

电工技术基础

电工技术基础

(高校工科非电类专业适用)

国防科技大学 贾娟兰 主编
西北工业大学 胡福乐

国防科技大学 贾娟兰 主编
西北工业大学 胡福乐

高教

第1版

1-1

电工技术基础

(高校工科非电类专业适用)

国防科技大学 贾娟兰 主编
西北工业大学 胡福乐



高等教育出版社

本书是参照 1986 年 10 月高等学校工科电工学课程教学指导小组审定通过并经国家教委批准试行的《电工程技术(电工学 I)课程教学基本要求》编写的。全书分三篇,第一篇为电路,第二篇为电机与控制(包括电测和非电量电测,电工保安技术),第三篇为电工技术基础的 CAI 法。

本书经大连理工大学蒋德川教授审阅,可供对电路有较高要求的大学非电专业作为教材使用,也可供有关技术人员参考。

本书责任编辑 刘秉仁

2538/16

电工技术基础

(高校工科非电类专业适用)

国防科技大学 贾娟兰 主编
西北工业大学 胡福乐

高等教育出版社出版

新华书店上海发行所发行

河北省香河县印刷厂印装

序 言

本书系根据1986年10月高等学校工科电工学课程教学指导小组审订通过并经国家教委批准试行的非电专业《电工技术(电工学I)课程教学基本要求》编写的。本书的初稿是为适应“三个面向”的教育方针和力求反映科技新成就进行编写的。编写中曾参考了1980年6月审订的高等工业学校非电专业150学时《电工学教学大纲》(草案)和1982年11月电工学教材编审小组扩大会议对上述教学大纲所作的补充说明。经过了多年的教学实践和反复修改,并由国防科学技术大学铅印出版,又经西北工业大学使用,均取得了较好的教学效果,受到读者的欢迎。

本书的风格,体系新颖,采用现代电路理论的新观点,加强模型和系统的概念,突出动态分析;适当提高起点,加强理论基础,便于自学;引入了现代化的教学手段——微机辅助教学法(Computer Aided Instruction,简称CAI法)。提供有利用人机对话方式进行授课、答疑、自我测验、作业和实验等教学方法和软件,将抽象难学的内容应用计算机显示出物理过程的瞬态图形,既形象又生动。本书是按60~75学时编写的,教师可根据学生的实际水平与教学计划所规定的教学学时数以及专业要求等情况对内容作适当的取舍。书中标有“*”号的章节是加深拓宽的内容,供教师 and 学有余力的学生选用,可讲授或阅读或删减。

本书由国防科大和西北工大合编。贾娟兰、胡福乐主编,国防科大贾娟兰(1、2、3、4、5、6、7、8章)、刘承斌(9章)、西北工大张秉华(10、11章及16.2节)、张勤珍(12、13、14章)、胡福乐(15章)、何仁钦(16.1节)协同执笔编写。在本书的初稿编写和试用过程中得到了国防科大漆仕速教授的指导及国防科大805教研室、西北工大电工学教研室同志们们的热情帮助。

本书由大连理工大学蒋德川教授主审,提出了极其宝贵的指导性的修改意见。上海交通大学史焄森教授、国防科大805教研室漆仕速教授、西北工大黄正中教授以及国防科大805教研室的有关教师参加了原初稿的审阅,对提高教材质量提出了许多宝贵意见,谨致以最诚挚的谢意。

