手册(资料),掌握按照不同材料的性能指标和施工工艺进行施工的方法,熟练使用测试仪器仪表,提高学生实际工作技能。

5. 学习基本理论和标准相结合。标准是衡量事物的准则。本书力求把现行的国家标准规范和 IEC 有关标准有机地结合到相应章节之中,帮助学生在 学习基本理论的同时,了解电工、电子领域的标准及应用。学会查阅这些标准,为继续学习与本专业有关的工程技术、从事与本专业有关的科学研究等打下一定的基础。

6. 以学生为中心。制作多媒体教案,把教师从技术基础课呆板的课堂教学中解放出来,帮助学生理解、消化理论知识,激发学生的学习积极性与创新意识。通过多媒体教学及实训,让师生有机地结合,做到教学互动,给技术基础课的教学注入新的活力。

本书适用于电工学(电工与电子技术)课程 48~64 学时的授课。由于各专业对电工学的要求不一,为了使本书具有灵活性,将本书内容分为三类:

(1) 基本内容:

为教学基本要求所规定的内容。基本教学计划为 32 学时。

(2) 非共同性基本内容(标以“△”号):

视学时的多少和学生的实际情况由教师选讲。

(3) 参考内容(标以“*”号):

一般指加深加宽内容,可在教师指导下让学生通过自学掌握,不必全在课堂讲授。

实验共有 13 个,每个实验 3 学时,教师可视实际情况选做。

本书的学习辅导与习题全解以及更新内容和工程实例,读者可以到“中国高校电工电子课程网”(http://ee.cncourse.com/electron/index)查阅。

本书由多年从事电工学教学的教师以及科研人员、设计人员和施工人员集体讨论编写大纲,吸取了相关教材好的编写经验。刘国林任主编,方潜生、蒋中、杜宇人任副主编,参加编写的人员有王旭、陈杰、潘亚林、江庆、包世应、吴沛然、钟小芳等。参加文字录入和部分绘图的有汪瑞玲、汪芮、刘国新、刘祥宇。东华工程科技股份有限公司(化工部第三设计院)教授级高级工程师唐海洋等修改了本书大部分内容。

本书由华南理工大学殷瑞祥教授审稿,提出了许多中肯的修改意见,在此表示由衷感谢。

由于水平有限,教材中错误和不妥之处在所难免,殷切期望使用本书的师生和其他读者给予批评指正。

编者

2006 年 12 月

目 录

绪论	1	2.4 正弦交流电路的计算	46
第1章 直流电路	4	2.5 交流电路的功率	49
1.1 电路的基本概念	4	2.5.1 交流电路的瞬时功率	49
1.1.1 电路模型	4	2.5.2 交流电路的功率因数的提高	50
1.1.2 电路的基本物理量	5	2.6 电路谐振	52
1.2 电路的基本状态	8	2.6.1 串联谐振	52
1.2.1 有载状态	8	2.6.2 并联谐振	53
1.2.2 开路状态	9	*2.7 非正弦周期信号电路	55
1.2.3 短路状态	10	2.7.1 谐波分析的基本方法	55
1.3 电源及其等效变换	11	2.7.2 非正弦周期量的最大值、平均值和有 效值	56
1.3.1 电压源	11	2.7.3 非正弦周期信号线性电路计算	57
1.3.2 电流源	11	练习题	58
△1.3.3 实际电源模型及其等效变换	12	第3章 三相交流电路	62
1.4 基尔霍夫定律	15	3.1 三相电源	62
1.4.1 基尔霍夫电流定律	16	3.2 三相电路的计算	64
1.4.2 基尔霍夫电压定律	17	3.2.1 三相负载的星形联结	64
1.5 支路电流法	19	△3.2.2 三相负载的三角形联结	65
1.6 叠加定理	20	3.3 三相功率	67
1.7 戴维宁定理	22	练习题	69
*1.8 非线性电阻电路	25	△第4章 瞬态电路	71
1.8.1 非线性电阻电路的图解分析方法	25	4.1 电路换路基本概念	71
1.8.2 非线性电阻电路等效参数	25	4.2 RC 串联电路的瞬态分析	73
练习题	27	4.3 RL 串联电路的瞬态分析	75
第2章 正弦交流电路	33	练习题	77
2.1 正弦交流电的基本概念	33	第5章 半导体器件	79
2.1.1 正弦交流电的角频率	33	5.1 二极管	79
2.1.2 正弦交流电的初相位	34	5.1.1 PN 结及其单向导电性	79
2.1.3 正弦交流电的有效值	34	5.1.2 二极管的特性和主要参数	80
2.2 正弦量的相量表示法	35	5.1.3 稳压二极管	82
2.3 单一参数的正弦交流电路	38	5.2 晶体管	83
2.3.1 电阻电路	38	5.2.1 晶体管的基本结构	83
2.3.2 电感电路	40	5.2.2 晶体管的工作原理	84
2.3.3 电容电路	42		

