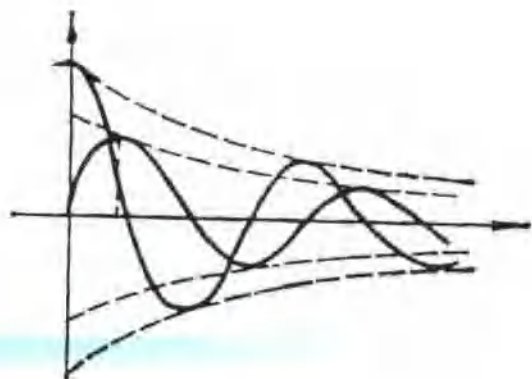




主 编 闫 聪

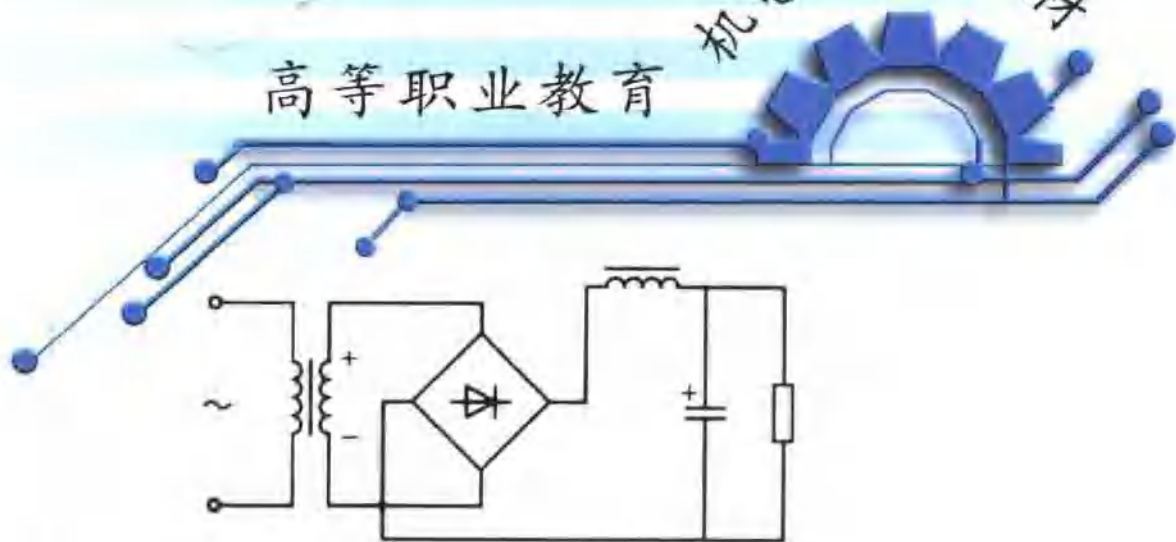


副主编 刘德辉



电工技术基础

机电类系列教材
高等职业教育



清华大学出版社

<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>

高等职业教育机电类系列教材

电工技术基础

主 编 闫 聪

副主编 刘德辉

清华大学出版社
北 京

内 容 简 介

本书是电气专业和其他相近专业的技术基础课教材,为了适应当今学科的教学改革和教学需求,在强调基本概念的同时,力图做到“少而精”和理论联系实际,注重培养学生实际的应用能力。本书内容包括:电路的基本概念和基本定律、电阻电路、正弦交流电路、含耦合电感的电路分析、网络函数和频率特性、三相交流电路、二端口网络、周期性非正弦电流电路、电路中的过渡过程、磁路和铁心线圈电路共 10 章。每章后附有课程内容与要求、思考题和习题。

本书可作为高等职业学校、高等专科学校和成人高等学校电气、电子和通信类等各专业的电工技术基础教材,也可以供电气类技术人员岗位培训和有关工程技术人员自学参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

电工技术基础/闫聪主编. —北京:清华大学出版社,2003

(高等职业教育机电类系列教材)

