



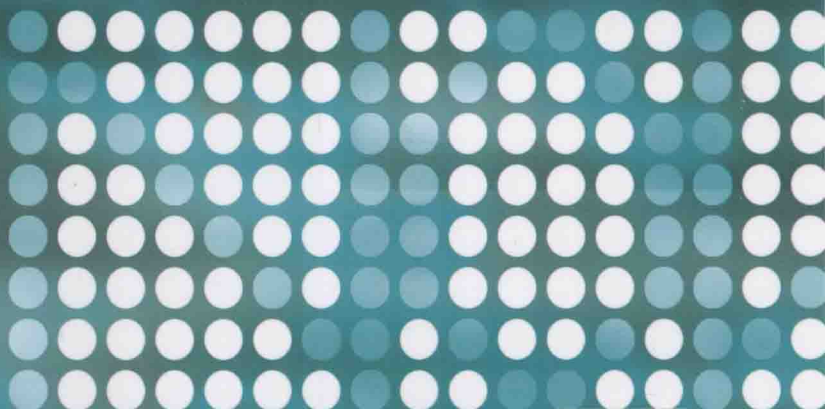
高等职业技术教育机电类专业规划教材
机械工业出版社精品教材

电工电子技术

(少学时)

第2版

罗厚军 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



www.cmpedu.com

赠电子课件
习题解答、模拟试卷

高等职业技术教育机电类专业规划教材

机械工业出版社精品教材

电工电子技术（少学时）

第2版

主 编 罗厚军

副主编 张 进 董英英

参 编 陈翠兰 方占桥 陈 敏 金 光

主 审 蔡大山



机械工业出版社

本书是按照教育部最新制定的《高职高专教育电工电子技术课程教学基本要求》编写的,同时参考了有关行业的职业技能鉴定规范及电子电气国家标准。

全书分上下两篇:上篇为电工部分,下篇为电子部分。电工部分包括:电路理论基础及分析方法、正弦交流电路、磁路与变压器、三相异步电动机及控制;电子部分包括:半导体器件、放大电路、稳压电源、数字电路基础、组合逻辑电路和时序逻辑电路等。全书共分十章,每章均配有精选例题和习题,书后附有参考答案。

本书可作为高职高专院校、成人高校及民办高校工科非电专业的(两年制或三年制少学时)学生使用,也可供自考学员或从事相关专业的技术人员参考。

为方便教学,本书配有免费电子课件、习题解答,凡选用本书作为授课教材的学校,均可来电索取,咨询电话:010-88379375, Email: cmp-gaozh; @sina.com。

图书在版编目(CIP)数据

电工电子技术:少学时/罗厚军主编.-2版.-北京:机械工业出版社,2012.1

高等职业技术教育机电类专业规划教材机械工业出版社精品教材

ISBN 978-7-111-36787-1

I. ①电… II. ①罗… III. ①电工技术-高等职业教育-教材②电子技术-高等职业教育-教材 IV. ①TM②TN

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第259162号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:于宁 责任编辑:于宁

版式设计:张世琴 封面设计:鞠杨

责任印制:杨曦

保定市中国画美凯印刷有限公司印刷

2012年1月第2版第1次印刷

184mm×260mm·19.25印张·476千字

0 001—3 000册

标准书号:ISBN 978-7-111-36787-1

定价:35.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010)68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010)88379649

读者购书热线:(010)88379203

封面无防伪标均为盗版

前 言

本教材为高等职业技术教育机电类专业规划教材,是以教育部关于《高等职业学校培养目标和人才规格》为依据,以《高职高专教育电工电子技术课程教学基本要求》为指导,以符合机电类职业资格标准和相关岗位实用的理论知识和技能为原则,针对高等职业教育特点,结合高职工科非电类各专业知识结构的要求而编写。