本书中电机、电器的部分结构图选用秦曾煌主编《电工学》(下册)和浙大编《电工学》(下册)的部分图,在此表示谢意。

为了对使用本书的教师提供方便,本书的习题、思考题题解另编入教师手册。

由于编者的水平所限,可能存在不妥之处甚至缺点和错误,殷切希望使用本书的教师和读者给予批评指正。

编 者

1987年

目 录

绪论.....	1	*1.12 Y- Δ 等效变换.....	43
第一篇 电 路		1.13 线性系统的基本性质.....	44
引言.....	3	习题.....	45
第一章 电路模型及基本定律.....	4	第二章 信号波形.....	53
1.1 电路和电路模型.....	4	2.1 指数函数及波形.....	53
1.1.1 电路的作用和组成.....	4	2.1.1 指数函数的数学表达式及波形.....	53
1.1.2 电路模型.....	5	2.1.2 单调衰减的指数函数.....	55
1.1.3 额定值.....	6	2.1.3 时间常数.....	55
1.2 参考方向.....	6	2.2 正弦函数及其波形.....	57
1.3 克希荷夫定律.....	10	2.2.1 正弦量的数学表达式及其波形.....	57
1.3.1 名词.....	10	2.2.2 周期、频率和角频率.....	58
1.3.2 克希荷夫电流定律 (KCL).....	10	2.2.3 相位、初相位.....	58
1.3.3 克希荷夫电压定律 (KVL).....	12	2.2.4 相位差.....	59
1.3.4 克希荷夫定律的应用.....	14	2.2.5 交流电的有效值.....	61
1.4 电阻元件.....	16	2.3 单位阶跃函数.....	63
1.5 电容元件.....	18	2.4 脉冲与冲激函数.....	65
1.5.1 电容元件.....	18	2.4.1 单位脉冲函数.....	65
1.5.2 电容元件的性能约束方程 ——电压与电流的关系.....	19	*2.4.2 单位冲激函数.....	65
1.5.3 电容元件的储能.....	20	2.5 周期性非正弦函数.....	66
1.6 电感元件.....	22	习题.....	70
1.6.1 电感元件.....	22	第三章 零输入响应.....	75
1.6.2 电感元件的性能约束方程 ——电压和电流的关系.....	23	3.1 概述.....	75
1.6.3 电感元件的储能.....	25	3.2 初始值的计算.....	76
1.7 实际元件的模型.....	26	3.3 一阶电路的零输入响应.....	81
1.8 独立电源.....	28	3.3.1 RC (电阻—电容) 电路.....	81
1.8.1 电压源.....	28	3.3.2 RL (电阻—电感) 电路.....	86
1.8.2 电流源.....	29	3.4 时间常数 τ 的计算.....	88
1.9 等效电路的概念.....	82	3.5 求一阶电路零输入响应的 一般程序.....	89
1.10 实际电源的两种模型 及其等效变换.....	44	3.6 二阶电路的零输入响应.....	92
*1.11 受控源.....	48	3.6.1 定性分析.....	
		3.6.2 数学分析.....	
		3.6.3 四种响应情况的讨论.....	
		*3.7 用阻抗函数求特征根的方法.....	

3.7.1 阻抗函数的概念	98	7.2.1 电阻元件	191
3.7.2 阻抗函数的一般表达式	99	7.2.2 电容元件	192
3.7.3 用阻抗函数求特征根	100	7.2.3 电感元件	193
3.7.4 求二阶电路零输入响应的一般程序	101	7.3 相量法	195
习题	108	7.3.1 克希荷夫定律的相量形式	196
第四章 零状态响应	113	7.3.2 RCL 串联电路, 复数阻抗	196
4.1 一阶电路的零状态响应	113	7.3.3 相量法的应用	199
4.1.1 RC 电路的阶跃响应	113	7.3.4 复数阻抗和复数导纳的等效互换	206
4.1.2 RL 电路的零状态响应	116	7.4 复杂交流电路分析	209
4.2 RC 一阶电路的脉冲响应	112	7.4.1 相量图法的应用	211
4.2.1 RC 电路的脉冲响应	112	7.4.2 网络定理的应用	213
4.2.2 RC 微分电路	125	7.5 交流电路的功率	213
4.2.3 RC 积分电路	126	7.5.1 瞬时功率	213
*4.3 RC 一阶电路的正弦响应	128	7.5.2 平均功率, 无功功率	214
*4.4 二阶电路的阶跃响应	130	7.5.3 视在功率	216
习题	132	7.5.4 功率因数	216
第五章 全响应	136	7.6 功率因数的提高	218
5.1 一阶电路的全响应	136	7.7 电路的频率响应	220
5.2 三要素法	138	7.7.1 RC 电路的频率响应	220
*5.3 电路的对偶性	143	7.7.2 RL 电路的频率响应	222
*5.4 非电系统的电模拟	145	7.7.3 RCL 串联电路的频率响应	223
习题	148	7.8 电路中的谐振	224
第六章 网络定理与直流稳态分析	151	7.8.1 谐振条件	224
6.1 叠加原理	151	7.8.2 串联谐振	225
*6.2 节点电压法	155	7.8.3 并联谐振	227
*6.3 回路电流法	160	7.9 非正弦周期信号电路的计算	230
6.4 戴维南定理和诺顿定理	164	习题	231
6.4.1 戴维南定理	166	第八章 三相电路	236
6.4.2 诺顿定理	171	8.1 三相电源	236
*6.4.3 含受控源电路的分析	173	8.1.1 三相对称电压	236
6.5 非线性电阻电路的图解法	176	8.1.2 三相电源的联接方法	237
习题	179	8.2 负载星形联接的三相电路计算	239
第七章 正弦稳态电路分析	183	8.3 负载三角形联接的三相电路计算	241
7.1 相量	183	8.4 不对称三相电路的概念	243
7.1.1 复数	183	8.5 三相电路的功率	245
7.1.2 相量	185	习题	246
7.2 有效值相量	188	第二篇 电机与控制	
7.3 相量相加	188	引言	249
7.4 伏安关系的相量形式	190	第九章 磁路和变压器	250