ISBN 7-302-06815-1

I. 电… II. 闫… III. 电子技术—高等学校:技术学校—教材 IV. TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 050132 号

出 版 者:清华大学出版社

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

社 总 机:010-62770175

地 址:北京清华大学学研大厦

邮 编:100084

客户服务:010-62776969

组稿编辑:陈国新

文稿编辑:赵从棉

印 刷 者:北京中科印刷有限公司

装 订 者:三河市新茂装订有限公司

发 行 者:新华书店总店北京发行所

开 本:185×260 印张:18.25 字数:421 千字

版 次:2003 年 11 月第 1 版 2003 年 11 月第 1 次印刷

书 号:ISBN 7-302-06815-1/TM·42

印 数:1~5000

定 价:25.00 元

前 言

本教材是为了适应 21 世纪应用型人才培养的要求,根据教育部制定的高职、高专《电工技术基础》课程教学要求而编写的,供高等职业学校、高等专科学校和成人高等学校电气、电子和通信类专业教学使用。《电工技术基础》是电气和其他相近专业学生必修的一门重要技术基础课,是其他电学类课程的“先导课程”,因此编写本教材的目的和基本思想有以下几个方面:

——高等职业学校、高等专科学校教学的目的是为了培养应用型人才,侧重解决实际问题,本教材针对高职、高专生源的特点,本着以“必需、够用”为度的原则,并保证具有一定的深度来安排编写教学内容。

——在教材中注重讲清基本概念、基本定律定理和基本分析方法及电路理论的实际应用,而不强调繁冗的定理、公式的推导和证明,内容结构合理。

——在教材的体系上对直流、交流、稳态、暂态电路都做了系统性的介绍,而对网络函数和频率特性,只讲解了在正弦交流电路稳态情况下的形式,而没有按系统性来讲解,体现了“必需、够用”的原则。

——考虑后续课程电子、通信、电机等对元件器件的要求,对受控源、空心变压器、铁心变压器的工作原理都做了详细的介绍;同时考虑集成电路的发展和其端口特性的应用,在二端口网络章节中增加了二端口网络应用的内容,扩展了知识面。

——为了提高学生的学习效果,书中在每章的后边都有课程内容与要求、思考题和习题,以便引导学生进行自学和复习,加深对概念的理解。

全书由北方交通大学、江西水力水电高等专科学校、陕西工业职业技术学院和广东轻工职业技术学院 4 所院校共同编写。其中第 1 章和第 5 章由黄晓红编写;第 2 章由李戎编写;第 3~4 章由刘德辉编写;第 6~8 章由闫聪编写;第 9~10 章由高琦编写。本书由闫聪统稿并担任主编,刘德辉担任副主编。

全书由山西大学工程学院李崇贺教授担任主审,并提出了许多宝贵意见,在此表示感谢。

由于作者的水平有限,难免有错误和不恰当之处,希望读者能提出宝贵意见,以便修改和提高。

作 者
2003 年 3 月

目 录

第 1 章 电路的基本概念和基本定律	1
1.1 电路和电路模型	1
1.1.1 电路	1
1.1.2 电路模型	1
1.2 电路的主要物理量	2
1.2.1 电流	2
1.2.2 电压	3
1.2.3 电位	4
1.2.4 电动势	5
1.2.5 功率	6
1.3 电阻元件	7
1.3.1 电阻元件	7
1.3.2 欧姆定律	8
1.3.3 电阻元件的功率	8
1.4 基尔霍夫定律	9
1.4.1 电路中常用术语	9
1.4.2 基尔霍夫第一定律	9
1.4.3 基尔霍夫第二定律	10
1.5 电压源和电流源	12
1.5.1 电压源	12
1.5.2 电流源	13
1.5.3 电路的工作状态	14
课程内容与要求	15
思考题与习题	16
第 2 章 电阻电路分析	19
2.1 电阻的串联、并联和串并联	19
2.1.1 等效网络的定义	19
2.1.2 电阻的串联	20
2.1.3 电阻的并联	21
2.1.4 电阻的串并联	24

2.2 电阻的星形连接和三角形连接	29
2.2.1 电阻的Y形, Δ 形连接	29
2.2.2 Y形与 Δ 形的等效变换	29
2.3 两种电源模型的等效变换	31
2.4 支路分析法	33
2.4.1 支路电流法	33
2.4.2 支路电压法	34
2.4.3 支路分析法的解题步骤	34
2.5 节点分析法	35
2.5.1 节点法	35
2.5.2 弥尔曼定理	38
2.6 网孔分析法	39
2.7 叠加定理和齐性定理	41
2.7.1 叠加定理	41
2.7.2 齐性定理	43
2.8 戴维南定理和诺顿定理	44
2.8.1 戴维南定理	44
2.8.2 诺顿定理	49
2.9 最大功率传输	50
2.10 受控源和含受控源的简单电路的分析	51
2.10.1 受控源	51
2.10.2 含受控源的简单电路的分析	53
课程内容与要求	55
思考题与习题	55
第3章 正弦交流电路	61
3.1 正弦量的三要素	61
3.1.1 周期与频率	62
3.1.2 初相位与相位差	62
3.1.3 幅值与有效值	63
3.2 相量表示法的基本概念	65
3.2.1 复数的表示形式与运算	65
3.2.2 正弦量的相量表示法	67
3.3 基尔霍夫定律的相量形式	70
3.4 电阻的正弦交流电路	71
3.4.1 电阻元件电压电流关系的相量形式	71
3.4.2 正弦电路中电阻的功率	72
3.5 电感元件和电感的正弦交流电路	73
3.5.1 电感元件	73

