



教育部 高职高专规划教材

电工电子技术

● 杨 凌 主编

化学工业出版社
教材出版中心

教育部高职高专规划教材

电工电子技术

杨 凌 主编

化学工业出版社
教材出版中心
• 北 京 •

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

电工电子技术/杨凌主编. —北京: 化学工业出版社,
2002.5

教育部高职高专规划教材

ISBN 7-5025-3815-1

I. 电… II. 杨… III. ①电工技术-高等学校:
技术学校-教材②电子技术-高等学校:技术学校-教
材 IV. TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 027299 号

教育部高职高专规划教材

电工电子技术

杨 凌 主编

责任编辑: 王丽娜

责任校对: 陈 静

封面设计: 郑小红

*

化学工业出版社 出版发行
教材出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

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

*

新华书店北京发行所经销

北京市彩桥印刷厂印刷

北京市彩桥印刷厂装订

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 12 字数 285 千字

2002 年 6 月第 1 版 2004 年 6 月北京第 3 次印刷

ISBN 7-5025-3815-1/G·1011

定 价: 18.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

出版说明

高职高专教材建设工作是整个高职高专教学工作中的重要组成部分。改革开放以来,在各级教育行政部门、有关学校和出版社的共同努力下,各地先后出版了一些高职高专教育教材。但从整体上看,具有高职高专教育特色的教材极其匮乏,不少院校尚在借用本科或中专教材,教材建设落后于高职高专教育的发展需要。为此,1999年教育部组织制定了《高职高专教育专门课程基本要求》(以下简称《基本要求》)和《高职高专教育专业人才培养目标及规格》(以下简称《培养规格》),通过推荐、招标及遴选,组织了一批学术水平高、教学经验丰富、实践能力强的教师,成立了“教育部高职高专规划教材”编写队伍,并在有关出版社的积极配合下,推出一批“教育部高职高专规划教材”。

“教育部高职高专规划教材”计划出版500种,用5年左右时间完成。这500种教材中,专门课(专业基础课、专业理论与专业能力课)教材将占很高的比例。专门课教材建设在很大程度上影响着高职高专教学质量。专门课教材是按照《培养规格》的要求,在对有关专业的人才培养模式和教学内容体系改革进行充分调查研究和论证的基础上,充分吸取高职、高专和成人高等学校在探索培养技术应用性专门人才方面取得的成功经验和教学成果编写而成的。这套教材充分体现了高等职业教育的应用特色和能力本位,调整了新世纪人才必须具备的文化基础和技术基础,突出了人才的创新素质和创新能力的培养。在有关课程开发委员会组织下,专门课教材建设得到了举办高职高专教育的广大院校的积极支持。我们计划先用2~3年的时间,在继承原有高职高专和成人高等学校教材建设成果的基础上,充分汲取近几年来各类学校在探索培养技术应用性专门人才方面取得的成功经验,解决新形势下高职高专教育教材的有无问题;然后再用2~3年的时间,在《新世纪高职高专教育人才培养模式和教学内容体系改革与建设项目计划》立项研究的基础上,通过研究、改革和建设,推出一大批教育部高职高专规划教材,从而形成优化配套的高职高专教育教材体系。

本套教材适用于各级各类举办高职高专教育的院校使用。希望各用书学校积极选用这批经过系统论证、严格审查、正式出版的规划教材,并组织本校教师以对事业的责任感对教材教学开展研究工作,不断推动规划教材建设工作的发展与提高。

教育部高等教育司

2001年4月3日

前 言

本书力求有较宽的覆盖面以容纳较大的信息量,力求合理的理论深度,并淡化原理的分析,强化功能的应用。主要有以下几个方面的特点。

1. 体系方面 考虑到高等职业技术教育的特点、课程性质、课时数及教学对象等因素,对电工电子技术领域的基本内容作了适当的精选,内容精炼,各章节前后呼应,自成一体。

2. 内容方面 作为非电类专业的教材,本书不讨论综合性的用电系统和专用设备,只涉及用电技术的一般规律和常用的电气设备、元件及基本电路,并注意融入电技术领域的新知识。