本教材有着鲜明的职业教育和就业教育特点,按照高等职业学校的培养目标和人才规格,对工科非电类各专业的知识结构,以及企业相关专业对本课程知识的需求做了深入的调研,并对当前教师的教学思路及学生的学习特点进行了考察,使教材内容更具有科学性、实用性、可读性,以满足当前教学的需要。理论知识以必须、够用为度,以应用为目的。在编写过程中,根据高职高专培养应用型人才的基本要求,充分考虑了适用范围、内容深度、应用性以及能力培养等方面,力求做到保证基础、降低深度、扩大信息、加强应用,便于教师讲授和学生自学。

本教材在2006年版同名教材的基础上进行了修订,本次修订保留了原教材知识结构体系,主要考虑非电专业的特点以及突出实际应用,删掉了不必要的冗余内容,加强电路基本分析方法的训练,调整了部分章节内容,对教材进行了整体完善。

本教材分上下两篇:上篇为电工部分,着重对电路的基本概念和电路解题方法作了较为深入的分析。主要内容包括:电路理论基础及分析方法、正弦交流电路、磁路与变压器、三相异步电动机及控制;下篇为电子部分,着重对放大电路、集成电路进行了原理分析和逻辑分析,重点放在器件的外特性和应用上。主要内容包括:半导体器件、放大电路、稳压电源、数字电路基础、组合逻辑电路、时序逻辑电路等。各章均有“本章学习要求”、“本章小结”,每章配有精选的习题及部分习题答案,便于自学者自测之用。本教材参考学时为70~110学时,凡带“*”的章节可根据专业需要进行灵活取舍,不影响知识的系统性。

本教材由罗厚军担任主编,张进、董英英担任副主编。

陈翠兰编写第1章,张进编写第2章、第3章,方占桥编写第4章,金光编写第6章,董英英编写第5章、第7章,陈敏编写第10章,罗厚军编写第8章、第9章、前言和附录,全书由罗厚军负责统稿。蔡大山任主审,他审阅了全书并提出了许多修改建议,在此表示诚挚的感谢!