3.5.2	电感元件电压电流关系的相量形式	75
3.5.3	正弦电路中电感元件的功率	76
3.6	电容元件和电容的正弦交流电路	78
3.6.1	电容元件	78
3.6.2	电容元件电压电流关系的相量形式	79
3.6.3	正弦交流电路中电容的功率	80
3.7	RLC 串联电路及复阻抗	82
3.7.1	串联电路电压电流关系及复阻抗	82
3.7.2	电路的性质	83
3.8	RLC 并联电路及复导纳	84
3.8.1	并联电路的电压电流关系及复导纳	84
3.8.2	并联电路的相量图	86
3.9	复阻抗与复导纳的等效变换	87
3.10	正弦交流电路的计算	89
3.10.1	简单正弦交流电路的计算	89
3.10.2	复杂正弦交流电路的计算	92
3.11	正弦交流电路的功率	95
3.11.1	瞬时功率	95
3.11.2	平均功率与功率因数	95
3.11.3	无功功率	96
3.11.4	视在功率	96
3.11.5	复功率	97
3.12	功率因数的提高	99
3.12.1	提高供电网络功率因数的意义	99
3.12.2	提高供电网络功率因数的方法	100
	课程内容与要求	102
	思考题与习题	103
第 4 章	含耦合电感的电路分析	109
4.1	耦合电感及其电压电流关系	109
4.1.1	耦合线圈的互感与耦合系数	109
4.1.2	耦合线圈的电压电流关系	110
4.1.3	耦合线圈的同名端	111
4.2	耦合线圈的连接及其去耦等效电路	113
4.2.1	耦合线圈的串联	113
4.2.2	耦合线圈的并联及去耦等效电路	115
4.3	含耦合电感的正弦交流电路计算	117
4.4	空心变压器	119
4.4.1	回路电压方程式	120

4.4.2 原边等效电路	121
课程内容与要求	122
思考题与习题	123
第5章 网络函数和频率特性	126
5.1 网络函数	126
5.2 RC电路的频率特性	128
5.2.1 电路的频率特性	128
5.2.2 RC低通滤波器	129
5.2.3 RC高通滤波器	130
5.2.4 RC带通滤波器	130
5.2.5 其他形式滤波器	131
5.3 谐振电路	132
5.3.1 RLC串联谐振电路	132
5.3.2 RLC串联谐振电路的频率特性	134
5.3.3 RLC并联谐振电路	135
5.3.4 谐振电路的应用	138
课程内容与要求	138
思考题与习题	139
第6章 三相交流电路	140
6.1 对称三相正弦量	140
6.1.1 对称三相电压源	140
6.1.2 相序	141
6.2 三相电源电压和三相负载的连接	141
6.2.1 三相电源的连接	141
6.2.2 三相负载的连接	143
6.2.3 电源与负载连接	143
6.3 三相电路中的电压和电流	143
6.3.1 $Y-Y(Y_0-Y_0)$ 电路中的电压和电流	143
6.3.2 $\Delta-\Delta$ 电路中的电压和电流	145
6.4 对称三相电路的计算	147
6.4.1 Y_0-Y_0 对称三相电路	147
6.4.2 $Y-\Delta$ 对称三相电路	148
6.4.3 复杂的对称三相电路	150
6.5 不对称三相电路的计算	151
6.5.1 三相四线制不对称电路($Z_N \neq 0$)	151
6.5.2 三相四线制不对称电路($Z_N = 0$)	153
6.6 三相电路的功率	154
6.6.1 有功功率	154