5.2.3 晶体管的特性曲线	85	7.2.1 反馈的基本概念	126
5.2.4 晶体管的主要参数	87	7.2.2 电路反馈的判断	127
Δ 5.3 场效晶体管	88	7.2.3 负反馈对放大电路性能的影响	129
5.3.1 场效晶体管的基本结构	88	7.3 基本运算电路	132
5.3.2 场效晶体管的基本工作原理	89	7.3.1 比例运算	133
5.3.3 场效晶体管的特性和主要参数	90	7.3.2 加法运算	134
*5.4 光电器件	92	7.3.3 减法运算	136
5.4.1 发光二极管	92	7.3.4 积分运算	137
5.4.2 光电耦合器	92	Δ 7.3.5 微分运算	137
练习题	94	7.4 电压比较器	138
第6章 基本放大电路	97	7.4.1 单限电压比较器	139
6.1 共发射极放大电路	97	*7.4.2 滞回电压比较器	140
6.1.1 电路的基本结构	97	Δ 7.5 正弦波振荡电路	141
6.1.2 放大电路的静态分析	98	7.5.1 自激振荡	142
6.1.3 放大电路的动态分析	100	7.5.2 RC 正弦波振荡电路	142
6.1.4 静态工作点的稳定	105	*7.6 有源滤波器	143
Δ 6.2 共集电极放大电路	108	7.6.1 有源低通滤波器	144
6.2.1 电路的基本结构	108	7.6.2 有源高通滤波器	145
6.2.2 电路的静态分析	109	练习题	146
6.2.3 电路的动态分析	109	第8章 功率电子电路	151
Δ 6.3 场效晶体管放大电路	110	Δ 8.1 低频功率放大电路	151
6.3.1 电路的静态分析	111	8.1.1 低频功率放大电路概述	151
6.3.2 电路的动态分析	111	8.1.2 基本功率放大电路	152
Δ 6.4 多级放大电路	113	8.1.3 集成功率放大器	153
6.4.1 多级放大电路耦合方式	113	8.2 直流稳压电源	154
6.4.2 多级放大电路分析	113	8.2.1 整流电路	154
*6.5 差分放大电路	115	8.2.2 滤波器	156
6.5.1 电路的基本结构	115	8.2.3 直流稳压电源	158
6.5.2 电路分析	115	8.3 电力电子技术	161
练习题	118	Δ 8.3.1 普通晶闸管	162
第7章 集成运算放大电路	122	*8.3.2 双向晶闸管	164
7.1 运算放大器的基本概念	122	*8.3.3 可关断晶闸管	164
7.1.1 运算放大器的组成	122	*8.3.4 可控整流电路	165
7.1.2 运算放大器的主要技术参数	123	Δ 8.3.5 绝缘栅双极晶体管	166
7.1.3 运算放大器的分析方法	124	练习题	168
7.1.4 运算放大器的电压传输特性	125	第9章 组合逻辑电路	171
*7.1.5 使用运算放大器应注意的几个问题	126	9.1 门电路	171
7.2 放大电路反馈	126	9.1.1 基本门电路	171
		9.1.2 复合门电路	174