9.1 磁路及磁路定律.....	250	11.1.2 直流电机的分类.....	310
9.1.1 磁路.....	250	11.2 直流电机的工作原理.....	312
9.1.2 磁路定律.....	251	11.3 并励直流电动机的机械特性.....	314
9.1.3 磁路计算.....	254	11.4 并励电动机的启动、反转、 制动和调速.....	316
9.2 交流铁心线圈电路.....	256	11.4.1 启动.....	316
9.2.1 电磁关系.....	256	11.4.2 反转.....	316
9.2.2 功率损耗.....	259	11.4.3 制动.....	316
9.3 变压器的用途和构造.....	261	11.4.4 调速.....	317
9.4 变压器的工作原理.....	262	11.5 并励发电机.....	319
9.4.1 空载运行与电压变换.....	262	11.5.1 并励发电机电动势建立的条件.....	319
9.4.2 负载运行与电流变换.....	263	11.5.2 并励发电机的外特性.....	320
9.4.3 阻抗变换.....	264	11.6 直流电机的额定值.....	321
9.5 变压器的工作特性.....	266	11.7 直流测速发电机.....	322
9.5.1 变压器的外特性和电压调整率.....	266	习题.....	322
9.5.2 变压器的损耗和效率.....	267	第十二章 常用控制电器和电动机的 自动控制.....	324
9.6 三相变压器.....	268	12.1 开环和闭环控制系统.....	325
习题.....	270	12.1.1 开环控制系统简介.....	325
第十章 交流电机.....	272	12.1.2 闭环控制系统简介.....	325
10.1 概述.....	272	12.1.3 直流电动机转速负反馈自动调速 系统.....	327
10.2 三相异步电动机.....	272	12.2 控制系统中的常用控制电器.....	327
10.2.1 三相异步电动机的构造.....	272	12.2.1 刀开关(DK或K).....	328
10.2.2 三相异步电动机的工作原理.....	274	12.2.2 转换开关(HK).....	328
10.2.3 三相异步电动机的电路分析.....	278	12.2.3 熔断器(RD).....	329
10.2.4 三相异步电动机的转矩和特性.....	280	12.2.4 空气开关(ZK).....	330
10.2.5 三相异步电动机的铭牌数据.....	284	12.2.5 按钮(A).....	331
10.2.6 三相异步电动机的使用.....	286	12.2.6 交流接触器(JC或C).....	332
10.3 单相异步电动机.....	292	12.2.7 热继电器(RJ).....	333
10.4 同步电机.....	295	12.3 鼠笼式电动机直接启动、停止的 控制线路.....	334
10.4.1 同步电机的构造.....	296	12.4 鼠笼式电动机的正反转控制线路.....	336
10.4.2 同步发电机.....	297	12.5 行程开关和行程控制.....	337
10.4.3 同步电动机.....	299	12.5.1 行程开关(CK).....	337
10.5 控制电机.....	302	12.5.2 行程开关控制工作台的往复运动.....	338
10.5.1 交流伺服电动机.....	303	12.6 时间继电器和时间控制.....	339
10.5.2 交流测速发电机.....	304	12.6.1 时间继电器(SJ).....	339
10.5.3 自整角机.....	305	12.6.2 时间继电器控制的线路.....	
10.5.4 步进电动机.....	306	*12.7 速度继电器和速度控制.....	
习题.....	307		
第十一章 直流电机.....	309		
11.1 直流电机的构造和分类.....	309		
11.1.1 直流电机的构造.....	309		

绪 论

电工学是研究电能及电磁现象的自然规律在工程上应用的科学。由于电能具有便于转换、输送、控制和测量等其它形态的能量无可比拟的优越性,因此,自十九世纪以来,随着生产的不断发展,电工技术发展非常迅速,时有突破,电工技术的理论日益提高,它从经典的电路理论发展到近代电路理论,已成为一门独立的学科,它是电气化、自动化技术的主要理论基础,推动着电子技术、通讯技术、自动化技术和计算机技术的发展。它的应用范围远远超出了电气工程领域,并且日益渗透到其它学科领域,促进其发展,已成为工程学科的普遍基础之一。因此,到了二十世纪八十年代的今天,电工技术无论在工农业生产、国防建设、科学实验等各个方面,还是在人们日常生活的衣、食、住、行、文化生活和医药卫生等方面都得到了广泛应用,在我国社会主义建设中占有重要的地位。