3. 设备及元器件 重点介绍符号、基本结构、外特性、功能及应用,尽量不涉及其内部工作过程的分析。

4. 电路方面 扼要介绍基本的工作原理、基本分析方法,强化应用中的实际问题。

5. 习题方面 精选习题,按照“强化概念、定性认识、定性讨论”的原则,尽量减少计算性习题。

6. 语言方面 充分利用图、表等形象化的语言,使问题的叙述更为简炼、直观、清晰。

本书打“※”的内容作为选讲内容,教师在讲授时可灵活掌握。一般应视专业的需要、学时的多少和学生的实际水平而取舍。

本书由杨凌主编,并编写第一、六、七、八、九章,第二章一至七节及全部附录。董力编写第二章八、九、十节及第三、四、五章,耿惊涛编写第十章。

本书由屈义襄主审,屈老师仔细审阅了初稿,提出了许多宝贵的意见,于占河、朱秀兰、高嵩、苑秀香、姜敏夫等也参加了本书的审稿工作。在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中错误和不妥之处在所难免,殷切希望使用本书的教师和广大读者不吝批评指正。

编 者

2002 年 2 月

本书常用符号说明

一、基本符号

1. 电流和电压

i 、 u	电流、电压瞬时值通用符号
I 、 U	正弦电流、电压有效值；直流电流、电压通用符号
$\dot{I}$ 、 $\dot{U}$	正弦电流、电压的相量表示符号
I_L 、 U_L	线电流、线电压
I_P 、 U_P	相电流、相电压
$I_{\text{大写下标}}$ 、 $U_{\text{大写下标}}$	直流量
$I_{\text{小写下标}}$ 、 $U_{\text{小写下标}}$	有效值
$i_{\text{大写下标}}$ 、 $u_{\text{大写下标}}$	总瞬时值（直流 + 交流）
$i_{\text{小写下标}}$ 、 $u_{\text{小写下标}}$	交流瞬时值
U_{CC} 、 U_{EE} 、 U_{DD} 、 U_{SS} 、 U_{BB}	直流电源电压

2. 功率和效率

P	功率通用符号
p	瞬时功率
Q	无功功率
S	视在功率
P_{om}	最大输出交流功率
P_V	电源消耗的功率
η	效率

3. 频率

f	频率通用符号
ω	角频率通用符号
f_0 、 ω_0	谐振频率、谐振角频率
f_{bw}	通频带

4. 电阻、电导、电容、电感

R	电阻通用符号
RP	电位器通用符号
G	电导通用符号
C	电容通用符号
L	电感通用符号
R_0	信号源内阻
R_L	负载电阻

二、设备、器件参数及符号

1. 变压器与电动机

Φ	磁通量
K	变比

M	电动机
n	转速
p	磁极对数
s	转差率
T_{ST} 、 I_{ST}	启动转矩、启动电流
T_m 、 T_N 、 T_L	最大转矩、额定转矩、负载阻力矩
P_{Cu} 、 P_{Fe}	铜损耗、铁损耗
2. 二极管	
VD	二极管的通用符号
I_F	二极管的最大整流电流
U_{RM}	二极管的最高反向工作电压
U_{th}	二极管的门坎电压
U_{BR}	二极管的反向击穿电压
VZ	稳压二极管的通用符号
U_Z	稳压二极管的稳定电压
3. 三极管	
VT	三极管的通用符号
β	三极管共射电流放大系数
I_{CBO}	发射极开路时 B-C 间的反向电流
I_{CEO}	基极开路时 C-E 间的穿透电流
$U_{BR(CEO)}$	三极管基极开路时集-射极间的击穿电压
U_{CES}	三极管的饱和管压降
P_{CM}	集电极最大允许耗散功率
4. 场效应管	
g_m	跨导
$U_{GS(th)}$	增强型 MOS 管的开启电压
$U_{GS(off)}$	耗尽型 MOS 管的夹断电压
I_{DSS}	耗尽型 MOS 管 $U_{GS}=0$ 时的漏极电流
5. 晶闸管	
U_{FRM}	正向重复峰值电压
U_{RRM}	反向重复峰值电压
I_F	正向平均电流
I_H	维持电流
6. 放大器及集成运算放大器	
A	放大倍数(增益)的通用符号
r_i	放大器的输入电阻
r_o	放大器的输出电阻
A_{od}	运放的开环差模增益
r_{id}	运放的差模输入电阻
r_{od}	运放的差模输出电阻
K_{CMR}	共模抑制比
三、其他符号	
Q	品质因数

Q	静态工作点
Q	电(荷)量
Z	阻抗
φ	相位角、初相位
T	周期
U_{REF}	参考电压
U_T	电压比较器的阈值电压
R_e	接地电阻
R_r	人体电阻
$CLOCK$	时钟
CP	时钟脉冲
F	触发器
S	开关
A/D	模/数转换器
D/A	数/模转换器