书中如有错误和不妥之处,殷切期望使用本教材的广大师生和其他读者批评指正,我们将不断改进和完善。

编 者

目 录

前言

上 篇

第1章 电路理论基础及分析方法 1

本章学习要求 1

1.1 电路的组成 1

1.1.1 电路 1

1.1.2 模型电路 1

1.1.3 常用的物理量 2

1.2 欧姆定律 8

1.2.1 一段电路的欧姆定律 8

1.2.2 全电路欧姆定律 8

1.2.3 电阻元件 9

1.2.4 线性电阻元件的连接形式 13

1.3 电路的工作状态及额定值 16

1.3.1 通路状态及额定值 16

1.3.2 短路状态 17

1.3.3 开路状态 19

1.4 基尔霍夫定律及其应用 20

1.4.1 基尔霍夫电流定律 20

1.4.2 基尔霍夫电压定律 21

1.5 戴维南定理 22

1.6 电压源与电流源及其等效变换 23

1.6.1 电压源与电流源 24

1.6.2 电压源与电流源的等效变换 25

*1.7 叠加定理 26

本章小结 28

习题一 30

第2章 正弦交流电路 33

本章学习要求 33

2.1 正弦交流电量及基本概念 33

2.1.1 正弦交流电量 33

2.1.2 正弦交流电的三要素 34

2.2 正弦交流电的相量表示方法 37

2.2.1 复数及其运算 37

2.2.2 正弦量的相量表示法 39

2.3 单一参数元件的正弦交流电路 40

2.3.1 纯电阻电路 40

2.3.2 纯电感电路 41

2.3.3 纯电容电路 44

2.3.4 单一参数元件的正弦交流电路的
相量模型 46

2.4 电阻、电感和电容元件串联的正 弦交流电路 47

2.4.1 电压与电流之间的关系 47

2.4.2 RLC 串联电路的功率分析 50

2.5 正弦交流电路的分析与计算 51

2.5.1 复阻抗的串联电路 51

2.5.2 复阻抗的并联电路 54

*2.5.3 复阻抗的混联电路 56

*2.6 谐振电路分析 57

2.6.1 串联谐振 57

2.6.2 并联谐振 59

2.7 功率因数的提高 60

2.7.1 提高功率因数的意义 60

2.7.2 提高功率因数的方法 61

2.8 三相交流电路 62

2.8.1 三相电源及其连接形式 62

2.8.2 三相负载的联结 65

2.8.3 三相电路的功率 70

本章小结 72

习题二 73

第3章 磁路与变压器 76

本章学习要求 76

3.1 磁路与铁磁材料 76

3.1.1 磁场基本物理量 76

3.1.2 铁磁材料及性能 77

3.1.3 磁路及其欧姆定律 78

3.2 变压器的结构及工作原理 79

3.2.1 交流铁心线圈电路 79

3.2.2 变压器的种类及结构 80

3.2.3 单相变压器的工作原理	81	4.2.3 三相异步电动机转动原理	99
*3.2.4 三相变压器的结构与 工作原理	84	4.3 三相异步电动机的机械特性	100
3.3 变压器的工作特性	85	4.4 三相异步电动机的铭牌数据	103
3.3.1 变压器的外特性	85	4.5 常用低压电器	105
*3.3.2 变压器的效率特性	86	4.5.1 低压开关	105
3.3.3 变压器的额定值	86	4.5.2 熔断器	107
3.3.4 变压器绕组极性的测定	87	4.5.3 主令电器	108
*3.4 其他变压器	88	4.5.4 接触器	109
3.4.1 自耦变压器	88	4.5.5 继电器	110
3.4.2 互感器	89	4.6 实际应用举例	113
3.4.3 电焊变压器	91	4.6.1 三相异步电动机直接起动 控制电路	113
本章小结	91	4.6.2 三相异步电动机减压起 动控制电路	116
习题三	92	*4.6.3 三相异步电动机的行程控制和 自动往返控制电路	116
第4章 三相异步电动机及控制	94	4.6.4 三相异步电动机制动控制电路	117
本章学习要求	94	*4.6.5 电气原理图的阅读	118
4.1 三相异步电动机的基本构造	94	本章小结	121
4.2 三相异步电动机的工作原理	96	习题四	122
4.2.1 三相异步电动机的旋转磁场	96		
4.2.2 三相异步电动机的转速	97		

下 篇

第5章 半导体器件	123	第6章 放大电路	147
本章学习要求	123	本章学习要求	147
5.1 半导体基本知识	123	6.1 基本放大电路	147
5.1.1 半导体概述	123	6.1.1 基本放大电路的组成	147
5.1.2 本征半导体	124	6.1.2 放大电路的主要性能指标	148
5.1.3 杂质半导体	124	6.1.3 静态分析	149
5.2 半导体二极管	125	6.1.4 动态分析	150
5.2.1 PN结的形成及单向导电性	125	6.1.5 静态工作点对输出波形 的影响	154
5.2.2 二极管	127	6.2 分压式偏置电路	154
5.2.3 其他二极管	131	6.2.1 温度对静态工作点的影响	154
5.3 晶体管	134	6.2.2 分压式偏置电路的工作 原理	155
5.3.1 晶体管的结构	134	6.3 其他放大电路	157
5.3.2 晶体管的伏安特性曲线	136	6.3.1 共集电极放大电路	157
5.3.3 晶体管的主要参数	139	*6.3.2 共基极放大电路	158
5.3.4 晶体管的型号命名	140	*6.3.3 三种基本放大电路特点 的比较	159
5.3.5 晶体管的测试及应用	140	6.3.4 多级放大电路	160
*5.4 场效应晶体管	142	6.4 反馈电路	162
5.4.1 结型场效应晶体管	142	6.4.1 反馈的基本概念	162
5.4.2 绝缘栅型场效应晶体管	143		
本章小结	144		
习题五	144		