[△] 9.1.3 门电路接口	178	11.3.3 可编程阵列逻辑	224
9.2 组合逻辑电路的分析	179	练习题	224
9.2.1 逻辑代数及其运算法则	179	第12章 模拟信号与数字信号的相互	
9.2.2 组合逻辑电路的分析	180	转换	226
9.3 加法器	183	[△] 12.1 D/A 转换器	226
9.3.1 数制	183	12.1.1 电阻网络 D/A 转换器	226
9.3.2 半加器	184	12.1.2 D/A 转换器的主要技术指标	228
[△] 9.3.3 全加器	184	12.2 A/D 转换器	229
9.4 编码器	186	[△] 12.2.1 A/D 转换的基本原理	229
9.4.1 编码	186	[△] 12.2.2 逐次逼近型 A/D 转换器	233
9.4.2 编码器	186	*12.2.3 双积分型 A/D 转换器	234
9.5 译码器和数字显示	187	[△] 12.2.4 A/D 转换器的主要技术指标	235
9.5.1 二进制译码器	188	练习题	236
9.5.2 数字显示	189	第13章 测试技术	237
练习题	191	13.1 测量基础	237
第10章 时序逻辑电路	195	13.1.1 测量误差	237
10.1 触发器	195	[△] 13.1.2 测量结果的处理	238
10.1.1 RS 触发器	195	13.2 基本电量测量	240
10.1.2 JK 触发器	198	13.2.1 常用电工测量仪表的分类	240
[△] 10.1.3 D 触发器	201	13.2.2 基本电量测量	241
10.2 寄存器	203	13.3 非电量测试	245
10.2.1 数码寄存器	203	[△] 13.3.1 非电量测试系统的组成	245
10.2.2 移位寄存器	204	[△] 13.3.2 被测信号获取	245
10.3 计数器	205	[△] 13.3.3 信号处理	248
10.3.1 二进制计数器	205	[△] 13.3.4 信号输出	252
10.3.2 十进制计数器	207	*13.3.5 检测仪表的检定	252
*10.4 定时器及其应用	210	练习题	252
10.4.1 555 定时器	210	第14章 电磁设备	254
10.4.2 单稳态触发器	211	14.1 磁路	254
10.4.3 多谐振荡器	213	[△] 14.1.1 磁路的基本物理量	254
练习题	214	*14.1.2 磁性能	255
第11章 半导体存储器	218	14.1.3 磁路分析	259
[△] 11.1 只读存储器	218	14.2 变压器	260
*11.2 随机存取存储器	219	14.2.1 变压器的基本结构	261
11.2.1 基本存储单元	220	14.2.2 变压器的工作原理	261
11.2.2 RAM 的基本结构	220	14.2.3 三相变压器	265
*11.3 可编程逻辑器件	221	[△] 14.2.4 变压器特性	266
11.3.1 可编程只读存储器	222	14.2.5 变压器技术参数	267
11.3.2 可编程逻辑阵列	223	[△] 14.2.6 特殊变压器	270

14.3 异步电动机	273	16.2.2 网络协议	324
14.3.1 三相异步电动机的工作原理	273	16.2.3 网络连接	326
[△] 14.3.2 三相异步电动机的特性	277	16.2.4 局域网	327
14.3.3 三相异步电动机的技术参数	279	[△] 16.3 现场总线控制系统	329
[△] 14.3.4 单相异步电动机	281	16.3.1 CAN(控制器区域网络)	329
[△] 14.4 直流电动机	283	16.3.2 LON(局部操作网络)	330
14.4.1 直流电动机的基本工作原理	283	[△] 16.4 Modbus 协议	331
14.4.2 直流电动机的技术参数	285	[△] 16.5 可编程控制器	333
*14.5 控制电动机	285	16.5.1 可编程控制器概述	334
14.5.1 步进电动机	285	16.5.2 可编程控制器的工作原理	335
14.5.2 伺服电动机	287	练习题	338
练习题	289	第17章 低压配电系统	339
第15章 电气控制技术	292	*17.1 电力系统概述	339
15.1 常用低压电器	292	17.2 低压配电系统	340
15.1.1 低压电器概述	292	[△] 17.2.1 低压配电方式	340
15.1.2 熔断器	293	[△] 17.2.2 配电箱(柜)	341
15.1.3 低压断路器	295	[△] 17.2.3 低压线路敷设方式	342
15.1.4 按钮	297	*17.2.4 电缆的选择	342
15.1.5 接触器	298	17.3 低压配电安全	346
15.1.6 热继电器	299	[△] 17.3.1 电流对人体的危害	346
[△] 15.1.7 行程开关	300	17.3.2 电击方式	346
[△] 15.1.8 时间继电器	301	17.3.3 接地	347
15.2 电气控制电路	302	17.3.4 防雷	348
15.2.1 异步电动机的直接起动控制电路	302	17.3.5 防静电	348
[△] 15.2.2 异步电动机的降压起动控制电路	307	[△] 17.4 电气工程图识读	349
[△] 15.2.3 电气控制回路应注意的问题	309	17.4.1 阅读电气工程图的基本知识	349
15.3 异步电动机调速	311	17.4.2 建筑电气工程图	350
*15.3.1 改变磁极对数调速	311	17.4.3 动力工程图	354
*15.3.2 改变转差率调速	311	练习题	357
[△] 15.3.3 改变电源频率调速	312	第18章 实验	359
[△] 15.3.4 电动机的制动	313	实验1 基尔霍夫定律	360
[△] 15.4 电动机的选择	315	实验2 戴维宁定理	363
练习题	316	[△] 实验3 荧光灯电路及功率因数的改进	364
第16章 计算机控制技术	319	实验4 三相电路的负载连接及功率测量	365
[△] 16.1 数据通信基础	319	实验5 二极管和晶体管测试	367
*16.2 计算机网络	322	实验6 基本放大电路	370
16.2.1 计算机网络的基本概念	322		