目

录

第一章 直流电路	1
第一节 电路的基本概念	1
一、电路的组成	1
二、实际电路和电路模型	2
三、电路中的基本物理量	2
第二节 电路的基本定律	3
一、欧姆定律	4
二、基尔霍夫定律 (Kirchhoff's Law)	4
第三节 电源的工作状态和电气设备的 额定值	6
一、带载工作状态	6
二、开路 (空载) 状态	8
三、短路状态	8
第四节 线性电路的两个基本原理	9
一、叠加原理 (Superposition theorem)	9
二、等效电源定理	10
第五节 电路中电位的计算	11
第六节 直流电桥	13
※第七节 受控源 (Controlled source)	14
思考题与习题	15
第二章 正弦交流电路	17
第一节 交流电的基本概念	17
一、正弦交流电的三要素	17
二、正弦交流电的相位差	19
三、正弦交流电的有效值	20
第二节 正弦量的相量表示方法	20
一、用旋转相量表示正弦量	21
二、相量图	21
三、正弦交流电的相量分析方法	22
第三节 交流电路中的基本元件	22
一、电阻元件	23
二、电感元件	23
三、电容元件	24
第四节 单一参数的正弦交流电路	26
一、纯电阻电路	26
二、纯电感电路	27
三、纯电容电路	29
第五节 电阻、电感与电容元件串联的	

交流电路	30
第六节 电路中的谐振	33
一、串联谐振	33
二、并联谐振	34
第七节 功率因数的提高	35
第八节 三相交流电源	37
第九节 三相负载的连接	38
一、负载的星形连接	39
二、负载的三角形连接	40
第十节 三相电路的功率	41
思考题与习题	42
第三章 磁路与变压器	44
第一节 磁路的基本概念	44
一、铁磁材料	44
二、磁路	45
三、磁滞现象	46
四、涡流	46
第二节 交流铁心线圈电路	47
第三节 变压器	48
一、变压器的基本结构	48
二、变压器的工作原理	49
三、变压器的外特性	50
四、变压器的损耗及效率	51
第四节 几种常用变压器	51
一、电力变压器	51
二、自耦变压器	52
三、互感器	53
四、电焊变压器	54
第五节 变压器的额定值及型号	54
一、额定值	55
二、型号	55
思考题与习题	55
第四章 电动机	57
第一节 三相异步电动机的结构及铭牌	57
一、三相异步电动机的基本结构	57
二、三相异步电动机铭牌	59
第二节 三相异步电动机的旋转磁场	60
第三节 三相异步电动机的转动原理	

及转差率	61	思考题与习题	88
第四节 三相异步电动机的运行	62	第六章 工业企业供电与用电	
一、电磁转矩 T 与转子转速 n_2 的 关系曲线	62	安全技术	90
二、转矩与功率的关系	62	第一节 供电系统概述	90
三、电磁转矩与电源电压的关系	63	一、供电系统的组成	90
第五节 三相异步电动机的启动	63	二、企业变配电所及一次系统	91
一、直接启动 (全压启动)	63	三、低压配电系统	91
二、降压启动	64	第二节 企业节约电能概述	92
第六节 三相异步电动机的调速	65	一、计划用电	92
一、变极 (p) 调速	65	二、发挥用电设备的效能	93
二、变频 (f) 调速	65	三、提高线路和用电设备的功率因数	93
三、变压调速	65	四、降低线路损失	93
第七节 单相异步电动机	65	五、技术革新	93
一、电容分相式异步电动机	65	六、加强用电管理, 强化节约 用电意识	93
二、罩极式单相异步电动机	66	第三节 安全用电	93
第八节 同步电动机	67	一、电流对人体的伤害	93
一、三相同步电动机的结构及 运转原理	67	二、可能的触电方式	94
二、微型同步电动机	68	三、接地和接零	94
第九节 直流电动机	69	四、触电急救	97
一、直流电动机的结构及转动原理	69	第四节 静电防护	98
二、直流电动机的励磁方式	69	一、静电危害	98
第十节 控制电机	70	二、静电防护	98
一、伺服电动机	70	第五节 电气火灾的防护及急救常识	99
二、步进电动机	71	一、电气防火的基本措施	100
思考题与习题	71	二、电气火灾急救常识	100
第五章 继电接触器控制系统	73	思考题与习题	101
第一节 常用低压电器	73	第七章 常用半导体器件	102
一、开关	73	第一节 半导体二极管	102
二、按钮、行程开关	75	一、二极管的基本结构和分类	102
三、熔断器	76	二、二极管的特性和主要参数	103
四、交流接触器	78	※三、特殊二极管	103
五、继电器	79	第二节 半导体三极管	105
第二节 三相异步电动机的控制电路	82	一、三极管的分类、结构、符号	105
一、正反转控制电路	82	二、三极管的电流分配与放大作用	105
二、位置控制 (又称行程控制、限位控制) 线路	84	三、特性曲线和工作状态	106
三、多地点控制线路	85	四、主要参数	107
四、时间继电器自动控制电路	85	五、温度对三极管参数的影响	108
五、顺序控制电路	86	第三节 场效应管	108
第三节 可编程控制器常识	86	一、场效应管的分类、结构、符号、 特性曲线	108
一、PLC 的基本结构	86	二、场效应管的主要参数	110
二、PLC 的基本工作原理	87	三、场效应管与双极型晶体管的比较	110
		第四节 晶闸管	111