6.6.2 无功功率	155
6.6.3 视在功率	155
6.6.4 瞬时功率	156
6.6.5 功率测量	156
课程内容与要求	157
思考题与习题	158
第7章 二端口网络	161
7.1 二端口网络参数方程	161
7.1.1 Z 参数方程	161
7.1.2 Y 参数方程	162
7.1.3 A 参数方程	163
7.1.4 H 参数方程	163
7.2 二端口网络参数的计算	164
7.2.1 Z 阻抗参数求法	164
7.2.2 Y 导纳参数的求法	165
7.2.3 A 传输参数的求法	166
7.2.4 H 混合参数的求法	167
7.2.5 复杂二端口网络参数的求法	168
7.3 互易二端口网络的等效电路	169
7.3.1 T 形等效电路	169
7.3.2 Π 形等效电路	170
7.4 二端口网络的应用	171
7.4.1 实验参数测定	171
7.4.2 理想变压器	172
7.4.3 含二端口网络的电路计算	175
课程内容与要求	176
思考题与习题	177
第8章 周期性非正弦电流电路	180
8.1 周期性非正弦量	180
8.1.1 周期性和非周期性的波形	180
8.1.2 周期性非正弦量的产生	181
8.2 正弦波的合成与周期性非正弦量的分解	181
8.2.1 正弦波的合成	181
8.2.2 周期性非正弦量的分解	182
8.2.3 波形对称和分解规律	184
8.3 周期性非正弦量的有效值和平均值	186
8.3.1 最大值	186
8.3.2 有效值	186

8.3.3 平均值	187
8.4 周期性非正弦量的有功功率	188
8.4.1 有功功率	188
8.4.2 视在功率	189
8.5 周期性非正弦电流电路的计算	189
课程内容与要求	192
思考题与习题	193
第9章 电路中的过渡过程	195
9.1 换路定律与初始值的计算	195
9.1.1 换路定律	195
9.1.2 初始值的计算	196
9.2 RC 电路的过渡过程	198
9.2.1 RC 电路的零输入响应	198
9.2.2 RC 电路在直流激励下的零状态响应	202
9.2.3 RC 电路的全响应	204
9.3 RL 电路的过渡过程	206
9.3.1 RL 电路的零输入响应	206
9.3.2 RL 电路在直流激励下的零状态响应	208
9.3.3 RL 电路在正弦激励下的零状态响应	210
9.4 分析一阶电路的三要素法	211
9.4.1 直流激励下一阶电路的三要素法	211
9.4.2 正弦激励下一阶电路的三要素法	212
9.5 阶跃函数和阶跃响应	217
9.5.1 阶跃函数	217
9.5.2 一阶电路的阶跃响应	219
9.6 微分电路和积分电路	221
9.6.1 微分电路	221
9.6.2 积分电路	222
9.7 冲激函数和冲激响应	222
9.7.1 冲激函数	222
9.7.2 一阶电路的冲激响应	224
9.8 二阶电路的零输入响应	227
9.8.1 $R > 2\sqrt{\frac{L}{C}}$ 时非振荡放电	228
9.8.2 $R = 2\sqrt{\frac{L}{C}}$ 时临界放电	230
9.8.3 $R < 2\sqrt{\frac{L}{C}}$ 时振荡放电	231

课程内容与要求·····	235
思考题与习题·····	236
第 10 章 磁路和铁心线圈电路 ·····	242
10.1 磁场的基本物理量·····	242
10.1.1 磁感应强度·····	242
10.1.2 磁通及磁通连续性原理·····	242
10.1.3 磁导率·····	244
10.1.4 磁场强度及安培环路定律·····	244
10.2 铁磁物质的磁化曲线·····	246
10.2.1 起始磁化曲线·····	246
10.2.2 磁滞回线·····	247
10.2.3 基本磁化曲线·····	248
10.3 磁路及磁路定律·····	250
10.3.1 磁路·····	250
10.3.2 磁路的欧姆定律·····	251
10.3.3 磁路的基尔霍夫定律·····	252
10.3.4 直流磁路与直流电路的比较·····	253
10.4 恒定磁通磁路的计算·····	254
10.4.1 无分支均匀恒定磁通磁路的计算·····	254
10.4.2 无分支不均匀恒定磁通磁路的计算·····	256
10.5 交流铁心线圈的铁心损耗·····	259
10.5.1 磁滞损耗·····	259
10.5.2 涡流损耗·····	259
10.5.3 铁心损耗·····	260
10.6 交流铁心线圈的波形畸变·····	261
10.6.1 交流铁心线圈电压与磁通的关系·····	261
10.6.2 正弦电压作用下电流的波形·····	262
10.6.3 正弦电流作用下电压的波形·····	264
10.7 交流铁心线圈的电路模型·····	264
10.7.1 不考虑线圈电阻及漏磁通的电路模型·····	264
10.7.2 考虑线圈电阻及漏磁通的电路模型·····	266
课程内容与要求·····	268
思考题与习题·····	269
附录 主要符号说明 ·····	272
部分思考题与习题参考答案 ·····	275
参考文献 ·····	281