从本世纪七十年代以来,微电子技术的飞速发展,微处理器的出现,大规模集成技术使电子计算机朝着高度集成化、小型化方向发展,智能化程度显著提高,在生产和生活中日益普及了计算机的应用,为我们提供了新的生产手段,把生产的自动化程度提高到了一个新的水平。因此,现代工业体系的特点则是通过信息的交换、处理把各个生产设备以至管理部门联接成一个生产系统,使之自动协调地工作。社会生产力的飞跃,促使世界上掀起了新的技术革命的浪潮。

现在,我国正在为社会主义四化建设而拼搏,要实现这一宏伟目标,第一要靠党的领导,坚持社会主义道路,另外要靠科学技术的进步。“三个面向”的方针和新技术革命要求高等学校培养出一大批基础扎实、知识面宽、适应能力强有创新精神的高级工程技术人才。本课程是高等工科院校各非电专业的一门技术基础课,课程内容包括电路理论、电机与继电接触控制、电工测量及安全用电等部分。通过本课程的学习,要求学生懂得电路的基本作用、基本理论和基本分析方法,了解本专业范围内最常用的各种电机、电器的工作原理、性能、使用方法以及控制电路的原理和应用,并受到必要的实验技能的训练,为学习后续课程提供必要的基础理论知识。电路理论乃是一门解析科学,因此,学生所掌握的对电系统分析问题和解决问题的方法、思路 and 技巧,也能用于其它课程的学习之中。

电工技术基础课是一门理论性和实践性较强的课程,学习过程中要重视理论联系实际的学习方法。学习理论时一定要通过一定量的作业、习题的反复实践来掌握理论、加深对概念的理解,提高自己分析问题和解决问题的能力;通过实验提高自己独立操作和测试技能、以及理论分析和数据处理的能力。

电工技术的内容十分广泛,课程内容也在不断更新。本课程能为非电技术人员进一步钻研电工技术奠定初步基础,为他们提供与电气技术人员在共同协作中的“共同语言”,并能使他们在工程技术中处理涉及电工技术的问题上能有自己的见解,提出解决问题的方法,在“综合探索”的科研道路上开拓学科的新天地,作出新贡献。



第一篇 电 路

引 言

随着现代生产的迅猛发展和科技新成就的不断涌现,边缘学科的不断兴起和学科间的“相互渗透”、“综合探索”的新特点,电路理论的研究范围也更加广阔,在时域分析、频域分析、网络拓扑及状态变量等方面都取得了重大成果。因此对课程的内容及讲授方法应作出相应的变革。

本篇在体系、风格、内容上注意了以下几点:(1)在内容上以力求紧紧扣住1986年10月由高等学校工科电工学课程教学指导小组制定的关于非电类专业《电工技术(电工学I)课程教学基本要求》为前提,同时加强了电路理论基础和系统的基本概念,从系统的观点出发突出了动态分析,强调模型、等效及端口特性等概念,适当提高了起点;(2)在体系结构上采用由激励到响应、由动态到稳态、由一阶到二阶、由时域到频域这样一个循序渐进、由浅入深、由此及彼的分析层次,便于从系统本质上阐明响应的性质,既讨论了系统,又介绍了系统分析的普遍方法;(3)层次上除《基本要求》的内容外,还编有加深拓宽的内容,以利因材施教,供教师选用,供学有余力的学生进一步钻研;(4)书中重要的节次之后均有用于巩固概念和加深对概念理解的思考题,各章之后有不同深广度的习题,以利培养学生分析问题和解决问题的能力。

本篇共八章。第一章电路模型及基本定律为全书之骨架,在突出一个模型的概念之后,介绍电路变量——电压和电流必须遵循的两类约束关系以及等效电路、线性叠加等概念。它们是分析电路的基本依据,是学习以后各章内容的基础。第二章信号波形,集中介绍了工程上常见信号的各种表示方法及特征参数,其目的不仅使读者能较系统地了解常见信号,以资区别比较,且使读者较早地熟悉电路中电压、电流的表示方法。当这些信号作为输入时,便构成电路的激励。因此,第二章在本书的结构上为激励。第三章至第五章零输入响应、零状态响应和全响应为电路的时域分析,系统地阐述了动态电路在不同状态时响应的分析方法,以及一阶、二阶系统动态响应性能,最后扩充了模拟、对偶的分析方法,以开拓思路,同时还介绍了阻抗函数和零-极点的概念,供选用。第六、七、八三章为电路的稳态响应分析,分别讨论了直流稳态电路和正弦交流稳态电路及三相电路的分析方法,并讨论了正弦稳态电路的频率响应。第六章内容在教学时亦可移到第一章之后第二章之前来介绍,并不影响全书的连贯性。