实验 7	集成运算放大电路	372	附录 A	半导体分立器件型号命名方法 ...	391
实验 8	直流稳压电源	376	附录 B	半导体集成电路型号命名方法 ...	392
实验 9	组合逻辑电路	379	附录 C	集成运算放大器主要技术指标 ...	393
实验 10	时序逻辑电路	382	附录 D	常用的基本文字符号	394
[△] 实验 11	单相变压器特性检测	385	附录 E	安装方法的标注	395
实验 12	三相异步电动机起动控制	387	部分习题答案		396
*实验 13	EDA 基本原理和仿真知识	389	主要参考文献		403

绪 论

电工学课程的任务

电工学是高等学校本科非电类专业的一门技术基础课程。其作用与任务是使学生通过本课程的学习,获得电工电子技术必要的基本理论、基本知识和基本技能,了解电工电子技术应用和我国电工电子事业发展的概况,为今后学习和从事与本专业有关的工作打下一定的基础。作为技术基础课程,它具有基础性、应用性和先进性。

基础是指基本理论、基本知识和基本技能。所谓基础性,电工学应为后续专业课程打基础;应为学生毕业后从事有关电的工作打基础,也就是为自学、深造、拓宽和创新打基础。

非电类专业学生学习电工学重在应用,他们应具有将电工和电子技术应用于本专业和发展本专业的一定能力。为此,课程内容要理论联系实际应用,从实际出发;培养他们分析和解决实际问题的能力;重视实际技能的训练。

电工学课程的内容应反映国内外工程界与学术界在电工学方面取得的最新成果,保持与世界电工学发展同步。

电工学的作用

人类在生产活动和科学实验的过程中,不断总结和丰富着自己的知识。电工学就是在生产实践中逐步发展起来的。

在18世纪,由于生产发展的需要,电工技术发展很快。詹姆斯·瓦特(James Watt),于1769年发明了第一台蒸汽机;1782年,又发明了联动式蒸汽机,蒸汽机的发明与运用,使人类生产实现了由手工生产向机械化生产的飞跃,引起了一场划时代的工业革命。法拉第(M. Faraday)在总结前人科学成果的基础上,经过长达10年的反复试验,于1831年发现磁铁和铜线圈之间做相对运动就能产生感应电流,并据此制成了世界上第一台电动机,开创了人类通向电气化的道路。正是蒸汽机、电动机的发明与运用,使科学与技术、科学技术与生产有机地结合在一起。

如果说,19世纪电工技术的发展使人类实现了由机械化时代向电气化时代的飞跃,那么20世纪电子技术的发展使通信、控制和计算机相互有机结合,正在推动信息技术的变革,以Internet为代表的信息基础设施的出现,标志着人类已进入信息时代。21世纪将是不同领域的科学技术相互渗透和融合的时代,电工学与其他学科的结合或向其他学科的渗透,已经或正在促进这些学科的发展并开拓出新的学科领域。因此,21世纪的工程师,掌握和运用电工学是十分必要的。