第1章 电路的基本概念和基本定律

电在科研、国防、工农业生产和生活等各方面都得到了广泛应用,现代一切新的科学技术的发展无不与电有着密切的关系。现代工业中的各种生产机械如机床、起重机、水泵、鼓风机、轧钢机和铸造设备等都是用电动机来驱动的;生产过程中的一些物理量,如温度、压力、速度、流量等,可用电的方法来测量,以实现生产过程的自动控制;现代农业的发展也离不开电,如采用电力设备进行排灌、对农产品进行加工等;电更是现代生活中所不可缺少的,如电灯、电话、电视、通信等都是电的应用;在科学技术的发展中,如航天航空、对太空的探索、计算机技术的发展等,都依赖于电的应用。电工技术基础是研究电能和技术领域中应用的技术基础课程,是电类专业重要的专业基础课之一。本章主要介绍有关电路的基本概念、基本定律以及电路分析的常用方法。

1.1 电路和电路模型

1.1.1 电路

电流通过的路径称为电路,有时也称为网络。电路的作用大致可分为以下几种:提供能量(如供电电路)、传送和处理信号(如放大电路和通信线路等)、测量电量(如万用表电路测量电压、电流、电阻等)、存储信息(如计算机的存储器电路用来存放数据和程序等)等。电路是各种各样的,其功能也各不相同,但它们都受共同的基本规律支配。各种实际的电路都是由各种元器件(如电阻器、电容器、线圈、变压器、晶体管、电源等)通过导线连接起来组成,并实现各种功能。图 1-1(a)所示为最简单的电路之一,它由干电池、开关、灯泡和连接导体组成,其中干电池为电源,给电路提供电能;灯泡是用电的器件,称为负载;导线作为连接导体使电流构成通路;开关是控制电路接通或断开的器件。电路一般是由电源、负载、连接导线和开关四个基本部分构成的。

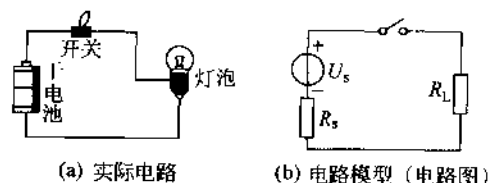


图 1-1 简单电路及其电路图

1.1.2 电路模型

构成电路的电气器件的电磁性能一般是比较复杂的,绝大多数器件具备多种电磁效应。例如,实际的电阻器具有对电流呈现阻力的性质,当其上通过电流时要消耗电能,而

电流又产生磁场,将电能转化成磁场能存储起来;实际的电源总有内阻,在使用时不可能总保持一定的端电压。为了便于分析,在一定的条件下,必须对实际器件进行理想化,忽略实际器件的次要性质,用一个足以表征其主要性质的模型来表示。也就是说,可用数学方法精确定义的集总参数元件来构成模型,每一种集总参数元件只表示一种基本现象。例如,灯泡的电感是极其小的,可把灯泡看成一个理想的电阻元件;一个新的干电池的内阻同电路中的电阻相比可忽略不计,可将干电池看成是电压恒定的理想电压源;在连接导线很短的情况下,其电阻可忽略不计。因此,理想电阻元件就构成了灯泡的模型,理想电压源构成了干电池的模型,理想导体则构成了连接导体的模型。集总参数元件包括:只表示消耗电能(转换为热能或其他形式能量)的电阻元件、只表示存储电能的电容元件、只表示存储磁能的电感元件、电流源元件和电压源元件。用抽象的理想元件及其组合近似地代替实际电路元件,就构成了与实际电路相对应的电路模型。无论是简单还是复杂的实际电路都可通过理想化的电路模型进行描述。有些实际器件的模型较简单,只需涉及一种理想元件,有些实际器件的模型较复杂,需用几种理想元件构成。

在电路分析中所研究的电路实际上是电路模型的简称。为器件建立模型时,采用集总概念是有条件的。集总是指将器件的电场和磁场分隔开,电场只与电容元件相关联,磁场只与电感元件相关联,因此两种场之间就不存在相互作用。而电场与磁场间的相互作用将产生电磁波,一部分能量将通过辐射损失掉。只有在辐射能量可忽略不计的情况下才能采用集总概念,即要求器件的尺寸远远小于正常工作频率所对应的波长。例如,我国电力供电的频率为 50 Hz,相应的波长为 6 000 km,对于以此为工作频率的设备,如果其尺寸与这一波长相比可忽略不计,则可采用集总概念;如果设备的尺寸与这一波长相比不可忽略不计,则不能采用集总参数而要采用分布参数来表征。本书所讨论的均为集总参数电路。