在学习本篇时,既要明确地理解电路的基本概念,又要熟练地掌握电路的分析和计算方法。学习过程中,还希望读者及时适当地复习普通物理和高等数学中的有关内容。

本书的第三篇还编有电路的微机辅助教学软件,这是提供给学生在校外进行的一项扩大知识面。

第一章 电路模型及基本定律

本章内容的要点可概括为：一个模型、两类约束、三个概念。

首先介绍集中参数电路模型的概念，在此前提下进而讨论电路中的变量——电压和电流所必须遵循的两类约束关系，其中一种为拓扑约束关系，即克希荷夫电流定律和克希荷夫电压定律（简称KCL和KVL）；另一种为来自元件本身性质的约束关系，称为元件方程或元件性能方程。这两种约束关系构成分析电路的基本依据。此外还介绍了等效的概念，参考方向的概念和线性系统的线性性质。运用等效和可加的概念可简化电路的分析。

本章内容极为重要，为学习以后各章内容的基础，必须深刻理解和牢固掌握。

1.1 电路和电路模型

1.1.1 电路的作用和组成

电路(electric circuit) 实际电路是用实际元件、器件、电气设备等为完成某种功能按一定方式联接而成的总称。它的主要作用是进行能量的转换和输送；对信号进行传递和处理。例如一台晶体管收音机就是由调谐电路、放大电路、振荡电路、检波电路等多种电路组成，对电信号进行接收、放大和处理。又例如由发电机、变压器、控制设备及输电线等组成了电力系统中产生电能、输送电能的复杂电路。我们日常生活和工作中必不可少的照明电路就是进行能量转换的电路。图1-1(a)所示为手电筒电路，其中干电池把化学能转换为电能，对电路提供了能量，所以称为电源(electric source)；而灯泡却把电能转换成光能作照明之用，它消耗电能，所以称为负载(load)；电源与负载之间用导线联接起来；开关 K 是用来控制电路通断的，称为控制设备。

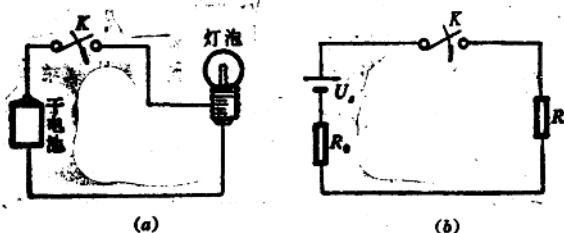


图1-1 (a) 实际电路；(b) 电路模型

由此可见，电源、负载和联接导线是组成一个完整电路的三个基本部分。此外，根据实际需要加一些辅助设备，例如开关之类的控制设备和熔断器之类的保护设备等。

有时称为网络或系统。网络(network)是复杂的电路，系统(system)是一个由若干相互

关联的单元组成,并用来达到某些特定目的的有机整体。由于科学技术的发展,特别是大规模集成技术的发展,一个集成元件中就包含各种各样的电路,而元件本身又具有某种功能,对这个元件来说,很难将电路和系统划分开来。因此,在本书中,对电路、网络 and 系统一词,一般不加区别。

1.1.2 电路模型

一个实际元件或器件中所发生的物理现象是多方面的。例如电流通过电阻器时产生热能,这种现象称为电流的热效应。同时,电流又产生磁场,这种现象称为电流的磁效应。而且电流的存在,还会产生电场。因此,我们研究任何一个实际元件或器件,不可能去研究其中所发生的一切现象。一般情况下,也没有必要这样做。因为任何事物,都有一个主要矛盾,这个主要矛盾决定着事物的基本性质。电流通过电阻器时,因为主要现象是热效应,所以我们在研究中,就可以把其它次要的效应忽略不计。只有这样,我们才能抓住事物的本质去进行分析研究。因此,在科学研究中,往往把实际事物进行简化或理想化,而采用所谓模型(model)的概念。对读者来说,“模型”不是一个新概念,事实上,任何工程学科,都是建立在模型化的概念的基础上。在物理学中所说的质点和刚体就是一种模型。按定义,质点是没有实际尺寸,但有一定质量。当刚体受到外力作用时,刚体中任何两点间距离是不会改变的。真正的质点和刚体在自然界中是不存在的。这些概念,只不过是把实际物体理想化而已。