学习电工学的方法

本课程的教学环节包括讲课、自学、解题和实验等。为了学好本课程,现就本课程的几个教学环节提出学习中应注意之处,以供参考。

1. 听课与自学相结合

课堂教学是获得知识最快和最有效的学习途径。因此,务必认真听课,要抓住物理概念、基本理论、工作原理和分析方法;要理解问题是如何提出和引申的,又是怎样解决和应用的;要了解各章节的主要内容及其内在联系。

教师讲课往往只讲重点、要点和难点,其余则要靠自学,既要学习未讲过而要求掌握或了解的内容,还要认真做习题和及时复习已讲过的内容,逐步提高自己的科学思维能力。

2. 课堂教学和实践相结合

本课程实践性很强,除了在学习时要注意理论联系实际、注意其工程应用外,还要通过实验巩固和加深所学理论,训练实际技能,并培养严谨的科学作风。实验前务必认真准备,了解实验内容和实验步骤;实验时要积极思考,多动手,学会正确使用常用的电子仪器、电工仪表、电机和电器设备以及电子元器件等。能正确连接电路,能准确读取数据,并能根据要求设计简单线路;实验后要认真分析实验现象和实验数据,编写出整洁的实验报告。

3. 特性和共性相结合

本课程涉及的知识面很广,学习时要既能从共性中发现它们的特性,又能从特性中总结出共性。例如,电路是由各种电路实体抽象出来的电路模型。它是研究电路分析和计算的普遍规律。在学习时,需要从共性中去发现它们的特性,要注意理论的严密和计算的精确。电子技术中的管(电子器件)、路(电子电路)、用(实际应用)三者的关系是:管、路、用结合,管为路用,以路为主。要把重点放在最基本的电路上。对于电子器件则重点在于了解它们的外部性能及如何用于电路中。对分立电路和集成电路的关系来说,则是:分立为基础,集成是重点,分立为集成服务。又如低压电器和电机等则是讨论其各种不同的特性,以及由它们组成的用以完成各种不同功能的电路。叙述中较多地强调了它们的应用特性。在学习时,要注意从这些特性中去发现它们的共性,要注意工程近似的分析方法。

4. 学习基本理论和标准相结合

标准是衡量事物的准则。本教材中所引用的标准,都标注出该标准的名称。学生在学习基本理论的同时,应了解一些电工、电子的标准及应用,学会查阅这些标准。

标准按其作用和有效的范围,可以划分为不同层次和级别的标准。

- 国际标准由国际标准化或标准组织制定,并公开发布。
- 区域标准由某一区域标准化或标准组织制定,并公开发布,如欧洲标准。
- 国家标准由国家标准化机构制定并公开发布。
- 行业标准由行业标准化机构发布在某行业范围内统一实施。
- 地方标准由一个国家的部门制定并公开发布。
- 企业标准(又称公司标准)由企事业单位自行制定、发布。

我国标准的编号由标准代号、标准顺序号和年号三部分组成。强制性国家标准代号为“GB”,推荐性国家标准代号为“GB/T”。行业标准代号由国务院标准化主管部门规定,如强制性电力行业标准代号为“DL”,推荐性电力行业标准代号为“DL/T”。地方标准的标准代号为DB加上省、自治区或直辖市的代码前两位数字。企业标准代号为Q加企业代号。

电器设备应按标准设计和制造,电气工程必须按标准设计和施工,而且应优先采用国家强制性标准或规范。如低压配电必须按《低压配电设计规范》GB50054—1995设计,按《建筑电气工程施工质量验收规范》GB50303—2002施工,才能保证人身安全和设备正常运行。

国际标准主要有国际标准化组织 (International Organization for Standardization, ISO)、国际电工委员会 (International Electrotechnical Commission, IEC) 或国际电信联盟 (International Telecommunication Union, ITU) 等制定的标准。

ISO 是最大的国际标准化组织,负责除电工、电子领域之外的所有其他领域的标准化活动。IEC 主要负责电工、电子领域的标准化活动。ITU 是促进电信全球标准化制定的国际公众组织。