一、晶闸管的分类、结构和封装形式	111	思考题与习题	137
二、晶闸管的工作原理	111	第九章 直流稳压电源	141
三、晶闸管的伏安特性	112	第一节 直流电源的组成	141
四、主要参数和型号命名方法	113	第二节 单相桥式整流电路	141
思考题与习题	113	一、电路的组成	142
第八章 放大器基础	115	二、工作原理	142
第一节 放大电路概述	115	三、负载上直流电压和电流的估算	142
一、放大的概念	115	四、二极管的选择	143
二、放大器的主要技术指标	115	第三节 滤波电路	143
第二节 单管共射放大器	117	一、电容滤波电路	143
一、放大器的构成原则	117	二、电感滤波电路	144
二、单管共射放大器的电路形式	117	三、复式滤波电路	145
三、放大器工作情况分析	118	第四节 稳压电路	146
第三节 射极输出器	120	一、硅稳压管稳压电路	146
一、电路构成	120	二、串联型稳压电路	146
二、射极输出器的特点	121	三、集成稳压电路	147
三、射极输出器的主要用途	121	四、开关型稳压电路	149
※第四节 场效应管放大器	122	※第五节 可控整流电路	149
一、场效应管的微变等效电路	122	思考题与习题	151
二、共源极放大器	122	第十章 数字电路	152
三、源极输出器	123	第一节 概述	152
第五节 放大器中的负反馈	123	一、数字电路的特点	152
一、反馈的概念及闭环增益方程	123	二、数制和代码	153
二、反馈的分类及判别方法	124	第二节 逻辑门电路	154
三、负反馈对放大器性能的影响	126	一、与门电路	155
第六节 功率放大器	127	二、或门电路	155
一、功率放大器的特点和工作状态	127	三、非门电路	156
二、乙类互补对称功率放大器	128	四、复合门电路	157
三、甲乙类互补对称功率放大器		第三节 触发器	159
(OCL 电路、OTL 电路)	128	一、基本 RS 触发器	159
四、功率管的散热问题	129	二、同步 RS 触发器	160
※第七节 差动放大器	129	三、JK 触发器	161
一、电路组成	129	四、D 触发器	162
二、差动放大器的工作情况	130	第四节 计数器	163
三、典型的差动放大器	131	一、二进制计数器	163
四、恒流源差动放大器	131	二、十进制计数器	163
第八节 集成运算放大器	131	三、任意进制计数器	165
一、集成运放的结构、符号与封装		第五节 译码及显示电路	166
形式	132	一、常用显示器件	166
二、集成运放的主要技术指标	132	二、译码及显示电路	167
三、理想运放的概念及其特点	133	※第六节 数/模和模/数转换	168
四、集成运放的基本应用电路	134	一、D/A 转换器	168
五、集成运放使用注意事项	136	二、A/D 转换器	169
		思考题与习题	170
		附录	172
		参考文献	178

第一章

直流电路

在各个电技术领域，人们可以通过电路来完成各种任务。不同电路具有不同功能，例如，供电电路用来传输电能；整流电路可将交流电变成直流电；滤波电路可以“滤掉”附加在有用信号上的噪声，完成信息处理任务；计算机中的存储器电路能存储原始数据、中间结果和最终结果，具有存储功能等等。电路种类繁多，其功能和分类方法也很多。然而，不论电路结构有多么不同，最复杂的和最简单的电路之间却有着最基本的共性，遵循着相同的规律。本章以最简单的直流电路为例讨论电路的基本概念、基本定律以及常用分析方法。