各种实际电路元件或器件,也都可以用“模型”来近似表征它们的主要性能。或者说,用理想化电路元件来代替实际电路元件或器件。所谓理想化电路元件指的是:假设每个元件中,只有一种物理现象发生,它只具有一种电或磁的性能。例如理想化电阻元件,只有消耗电能的性能;理想化电容元件,只有贮存电场能量的性能;理想化电感元件则只有贮存磁场能量的性能。因为我们假设这些理想化的电路元件只集中体现一种性能,所以把它称为集中参数元件(lumped element)。为方便起见,我们把理想化的电路元件简称为电路元件。它是一种模型,是可用数学方法精确定义的。有些实际电路模型是由一种电路元件构成,有些则由几种电路元件构成。

例如图 1-1(a)是一实际的照明电路。灯泡的模型可用电阻元件 R 表示。电池的模型则用一个理想化的电源,即端电压为 U_0 的理想电压源和一个电阻元件 R_0 的串联来表示,就得到如图 1.1(b)所示的电路图。这种由理想化电路元件组成的电路图就叫做实际电路的电路模型。今后我们所讨论的电路,都是指电路模型而言。电路模型来源于实际并反映实际,但由于经过抽象化,它又更具有一般性。以上述电路模型来说,电源 U_0 与电阻 R_0 的串联,既可代表干电池,也可代表蓄电池,还可代表直流发电机。同样,用电器(称负载)电阻 R 既可代表灯泡,也可代表电烙铁或电炉等。

模型是电路理论中一个重要概念。但应当注意,用理想化电路元件即集中参数元件来近似代替实际电路是有条件的。这个条件就是实际电路的尺寸应远小于电路最高工作频率所对应的电磁波波长。在一般情况下,这个条件是能够满足的。例如:工业用电的频率为 50Hz,对应的波长为 $\lambda = 3 \times 10^8 / 50 = 6 \times 10^6 \text{m} = 6000 \text{km}$,这个距离远大于电气设备的尺寸。

从物理学中我们知道,电路的工作状态主要是用电压和电流两个物理量来描述,因此

和电流就是分析电路的两个主要变量。讨论电路的任务包括电路分析和电路综合两个方面的内容,已知电源或输入信号(称为激励)、电路结构和电路参数,分析计算电路中的电压、电流或输出(称为响应)的问题,称为电路分析。电路综合是指根据已给定的激励和响应,设计出满足一定功能所需要的电路。本书主要讨论电路分析问题。

1.1.3 额定值

必须指出,电路工作时电气设备所能承受的电压和允许通过的电流以及电功率都有一定的限额,以此来表示它们的正常的工作条件和工作能力。这些限额即称为电气设备的额定值(rated value)。

额定电流是电气设备或器件在一定的环境温度下连续工作时或在规定时间内,所允许通过而不会引起设备或器件损坏的最大电流。

额定电压是设备或器件正常工作时的端电压。

额定功率是电气设备正常工作时的输出功率或输入功率。

额定值是电气设备的制造厂家对设备使用的规定。通常在设备或器件的铭牌上已标出,或从产品目录查出。使用时必须遵守这些规定,否则,会降低设备或器件的使用寿命,甚至会损坏设备。

1.2 参考方向

电路分析的任务,主要是计算电路中各部分的电压和电流。电压又称为电位差。由于电路中两端点的电位有高低之分,电位高的一端为正极,电位低的一端为负极;电流有方向,习惯上把正电荷运动的方向规定为电流的方向。所以我们在分析电路时不仅要知道电压、电流的大小,还要知道电压的极性和电流的方向。除了一些简单的直流电路外,电路中电压和电流的方向不是明显地可以看出来的,尤其在交流电路中,电压的极性和电流的方向都是随时间而变化的。这样就很难用一个固定的标志来表示电压、电流的真实极性和方向。为此,在分析电路时,必须首先对电压选定一个参考极性(reference polarity),对电流选定一个参考方向(reference direction)。电流的参考方向用箭头表示,如图 1-2 所示。电压的参考极性用“+”、“-”表示,“+”号表示正极,即高电位端,“-”号表示负极,即低电位端,如图 1-3 所示。参考方向和参考极性都是可以任意选定的。