我国采用国际标准的程度分等同 (identical, IDT) 采用、修改 (modified, MOD) 采用、等效 (equivalent, EQV) 采用和非等同 (not equivalent, NEQ) 采用等。

第 1 章 直 流 电 路

电工和电子技术的应用离不开电路。本章首先讨论电路的基本概念和基本定律,如电路模型、电压和电流的参考方向、基尔霍夫定律、电源的工作状态以及电路中电位的概念及计算等。其次将扼要地介绍常用的电路分析方法,如支路电流法、叠加定理、电压源模型与电流源模型的等效变换和戴维宁定理等。这些内容都是分析和计算电路的基础。

1.1 电路的基本概念

1.1.1 电路模型

电流流通的路径称为电路(electric circuit),它是为了某种需要由某些电气设备或元件按一定方式组合起来的。例如,常用的手电筒由于电池、电珠、开关和筒体组成,电路模型如图 1.1.1 所示。在图 1.1.1 中,电珠是电阻元件,用 R 作为电路的模型;干电池是电源元件,用 U_s (直流电压源)和电阻元件 R_0 (等效电阻)串联组合作为电路的模型;筒体用理想导线(其电阻设为零)或线段表示。

电源(如干电池等)是将非电能转换为电能的设备;负载(如电珠等)是将电能转换成非电能的设备和元件;开关用来接通或断开电路,起控制电路作用;导线的作用是把电源与负载连接起来。一个完整的电路是由电源(或信号源)、负载和中间环节(开关、导线等)三个基本部分组成的。

用理想电路元件或它们的组合模拟实际器件就是建立其模型(简称建模)。建模时必须考虑工作条件,并按不同精度的要求把给定工作情况下的主要物理现象及功能反映出来。例如,在直流情况下,一个线圈的模型可以是一个电阻元件。在较低频率下,就要用电阻元件和电感元件的串联组合模拟。在较高频率下,还应考虑导体表面的电荷作用,即电容效应,所以其模型还需要包含电容元件。可见在不同的条件下,同一实际器件可能采用不同的模型。模型取得恰当,对电路的分析和计算结果就与实际情况接近;模型取得不恰当,则会造成很大误差。

本书所说电路一般均指由理想电路元件构成的抽象电路或电路模型,而非实际电路。同时把理想电路元件简称为电路元件。

电路的结构形式和所能完成的任务是多种多样的。但按其功能可以分为两大类:一是进行电能的传输、分配和转换,如电炉在电流通过时将电能转换成热能;二是进行信号的传递和处理,如电视机可将接收到的信号经过处理,转换成图像和声音。

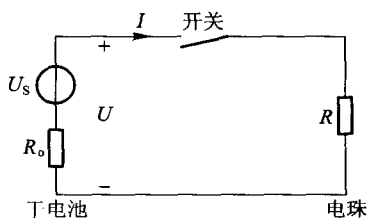


图 1.1.1 手电筒电路模型

1.1.2 电路的基本物理量

电路的基本物理量有电流和电压(电动势),复合物理量有电功率和电能等。

1. 电流

电路中带电粒子在电源作用下有规则地移动形成电流。金属导体中的带电粒子是自由电子,半导体中的带电粒子是自由电子和空穴,电解液中的带电粒子是正、负离子,因此电流既可以是负电荷,也可以是正电荷或者两者兼有的定向运动的结果。习惯上规定正电荷移动的方向为电流的实际方向。

电荷[量]对时间的变化率称为电流,即

i = dq / dt (1.1.1)

式中,电荷 q 的单位为库[仑](C)①;时间 t 的单位为秒(s);电流 i 的单位为安[培](A)。

如果电流的大小和方向都不随时间变化,则称为直流电流(direct current,DC),用大写字母 I 表示。如果电流的大小和方向都随时间变化,则称为交流电流(alternating current,AC),用小写字母 i 表示。

在分析计算电路时,为了列写与电流有关的表达式,必须预先假定电流的方向,称为电流的参考方向(也称为正方向),如图 1.1.2 所示。根据所假定的电流参考方向列写电路方程求解后,如果电流为正值,则表示电流的实际方向和参考方向相同;如果电流为负值,则表示电流的实际方向和参考方向相反。交流电流的实际方向是随时间变化的,因此当电流的参考方向确定后,如果在某一时刻电流为正值,即表示在该时刻电流的实际方向和参考方向相同;如为负值,则相反。