第一节 电路的基本概念

一、电路的组成

电路是电流的通路，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。

不管电路的具体形式如何变化，也不管有多么复杂，它都是由一些最基本的部件组成的。例如，在日常生活中的最常用手电筒电路就是一个最简单的电路，如图 1-1 所示。

它的组成，体现了所有电路的共性。由该图可以看出，组成电路的基本部件如下：

1. 电源

它是电路中电能的来源，如手电筒电路中的干电池。电源的功能是将其他形式的能量转换为电能。例如电池将化学能转换为电能，发电机将机械能转换成电能等等。

2. 负载

用电设备叫负载，它将电能转换成其他形式的能量。例如，手电筒中的灯泡就是负载，它将电能转换为光能。其他用电设备，如电动机将电能转换为机械能，电阻炉将电能转换为热能等等。在直流电路中，负载主要是电阻性负载，它的基本性质是当电流流过时呈现阻力，即有一定的电阻，并将电能转换为热能。

3. 中间环节

主要是指联接导线和控制电路通断的开关电器，以及保障安全用电的保护电器（如熔断

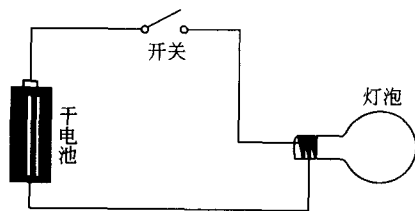


图 1-1 手电筒电路示意图

器等)。它们将电源及负载连接起来,构成电流通路。

所有电路从本质上来说都是由以上三个部分组成的。因此,电源、负载、中间环节总称为组成电路的“三要素”。

二、实际电路和电路模型

组成电路的实际部件很多,诸如发电机、变压器、电动机、电池、晶体管以及各种电阻器和电容器等。它们在工作过程中都和电磁现象有关。例如一个白炽灯,它除了具有消耗电能(电阻性)外,当通过电流时,它周围就要产生磁场,因而又兼有电感的性质。用这些实际部件组成电路时,如果不分主次,把各种性质都考虑在内,问题就非常复杂,给分析电路带来很大困难,甚至无法进行分析。

为了便于对实际电路进行分析,必须在一定的条件下对实际部件加以理想化,突出其主要的电磁特性,而忽略其次要因素,用一个足以表征其主要性质的模型(model)来表示它。这样,实际电路就可近似地看做是由这些理想电路元件所组成的电路,也可称作实际电路的电路模型。

各种理想元件都用一定的符号图形表示,图 1-2 示出了三种基本理想元件的符号图形。

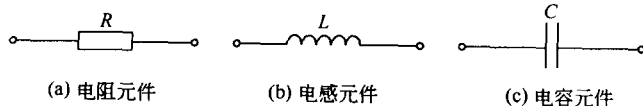


图 1-2 三种基本元件的符号图形

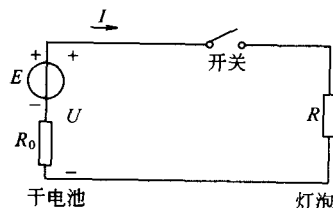


图 1-3 手电筒的电路模型

有了理想元件和电路模型的概念后,便可将图 1-1 所示的实际手电筒电路抽象为图 1-3 所示的电路模型。今后,所分析的都是指电路模型,简称电路。

三、电路中的基本物理量

用来表示电路状态的基本物理量有电压、电流、电功率等。

1. 电流

电流是带电粒子在外电场的作用下做有秩序的移动而形成的。

电流的实际方向是客观存在的,习惯上规定正电荷运动的方向为电流的实际方向。

在分析较复杂的直流电路时,往往事先难于判断某支路中电流的实际方向。对交流讲,其方向随时间而变,在电路图上也无法用一个箭标表示它的实际方向。因此,在分析和计算电路时,往往任意选定某一方向作为电流的参考方向或称为正方向。所选的参考方向并不一定与电流的实际方向一致。在参考方向选定之后,电流之值便有正、负之分。如图 1-4 所