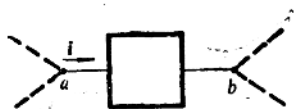


图 1-2 电流参考方向,方框表示一段电路

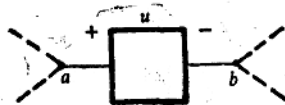


图 1-3 电压参考极性,方框代表一个二端元件或一段电路

我们规定:当电流的实际方向与参考方向一致时,电流取正值;否则,电流取负值。因此,我们根据电流的正、负及参考方向便可以确定电流的实际方向。例如图 1-2 表示网络中的某一段电路,电流的参考方向是从 a 端指向 b 端,当电流 $i = 3\text{A}$ 时,则因为电流为正值,故电流的实际方向与参考方向一致,即由 a 端流向 b 端。假若 $i = -3\text{A}$, 电流为负值,则其实际方向与参考方向相反,即由 b 端流向 a 端。

同样,我们规定,当电压的实际极性与参考极性一致时,电压取正值;否则电压取负值。电压的参考极性又称为电压的参考方向。电压的参考极性有时也用双下标表示,如图 1-3 中,电压 u 若写成 u_{ab} , 它表示 a 和 b 之间的电压的参考极性是 a 端为高电位端, b 端为低电位端。当 u_{ab} 为正值时,则电压 u_{ab} 的实际极性 a 端为高电位端。

综上所述,在分析电路时,我们既要为通过元件或一段电路的电流选定参考方向,也要为元件或一段电路的两端的电压选定参考极性。电流的参考方向和电压的参考极性的选定是任意的,因此,它们是独立无关的,但为了方便起见,我们常采用所谓一致的参考方向(或称关联的参考方向),即电流的参考方向与电压的参考极性一致,如图 1-4 所示,这时,在电路图上只需要标出电流的参考方向或电压的参考极性中任何一种即可。在未标电压、电流的参考极性和方向的情况下,讨论电压、电流的正负是毫无意义的。

应当着重指出,在电路分析中,电流的参考方向和电压的参考极性是一个十分重要的概念,读者必须给予足够的重视。

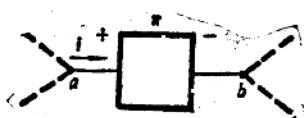


图 1-4 电压、电流一致的参考方向

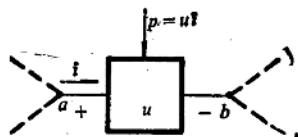


图 1-5 功率

功率是电路分析中常用到的另一个物理量。设图 1-5 所示的方框为电路的一部分,它可能是某二端元件或是若干元件的组合。在电压和电流采用一致参考方向的情况下,电压和电流的乘积 ui 就等于这段电路的功率(功率是单位时间内电场力所作的功)称为瞬时功率, (instantaneous power), 用小写字母 p 表示, 即

$$p = ui \quad (1-1)$$

如果电压、电流不随时间变化,则这种电压、电流称为直流电压、直流电流,简称直流(direct current, 简写作 dc 或 DC)。用大写字母 U 、 I 表示。因此,在直流情况下,功率也不随时间变化,用大写字母 P 表示, 即

$$P = UI \quad (1-2)$$

根据式(1-1),若知道了某个元件或某段电路的电压和电流就可以计算出这个元件或电路的功率,式中, u 、 i 的参考方向是一致的,当 $p > 0$ 时,表示电流通过这段电路(或做功的,或者说,这段电路(或元件)是吸收功率的。因为实际上,当正电荷从这段电

电压正极,经过这段电路(或元件)移到电压的负极,是电场力对电荷做功的结果。当 $p < 0$ 时,表示这段电路(或元件)实际上是向外输出功率的。

在国际单位制中,电压的单位为伏(V),电流的单位为安(A),则功率的单位为瓦特,简称为瓦(W)。但在实际应用中,有时感到这些单位太大或太小,使用不便,因此,我们经常采用一些十进倍数单位或分数单位。例如:

$$1 \text{ 毫安 (mA)} = 10^{-3} \text{ 安 (A)} \quad 1 \text{ 微安 } (\mu\text{A}) = 10^{-6} \text{ 安 (A)}$$

$$1 \text{ 毫伏 (mV)} = 10^{-3} \text{ 伏 (V)} \quad 1 \text{ 微伏 } (\mu\text{V}) = 10^{-6} \text{ 伏 (V)}$$

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

$$1 \text{ 千瓦 (kW)} = 10^3 \text{ 瓦 (W)}$$

$$1 \text{ 毫瓦 (mW)} = 10^{-3} \text{ 瓦 (W)}$$

电压、电流在任一瞬时 t 的瞬时值用 $u(t)$ 、 $i(t)$ 表示,为方便起见,且往往简写为 u 、 i ,瞬时功率 $p(t)$ 简写为 p 。

在分析计算电路时,尤其是电子电路中常用到电位概念。在电路中选某一点为参考点,且令参考点的电位为零,电路中其他任何一点对参考点之间的电压便是该点的电位,并用带单下标的字母 u 或 U 表示。例图 1-6(a)中,若选 c 点为参考点,则 c 点的电位记为 $U_c = 0$,而 a 、 b 点的电位分别用 U_a 、 U_b 表示为