电路中的电阻、电感、电容、电压源和电流源元件具有两个端钮,称为二端元件或单口元件。除二端元件外,如受控源、理想变压器、耦合电感等具有四个端钮,称为四端元件或双口元件。

用国家标准所规定的符号表示各种理想元件的电路模型图称为电路原理图,简称电路图。图 1-1(b)所示为与图 1-1(a)相对应的电路图。

1.2 电路的主要物理量

电路分析中经常要用到许多物理量,如电流、电压、电位、电动势、功率等,本节将介绍这些物理量。

1.2.1 电流

电子和质子都是带电的粒子,电子带负电荷,质子带正电荷,所带电荷的多少称为电量。带电粒子的定向移动形成电流。单位时间内通过导体截面的电量定义为电流强度,用它来衡量电流的大小。电流强度一般简称为电流,用 i 表示,即

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

其中, dq 表示在 dt 时间内通过导体截面的电量; 在国际单位制(SI)中, 电量的单位为库(C), 时间的单位为秒(s), 电流的单位为安(A), 6.24×10^{18} 个电子所带的电量等于1库。常用的电流单位还有千安(kA)、毫安(mA)、微安(μ A)等。

如果电流的大小和方向不随时间而变化, 这种电流就称为直流电流, 简称直流(DC); 如果电流的大小和方向均随时间而变化, 这种电流就称为交流电流, 简称交流(AC)。在电路分析中, 不随时间而变化的直流量一般用大写字母来表示, 而交流量用小写字母来表示。因此, 当要表示直流电流时, 式(1-1)应写成

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

正电荷移动的方向规定为电流的方向。但在实际问题中, 电流的实际方向往往很难判断, 也就难以在电路图中标出。特别是在交流电路中, 不可能用一个固定的箭头来表示电流的实际方向。因此, 引入参考方向, 参考方向是任意选定的, 在电路图中用箭头表示, 并规定: 若电流的实际方向与参考方向一致时, 电流为正值; 若电流的实际方向与参考方向不一致时, 电流为负值。如图1-2所示为某电路中的一个元件, 其电流的实际方向事先不知道, 可能从A流向B, 也可能从B流向A, 可先任意选定一个方向作为参考方向并在电路图中用箭头标出。图1-2中选定的参考方向为从A指向B, 该参考方向与电流的实际方向不一定一致。若 $i > 0$, 表明电流的实际方向与参考方向一致, 如图1-2(a)所示; 若 $i < 0$, 表明电流的实际方向与参考方向不一致, 如图1-2(b)所示。在选定的参考方向下, 电流值的正、负就代表了它的实际方向。

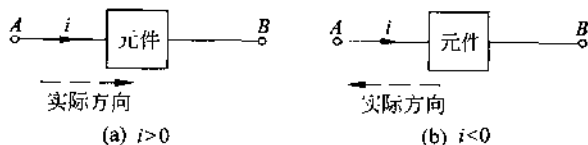


图1-2 电流的参考方向和实际方向的关系

1.2.2 电压

电荷在电路中移动, 就必定受到电场力的作用, 也就是电场力对电荷做了功, 电荷在电路的某些部分获得能量而在其他部分失去能量。为了衡量电场力做功的能力, 引入物理量——电压。电场力把单位电荷从A点移动到B点所做的功定义为A点到B点间的电压, 用 u_{AB} 表示, 即

$$u_{AB} = \frac{d\omega_{AB}}{dq} \quad (1-3)$$

式中, $d\omega_{AB}$ 表示电场力将电量为 dq 的电荷从A移动到B所做的功; 在SI中, 功的单位为焦(J); 电压的单位为伏(V)。电压常用的单位还有千伏(kV)、毫伏(mV)、微伏(μ V)等。

当电路为直流时, 式(1-3)应写成

$$U_{AB} = \frac{W_{AB}}{Q} \quad (1-4)$$

若正电荷由 A 移动到 B , 获得能量, 则表明 A 点为负极, B 点为正极; 若正电荷由 A 移动到 B , 失去能量, 则表明 A 点为正极, B 点为负极。正电荷在电路中移动时电能的得或失表现为电压升或电压降。