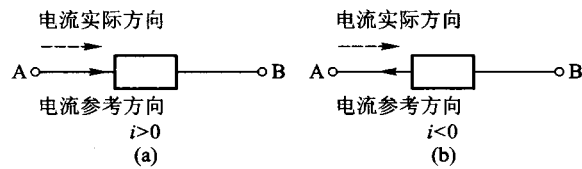


图 1.1.2 电流的参考方向与实际方向的关系

2. 电压

图 1.1.3 是由电池和白炽灯组成的一个简单电路。电池具有电动势 E。电动势是描述电源中非电场力对电荷做功的物理量,它在数值上等于非电场力在电源内部将单位正电荷从负极移至正极所作的功。单位为伏[特](V)。图 1.1.3 电路中,在电动势 E 的作用下,白炽灯两端得到电压 U_{ab},并有电流 I 流过。

电压是描述电场力对电荷做功的物理量。a、b 两点之间的电压 U_{ab}就是 a、b 两点的电位差,它在数值上等于电场力驱使单位正电荷从 a 点移至 b 点所作的功。a 点(或 b 点)的电位 V_a(或 V_b) 在数值上等于电场力驱使单位正电荷从 a 点(或 b 点)移至零电位点所作的功。零电位点又

① 方括号中的字,在不致引起混淆、误解的情况下,可以省略。圆括号中是单位的符号。

称参考点,可以任意设定。在电气工程中,常将电气设备的机壳与大地相连,称为保护接地,接地点用符号“ $\perp$ ”表示。在电子电路中,一般都有一公共点与机壳或底板相连,用符号“ $\perp$ ”表示。在图 1.1.3 中,设 b 为参考点(即 $V_b=0$),故 a 点的电位 V_a 就等于 a、b 间的电压 U_{ab} ,即 $U_{ab}=V_a-V_b=V_a$ 。因此,若要知道某一点的电位,只要计算该点到参考点的电压即可。电压和电位的单位都是伏[特](V)。

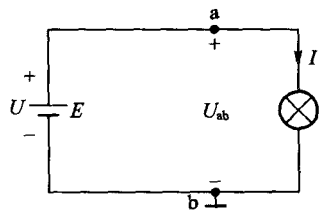


图 1.1.3 电动势、电压和电流的关系

电压是由于两点间电位的高低差别而形成的,它的方向是从高电位指向低电位,是电位降低的方向。而电动势的方向则是从低电位指向高电位,是电位升高的方向。

在分析计算电路时,为了列写与电压有关的表达式,必须预先假定电压或电动势的参考方向(也称参考极性)。在电路中,电压的参考方向可用正(+)、负(-)极性表示其高低电位,由高电位指向低电位,如图 1.1.4 所示。有时也用箭头表示或用双下标表示,如 u_{ab} 表示电压参考方向由 a 指向 b。为了分析方便,如果电压、电动势的实际方向为已知,就常以其实际方向作为参考方向。图 1.1.3 所示电路中,在忽略电池的内阻和导线的电阻时,根据所标参考方向,a、b 间的电压 U_{ab} 和电池的电压 U 相等,即 $U_{ab}=U$ 。无源元件内部常取电流与电压的参考方向相同,称为关联参考方向,即只给一个参考方向;对有源元件则常取电流与电压的参考方向相反,称为非关联参考方向。