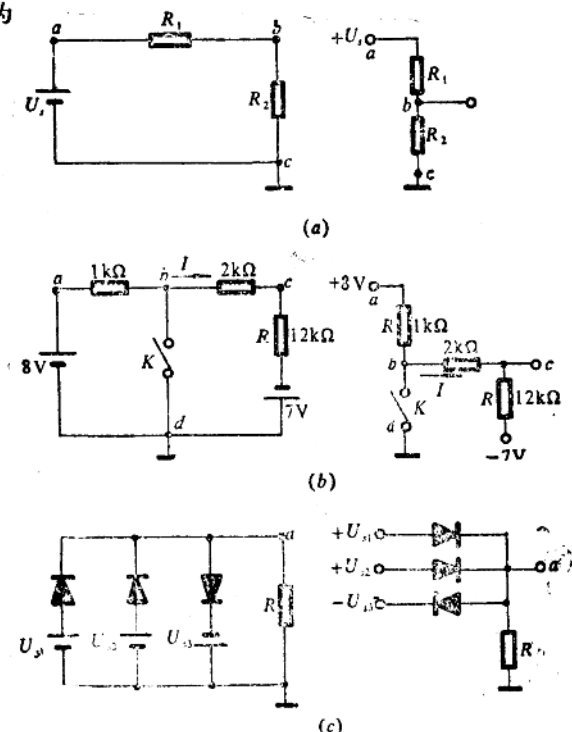


图 1-6 电路中的电位及其习惯画法

$$U_a = U_a - U_c = U_{ac}$$

$$U_b = U_b - U_c = U_{bc}$$

可见, 电路中各点电位的高与低或正与负都是相对于参考点而言的。参考点选择得不同其电位也不同, 如果未选定好参考点来讨论电位是毫无意义的。而对于电压, 只要电路确定后, 各点之间的电压是一定的。

由于参考点的电位为零, 所以参考点又称为零电位点。工程上常选大地为参考点, 即认为大地为零电位点, 在电子电路中常选一条汇集很多元件的公共线且与机壳相联, 作为参考点, 称之为“地”, 用接机壳符号“⊥”表示。

采用零电位点之后, 为使电路图简明、清晰, 习惯上对于理想电压源不再用电源符号表示, 只在相应点标出其电位的数值, 与“地”相接的另一端不再画出, 如图 1-6 所示。

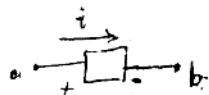
对于图 1-6(b) 所示电路中, 电流参考方向如图示。当开关 K 断开和合上时 c 点的电位为:

K 断开时, 此时电路为一串联电路,

$$U_c = U_{cd} = RI - 7 = 12 \times \frac{8+7}{1+2+12} - 7 = 5\text{V}$$

K 闭合时, 此时开关 K 将电路分为两个独立的部分,

$$U_c = U_{cd} = U_{cb} = -U_{bc} = -2 \times \frac{7}{2+12} = -1\text{V}$$



$$p = ui$$

【思考题】

1-1 在图 1-5 所示电路中, 若电压和电流采用相反的参考方向, 试导出电路瞬时功率的表达式。

1-2 图 1-7 所示各电路中:

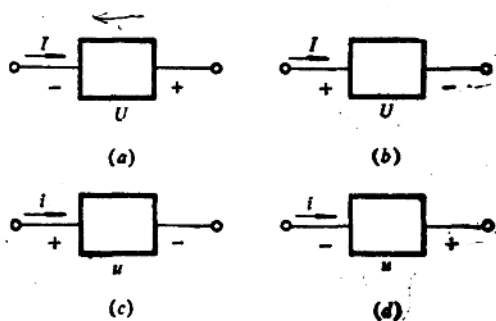


图 1-7

(a) $U = -2\text{V}, I = 2\text{A};$ (b) $U = 2\text{V}, I = -1\text{A};$

(c) $u = 10(1 - e^{-2t})\text{ V}, i = 5(3e^{-2t} - 2)\text{ A};$

(d) $u = 10\cos 2\pi t\text{ V}, i = 2\text{ A}.$

试计算各元件吸收或产生的功率, 并标出电压、电流的实际方向。