电压是有方向的, 规定电场力移动正电荷的方向为电压的方向。

对于电路中两点间的电压, 也可任意选定一个参考方向, 并用参考方向和电压值的正、负来表示电压的实际方向。如图 1-3 所示, 选定电压的参考方向从 A 指向 B , 可采用以下三种方法中的一种来表示: 用一个箭头表示如图 1-3(a) 所示; 也可用正(+)、负(-) 极性表示如图 1-3(b) 所示, 称为参考极性; 还可用双下标来表示 u_{AB} 。

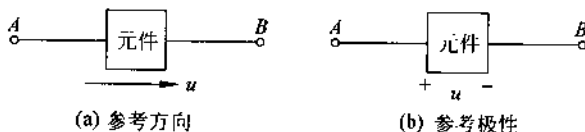


图 1-3 电压的参考方向与参考极性的表示方法

在电路分析中, 可先在电路图中标出电压、电流的参考方向而不必考虑电压、电流的实际方向, 再根据所定的参考方向列出方程, 计算出结果, 而计算结果的正负值与选定的参考方向就反映了它们的实际方向。如果结果为正, 表明电流或电压的实际方向与参考方向一致; 如果结果为负, 表明电流或电压的方向与参考方向相反。需要注意的是: 参考方向一经选定, 在分析电路的过程中就不能再变动。

电路分析中的电压和电流的参考方向是可以任意选定的, 但为了方便起见, 一般将电压和电流的参考方向选得一致, 称为关联参考方向。因此, 如无特别说明, 可在电路中只标出电压或电流的参考方向, 另一个的参考方向选为关联参考方向, 两者的参考方向一致。

1.2.3 电位

在电路分析中, 电位是一个很重要的概念。在电路中任选一节点 O 作为参考点, 则该电路中某一点 A 到参考点的电压就叫做 A 点的电位, 用 v_A 来表示, 即

$$v_A = u_{AO}$$

电位的单位和电压的一样为伏(V), 若在直流电路中则用 V_A 来表示。根据定义, 可知参考点的电位为参考点到参考点的电压, 等于 0 V, 参考点又叫做零电位点。

若已知 A, B 两点的电位分别为 v_A, v_B , 则 A, B 两点间的电压为

$$u_{AB} = u_{AO} + u_{OB} = u_{AO} - u_{BO}$$

即

$$u_{AB} = v_A - v_B \quad (1-5)$$

式中, 表明电路中 A, B 两点间的电压等于 A 点和 B 点电位的差。因此, 电压也叫做电位差。

若 $u_{AB} > 0$, 即 $v_A > v_B$, 表明 A 点的电位比 B 点的高; 反之, 若 $u_{AB} < 0$, 即 $v_A < v_B$, 表明 A 点的电位比 B 点的低。

在电路中,选择不同的参考点,同一点的电位是不同的。因此,没有确定参考点,某点的电位是毫无意义的。一旦选定了参考点,则电路中其他各点的电位就确定了。电路中任意两点的电压不会随参考点的变化而变化,也就是说,任意两点的电位差(即电压)是不变的。在电子线路中,一般选择公共线作为参考点,在电路图中用“⊥”表示。

例 1-1 如图 1-4 所示电路中,已知 $u_2 = -4 \text{ V}$, $u_3 = -5 \text{ V}$, $u_5 = -7 \text{ V}$, $u_6 = 2 \text{ V}$, $u_7 = 4 \text{ V}$,试求 u_1 和 u_4 。

解 根据电压的定义,可知

$$\begin{aligned} u_1 &= u_{dc} = u_{df} + u_{fe} + u_{ec} \\ &= -u_7 + u_6 - u_5 \\ &= -4 + 2 - (-7) = 5 \text{ (V)} \end{aligned}$$

同理,可得

$$\begin{aligned} u_4 &= u_{ab} = u_{ac} + u_{cd} + u_{db} \\ &= u_2 - u_3 - u_5 \\ &= (-4) - 5 - (-5) = -4 \text{ (V)} \end{aligned}$$