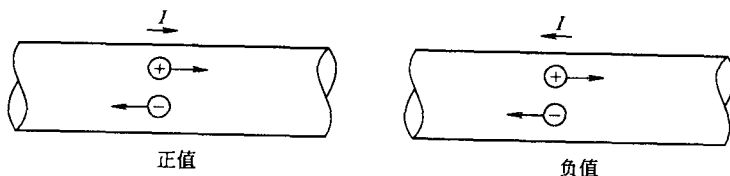


图 1-4 电流的参考方向

示, 当电流的实际方向与其参考方向一致时, 电流为正值; 反之, 当电流的实际方向与其参考方向相反时, 电流则为负值。必须注意, 不标出电流的参考方向, 谈论电流的正负是没有意义的, 必须养成在着手分析电路时先标出参考方向的习惯。

在国际单位制(SI)中, 电流的单位是 A(安培), 1s(秒)内通过导体横截面的电荷(量)为 1C(库仑)时, 则电流为 1A。计量微小的电流时, 以毫安(mA)或微安(μA)为单位, $1\text{mA} = 10^{-3}\text{A}$, $1\mu\text{A} = 10^{-6}\text{A}$ 。

2. 电压

电场力把单位正电荷从 a 点移到 b 点所做的功称为 a、b 两点之间的电压, 电压用 U 或 u 表示。

电压又称为电位差, 它总是和电路中的两个点有关, 电压的方向规定为由高电位端 (“+” 极性) 指向低电位端 (“-” 极性), 即为电位降低的方向。

在电路中, 同样往往难以事先判断元件两端电压的真实极性, 因此, 也要规定电压的参考方向, 如图 1-5 所示, 一旦参考极性选定之后, 电压便有正、负之分, 当算得的电压为正值, 说明电压的真实极性与假定的参考极性相同; 当算得的电压为负值, 则说明电压的真实极性与参考极性相反。同样, 不标出电压的参考极性, 谈论其正负也是没有意义的。

在国际单位制中, 电压的单位是 V(伏特)。当电场力把 1C 的电荷量从一点移到另一点所做的功为 1J(焦耳)时, 则该两点间的电压为 1V。计量微小的电压时, 以 mV(毫伏)或 μV (微伏)为单位; 计量高电压时, 则以 kV(千伏)为单位。

如前所述, 在分析电路时, 电流和电压都要假设参考方向, 而且可任意假定, 互不相关。但是, 为了分析方便, 常常采用关联的参考方向, 即把元件上电压和电流的参考方向取为一致, 见图 1-6 (a)。当然也可采用非关联参考方向, 即使元件上电压和电流的参考方向互不相关, 见图 1-6 (b)。

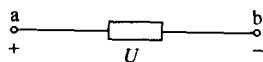


图 1-5 电压的参考极性

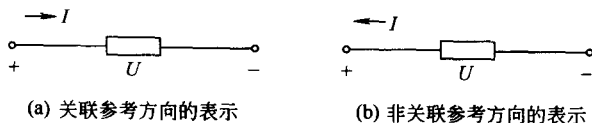


图 1-6 关联与非关联参考方向的表示

3. 功率

电路的基本作用之一是实现能量的传递, 用功率(power)来表示能量变化的速率, 常用 P 或 p 来表示。

在直流情况下, 当电压、电流为关联参考方向时。

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

此时, 若算得的功率 $P > 0$, 元件为吸收功率; $P < 0$, 则为产生功率。

根据功率的正负便可判断电路中哪个元件是电源, 哪个元件是负载。在关联参考方向下, 若 $P < 0$, 可断定该元件为电源; 若 $P > 0$, 可断定该元件为负载。

在国际单位制中, 功率的单位是 W(瓦)或 kW(千瓦)。1s 内转换 1J 的能量, 则功率为 1W。

第二节 电路的基本定律

电路的基本定律阐明了一段或整个电路中各部分电压、电流等物理量之间的关系, 是分

析与计算电路的理论基础和基本依据，电路的基本定律主要包括欧姆定律及基尔霍夫定律。

一、欧姆定律

欧姆定律表明流过电阻的电流与其端电压成正比，而与本身的阻值成反比。在图 1-7 (a) 所标定的关联参考方向下，欧姆定律可表示成如下的形式

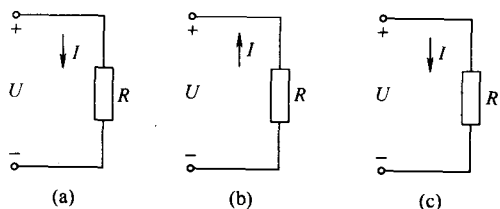


图 1-7 欧姆定律

$$\frac{U}{I} = R \quad (1-2)$$

或
$$U = RI \quad (1-3)$$

式中， R 即为该段电路的电阻。

在国际单位制中，电阻的单位是 Ω (欧姆)。当电路两端的电压为 1V，通过的电流为 1A 时，则该段电路的电阻为 1Ω 。计量高电阻时，则以 $k\Omega$ (千欧) 或 $M\Omega$ (兆欧) 为单位。