*6.4.2 反馈类型及其判定方法	163	8.2.3 非逻辑、非门	211
6.4.3 负反馈对放大电路性能的影响	166	8.2.4 复合逻辑门	212
6.5 功率放大电路	167	8.2.5 TTL 集成与非门电路	215
6.5.1 功率放大电路概述	167	*8.2.6 其他逻辑门电路	217
6.5.2 乙类互补对称功率放大电路	168	8.2.7 集成逻辑门电路的使用常识	219
6.5.3 集成功率放大器	170	8.3 逻辑函数的表示及化简	220
6.6 差动放大电路	172	8.3.1 数制与码制	220
6.6.1 差动放大电路的组成及静态分析	172	8.3.2 逻辑函数的表示方法	223
6.6.2 差动放大电路的动态分析	173	8.3.3 定律和规则	225
6.7 集成运算放大器及基本运算电路	175	8.3.4 逻辑函数的代数法化简	226
6.7.1 集成运算放大器的电路概述	175	*8.3.5 逻辑函数的卡诺图化简	227
6.7.2 集成运算放大器的应用	177	本章小结	233
6.7.3 集成运算放大器的使用常识与应用实例	184	习题八	233
本章小结	186	第 9 章 组合逻辑电路	236
习题六	186	本章学习要求	236
第 7 章 稳压电源	190	9.1 组合逻辑电路的特点及分析方法	236
本章学习要求	190	9.1.1 组合逻辑电路的特点	236
7.1 稳压电源	190	9.1.2 组合逻辑电路的分析方法	237
7.2 单相整流电路	191	9.2 组合逻辑电路的设计	238
7.2.1 单相半波整流电路	191	9.2.1 组合逻辑电路的设计方法与步骤	238
7.2.2 单相桥式整流电路	192	9.2.2 设计举例	238
7.3 滤波电路	194	9.3 常用中规模组合逻辑电路应用举例	241
7.3.1 电容滤波电路	194	9.3.1 编码器	241
*7.3.2 其他类型的滤波电路	196	9.3.2 译码器	242
7.4 稳压电路	196	9.3.3 数据选择器	247
7.4.1 硅稳压管稳压电路	196	9.3.4 数据分配器	248
7.4.2 串联型稳压电路	198	9.3.5 加法器	249
7.4.3 集成稳压电源	200	*9.3.6 数值比较器	251
本章小结	204	本章小结	252
习题七	204	习题九	252
第 8 章 数字电路基础	206	第 10 章 时序逻辑电路	255
本章学习要求	206	本章学习要求	255
8.1 数字电路的基本知识	206	10.1 触发器	255
8.1.1 数字电路的特点	206	10.1.1 基本 RS 触发器	255
8.1.2 逻辑的概念及表示方法	207	10.1.2 同步 RS 触发器	257
8.1.3 半导体管的开关作用	207	10.1.3 JK 触发器	259
8.1.4 正逻辑和负逻辑	208	10.1.4 T 和 T' 触发器	261
8.1.5 高电平和低电平	208	10.1.5 D 触发器	262
8.2 基本逻辑关系和逻辑门	208	10.2 寄存器	263
8.2.1 与逻辑、与门	208	10.2.1 基本寄存器	264
8.2.2 或逻辑、或门	209	10.2.2 移位寄存器	265
		10.3 计数器	267

10.3.1 计数器的功能和分类	267	附录 A 半导体器件与集成电路型	
10.3.2 小规模集成计数器	268	号及命名	285
10.3.3 中规模集成计数器	270	附录 B 电气及电子元器件新旧图形	
*10.4 555 集成定时器及应用	277	符号对照表	287
10.4.1 集成 555 定时器	277	附录 C 集成运算放大器的分类	
10.4.2 555 定时器应用举例	279	与主要特性	290
本章小结	281	附录 D 常用接口电路	293
习题十	282	部分参考答案	295
附录	285	参考文献	300