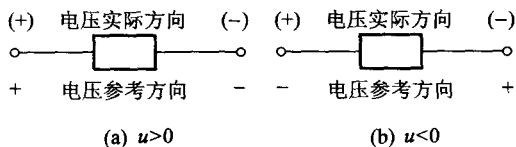


图 1.1.4 电压的参考方向与实际方向的关系

例 1.1.1 在图 1.1.5 所示电路中,分别选 b 点、a 点作为参考点,试计算 a、b 两点间的电压。

解 选 b 点作为参考点,则

$$V_b=0, V_a=60\text{ V}$$

$$U_{ab}=V_a-V_b=60\text{ V}-0\text{ V}=60\text{ V}$$

又由欧姆定律

$$U_{ac}=-4\times 20\text{ V}=-80\text{ V}$$

则

$$U_{ab}=U_{ac}+U_{cb}=-80\text{ V}+140\text{ V}=60\text{ V}$$

反之,如将 a 点作为参考点,则

$$V_a=0\text{ V}, V_b=-60\text{ V}$$

$$U_{ab}=V_a-V_b=0\text{ V}-(-60\text{ V})=60\text{ V}$$

由此例可看出,电位与参考点有关,参考点选得不同,相应的各点电位也不同。但 a、b 两点

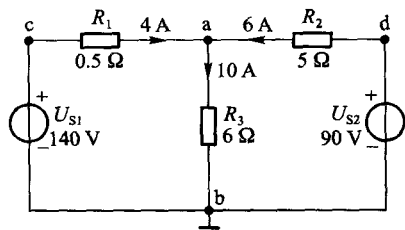


图 1.1.5 电路中参考点选择

间的电压值或两点的电位差不变,而且与计算的路径无关。

在电子电路中一般都把电源、信号输入端和输出端的公共端接在一起作为参考点,因而电子电路中有一种习惯画法,即电源不再用符号表示,而改为标出其电位的极性和数值。如图 1.1.5 可简化为图 1.1.6(a)、(b)所示电路,只标各端电源的极性和电位值。

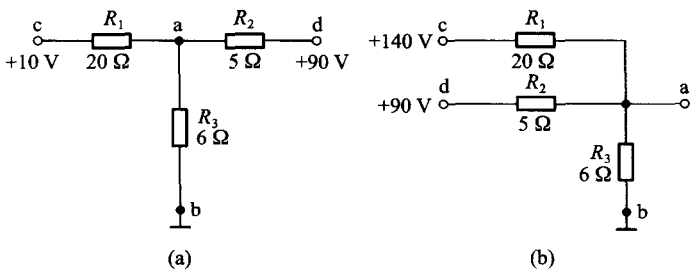


图 1.1.6 图 1.1.5 的简化电路

3. 功率

如果某个元件(或某段电路)的电流和电压为 i 和 u ,而且电流和电压的参考方向相关联,则功率

$$p = ui \quad (1.1.2)$$

功率的单位为瓦[特](W)。

在电压和电流参考方向关联时,根据式(1.1.2)计算的功率为正值,表示该元件(或该段电路)吸收功率(即消耗电能或吸收电能);若为负值则表示输出功率(即送出电能)。

习惯上对电源的端电压和流过电源的电流采用非关联参考方向。例如在图 1.1.3 中,按所示电流参考方向,电流从电池的“-”端流向“+”端,此时电池的端电压 $U = E$ (忽略电池的内电阻时),乘积 UI (即 EI)表示电源(电池)向外电路(白炽灯)所提供(输出)的功率大小。

例 1.1.2 电路如图 1.1.7 所示, $u = 12 \text{ V}$, $i = -2 \text{ A}$,计算元件的功率。

解 由电路可知,此题的电流和电压为关联参考方向,有

$$p = ui = 12 \times (-2) \text{ W} = -24 \text{ W} < 0$$

说明元件发出功率而不是吸收功率,相当于电源。

在时间 t_1 到 t_2 期间,元件(或电路)吸收的电能为

$$W = \int_{t_1}^{t_2} u i dt \quad (1.1.3)$$

单位为焦[耳](J)。在实际工程中,常用千瓦时($\text{kW} \cdot \text{h}$)为单位,俗称 1 度电。 $1 \text{ kW} \cdot \text{h} = 1000 \text{ W} \times 3600 \text{ s} = 3.6 \times 10^6 \text{ J}$ 。

例 1.1.3 汽车照明用 12 V 蓄电池①为 60 W 车灯供电,若蓄电池的额定值为 100 A · h(安时),求蓄电池的能量?

$$\text{解 } I = \frac{P}{U} = \frac{60}{12} \text{ A} = 5 \text{ A}$$

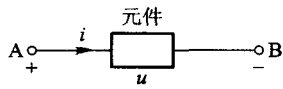


图 1.1.7 例 1.1.1 元件的功率

① 详细内容可见《电动助力车用密封铅酸蓄电池标准》JB/T10262—2001。