对欧姆定律做以下几点说明。

- ① 当电压和电流取为非关联参考方向时，见图 1-7 (b)、(c) 欧姆定律可表示成下式

$$U = -RI \quad (1-4)$$

- ② 欧姆定律还可用电导参数表示成如下的形式

$$I = GU \quad (1-5)$$

式中

$$G = \frac{1}{R}$$

电导 G 表示元件传导电流的能力，其单位是 S (西门子)。

- ③ 欧姆定律只适用于线性电阻元件，而不适用于非线性元件。

二、基尔霍夫定律 (Kirchhoff's Law)

欧姆定律表明了电路中某一个局部的电压、电流关系。而基尔霍夫定律则是从电路的全局和整体上，阐明了各部分电压、电流之间必须遵循的规律，为了说明基尔霍夫定律的内容，首先介绍有关的几个术语。

支路：电路中的每一分支称为支路，一条支路流过一个电流，称为支路电流，图 1-8 中共有三条支路。

节点：电路中三条或三条以上的支路相连接的点称为节点，图 1-8 所示电路中共有两个节点 a 和 b 。

回路：由一条或多条支路组成的闭合路径称为回路，图 1-8 中共有三个回路 $abca$ ， $abda$ ， $adbca$ ，一个电路至少要有有一个回路。

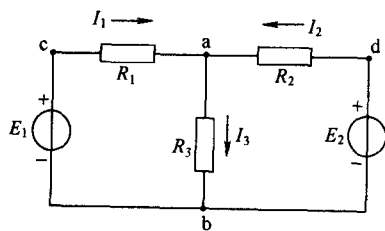


图 1-8 电路举例

基尔霍夫定律包括两条定律：基尔霍夫电流定律 (KCL) 和基尔霍夫电压定律 (KVL)。

1. 基尔霍夫电流定律

基尔霍夫电流定律是有关节点电流的定律，用来确定连接在同一节点上的各支路电流之间的关系。其内容如下。

在任一瞬时，对电路中的任一节点而言，流入某节点的电流总和等于流出该节点的电流

总和。在图 1-8 所示电路中, 对节点 a, 可以写出下式。

$$I_1 + I_2 = I_3$$

或将上式改写成

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

即

$$\sum I = 0 \quad (1-6)$$

就是在任一瞬时, 流经电路任一节点的电流的代数和等于零。在这里, 对电流的“代数和”做这样的规定: 参考方向流入节点的电流取正号, 流出节点的电流取负号。

根据计算的结果, 有些支路的电流可能是负值, 这是由于所选定的电流的参考方向与实际方向相反所致。

【例 1-1】 在图 1-9 中, 已知 $I_1 = 2\text{A}$, $I_2 = -3\text{A}$, $I_3 = -2\text{A}$, 试求 I_4 。

【解】 应用 KCL 可列出下式

$$I_1 - I_2 + I_3 - I_4 = 0$$

$$2 - (-3) + (-2) - I_4 = 0$$

得

$$I_4 = 3\text{A}$$

由本例可见, KCL 方程中有两套正负号, I 前面的正负号是由 KCL 方程根据电流的参考方向而确定的, 括号内数字前面的正负号则表示电流数值的正负。

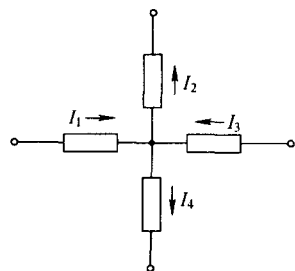


图 1-9 【例 1-1】的电路

KCL 不仅适用于电路中某一节点, 它可推广应用到包围部分电路的任一假设的闭合面。图 1-10 所示的闭合面包围的是一个三角形电路, 它有三个节点, 应用 KCL 方程可列出下式。