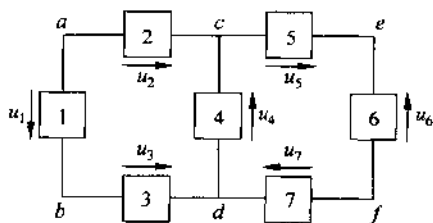


图 1-4 例 1-1 电路图

例 1-2 如图 1-4 所示电路图中,试分别求(1)以 d 为参考点;(2)以 b 为参考点时 a, e 点的电位及两种情况下的电压 u_{ae} 。

解 (1) 以 d 为参考点时, $v_d = 0 \text{ V}$, 则

$$v_a = u_{ad} = u_1 + u_3 = -4 + (-5) = -9 \text{ (V)}$$

$$v_e = u_{ed} = -u_5 + u_7 = -2 + 4 = 2 \text{ (V)}$$

$$u_{ae} = v_a - v_e = -9 - 2 = -11 \text{ (V)}$$

(2) 以 b 为参考点时, $v_b = 0 \text{ V}$, 则

$$v_a = u_{ab} = u_1 = -4 \text{ (V)}$$

$$v_e = u_{eb} = -u_5 + u_7 - u_3 = -2 + 4 - (-5) = 7 \text{ (V)}$$

$$u_{ae} = v_a - v_e = -4 - 7 = -11 \text{ (V)}$$

1.2.4 电动势

如图 1-5 所示的电源有两个极板 A, B , 在电源的内部电路中, 电源力将单位正电荷从电源的负极(B)移动到正极(A)所做的功, 称为电源的电动势, 用 e 表示, 即

$$e = \frac{dw_{BA}}{dq} \quad (1-6)$$

式中, dw_{BA} 表示电源力将正电荷 dq 从 B 移动到 A 所做的功; 电动势与电压有相同的单位伏(V)。

电动势的方向规定为在电源的内部由负极指向正极, 是从低电位指向高电位。电动势只存在于电源的内部电路中, 而电压是对外部电路而言, 两者的方向是不同的。

对于一个电源设备来说, 忽略其内部损耗, 若其电动势 e 与其两端的电压 u 的参考方向选为相反, 则有 $u = e$ (如图 1-6(a) 所示); 若其电动势 e 与其两端的电压 u 的参考方向选为一致, 则有 $u = -e$ (如图 1-6(b) 所示)。通常讨论电源时都用其端电压来表示。

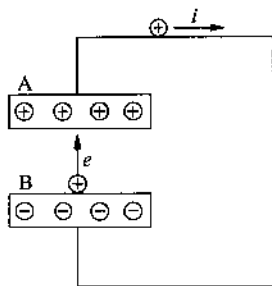
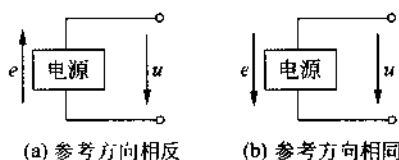


图 1-5 电源对正电荷做功示意图

图 1-6 电源的电动势 e 与端电压 u

1.2.5 功率

电路中存在能量的流动,将单位时间内电路吸收或释放的能量称为该电路的功率,用 p 表示,即

$$p = \frac{dw}{dt} = \frac{dw}{dq} \cdot \frac{dq}{dt} = ui \quad (1-7)$$

式中, dw 表示在 dt 时间内电路转换的电能;在 SI 中,功率的单位为瓦(W)。常用的单位还有千瓦(kW)、毫瓦(mW)等。从式(1-7)中可看出,电路的功率也等于该段电路的电压与电流的乘积。

当电路为直流时,式(1-7)应写成

$$P = UI \quad (1-8)$$

当一段电路的电压 u 和电流 i 取关联参考方向时($p=ui$),若 $p>0$,则表明该段电路上的电压和电流的实际方向一致,正电荷在电场力作用下做了功,电路吸收了电能;若 $p<0$,则表明该段电路上的电压和电流的实际方向不一致,外力克服电场力做了功,电路释放电能。

当一段电路的电压 u 和电流 i 取非关联参考方向时($p=-ui$),若 $p>0$,则表明该段电路上的电压和电流的实际方向不一致,外力克服电场力作用做了功,电路释放电能;若 $p<0$,则表明该段电路上的电压和电流的实际方向一致,正电荷在电场力作用下做了功,电路吸收了电能。

在一个电路中,一部分元件或电路释放的电能一定等于其他部分元件或电路吸收的电能,符合能量守恒定律,整个电路的电能是平衡的。

在 t_0 到 t_1 的时间内,电路所吸收的电能为

$$W = \int_{t_0}^{t_1} p dt \quad (1-9)$$

当 p 为常量时,式(1-9)可写成

$$W = P(t_1 - t_0) \quad (1-10)$$

式中,电能 W 的单位是焦(J),1焦表示 1W 的用电设备在 1s 内所吸收的电能。常用的单位还有千瓦时(kW·h),1千瓦时也就是平时所说的 1 度电。