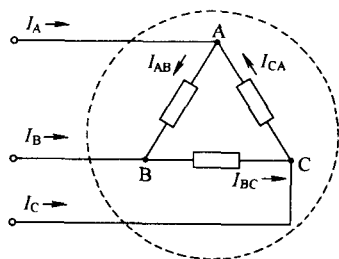


图 1-10 KCL 的推广应用

$$I_A = I_{AB} - I_{CA}$$

$$I_B = I_{BC} - I_{AB}$$

$$I_C = I_{CA} - I_{BC}$$

将上面三式相加, 则有

$$I_A + I_B + I_C = 0 \text{ 或 } \sum I = 0$$

可见, 在任一瞬时, 通过任一闭合面的电流的代数和也恒等于零。

2. 基尔霍夫电压定律

基尔霍夫电压定律应用于回路, 它用来确定回路中各段电压之间的关系, 其内容如下。

在任一时刻, 任一回路内所有支路电压的代数和恒等于零。KVL 的数学表示式为

$$\sum U = 0 \quad (1-7)$$

在列写 KVL 方程时, 必须规定回路的绕行方向。规定沿该绕行方向电位降取正号, 电位升取负号。

图 1-11 是某个电路中的一个闭合回路, 各方块表示电路元件, 参考方向已经标出。

若设顺时针方向为回路绕行方向 (由 a 出发经 b、c、d 回到 a 点), 于是 KVL 方程为

$$U_1 - U_2 - U_3 + U_4 = 0$$

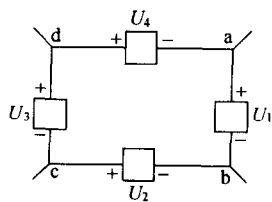


图 1-11 电路举例

若按逆时针绕行方向列写 KVL 方程，则有

$$-U_1 - U_4 - U_3 + U_2 = 0$$

应该说明，不论按何种绕行方向列写 KVL 方程，均不影响计算结果。

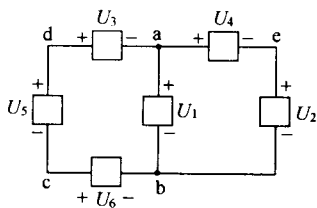


图 1-12 【例 1-2】的电路

【例 1-2】 求图 1-12 中的 U_1 和 U_2 。已知 $U_3 = +20\text{V}$, $U_4 = -5\text{V}$, $U_5 = +5\text{V}$, $U_6 = +10\text{V}$ 。

【解】 由 abcda 回路列写 KVL 方程求 U_1 ，取顺时针为绕行方向，则有

$$U_1 - U_6 - U_5 + U_3 = 0$$

$$U_1 - (+10) - (+5) + (+20) = 0$$

$$U_1 = -5\text{V}$$

由 aebea 回路列写 KVL 方程求 U_2 ，取顺时针为绕行方向，可得

$$U_4 + U_2 - U_1 = 0$$

$$(-5) + U_2 - (-5) = 0$$

$$U_2 = 0$$

由此例可知，列写 KVL 方程时同样涉及两套符号， U 前面的正负号是由 KVL 方程根据回路的绕行方向及电压参考极性而定的，括号内数字前面的正负号则表示电压数值的正负，它取决于各元件电压的真实极性与参考极性是否一致。

求 U_2 时也可选 ebcdae 回路，取顺时针绕行方向，则 KVL 方程为

$$U_2 - U_6 - U_5 + U_3 + U_4 = 0$$

$$U_2 - (+10) - (+5) + (+20) + (-5) = 0$$

$$U_2 = 0$$

这说明在计算电路中两点之间的电压降时与所选取的路径无关。

KVL 方程不仅仅适用于实在的闭合回路，而且也适用于假想的闭合回路，例如为了求图 1-13 中的 U ，可列出下列方程。

$$E - RI - U = 0$$

$$U = E - RI$$

从这里应进一步认识到，KVL 方程的实质是考察各点电位的变化规律，只要计算电位变化时是首尾相接，即各段电压构成闭合路径就可以了，不必一定要由具体支路构成封闭回路。

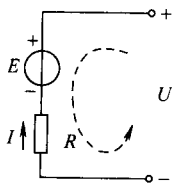


图 1-13 KVL 的推广应用

第三节 电源的工作状态和电气设备的额定值

电源有三种可能的工作状态：带载、开路和短路。

一、带载工作状态

将图 1-14 中的开关合上，接通电源与负载，这就是电源的带载工作状态。

下面讨论相关的几个问题。

1. 电压和电流

应用欧姆定律，电路中的电流