上 篇

第 1 章 电路理论基础及分析方法

【本章学习要求】

理论：掌握基尔霍夫定律、电压源与电流源及其等效变换和戴维南定律的分析方法及应用；理解基本物理量的意义；了解电路的组成和电路的工作状态。

技能：掌握万用表的使用；学会元件检测方法。

1.1 电路的组成

1.1.1 电路

电路就是电流通过的路径。当人们将其他形式的能量（如热能、风能、化学能和原子能等）转换成电能加以利用时，这种能量的转换，必须要通过不同形式的电路才能完成。在日常生活中所见到的最典型的电路（手电筒电路）如图 1-1 所示，它的作用是实现电能的输送和转换。它由以下四个部分组成。

1) 供给电能的设备—电源（干电池、蓄电池和发电机），其作用是将化学能或机械能转换为电能。

2) 使用电能的设备—负载（电灯、电动机等一切用电设备），其作用是将电能转换成其他形式的能量。

3) 传输电能的设备—中间环节（铝导线、铜导线），其作用是将电源和负载连接起来，构成电流的通路，传输电能。

4) 控制电能的设备—低压电器（开关、熔丝等），其作用是控制电路的通断，并保护电源与负载不受损坏。

电路有内电路和外电路之分。对电源来说，由负载、中间环节和低压电器组成的电路称为外电路；电源内部的电路则称为内电路。

1.1.2 模型电路

在分析和计算电路时，画实物图很不方便，为了便于进行分析和计算，常用理想的电路

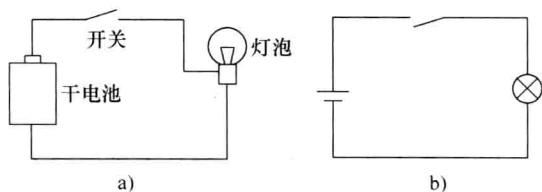


图 1-1 手电筒实际电路

元器件及其组合来近似地代替实际的电路元器件,从而构成与实际电路相对应的等效电路,即为实际电路的“模型电路”。

图 1-2 所示为手电筒模型电路,把小灯泡负载看成是电阻元件,用 R_L 表示,用电压源 U_S 和电源内阻 R_S 相串联的等效电路来表示干电池,用没有电阻的连接线表示连接导线。在电路分析计算中若无特殊说明,则电路均指模型电路。

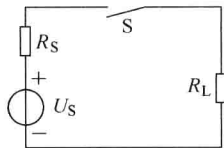


图 1-2 手电筒模型电路

1.1.3 常用的物理量

描述电路过程和分析计算中,经常用到电路中的基本物理量,如电流、电压和电动势等,下面从电路出发,进行分析和阐述。

1. 电流

在日常生活中,一合上开关,电动机能动、电灯能亮、电视机能显示图像……,它们之所以能动、能亮和能唱,这是因为它们里面有电流通过,致使电能转换成电动机中的机械能、灯泡中的光能、电视机中的电磁场能及光能等等。

金属导体是怎样导电的呢?

由物理学可知,导体中存在着大量的自由电荷,它可以在导体中自由运动。平时由于自由电荷的热运动是无规则的,因而不能形成电流。当把导线接到电源上形成闭合电路后,电源就会在导体中形成电场,自由电荷便在电场力的作用下朝着一定方向移动,自由电荷在导体中定向运动便形成了电流。

电流就是电荷的定向运动,其大小等于通过导体横截面的电荷量与通过这些电荷所用时间的比值,用 i 或 I 表示。随时间而变化的电流定义为

$$i = dq/dt \quad (1-1)$$

式中, dq 为时间 dt 内通过的电荷量。

电流主要分为两种:

当 dq/dt 等于常数时,这种电流的大小和方向都不随时间变化,称这种电流为恒定电流,简称直流。常用大写字母 I 表示,即

$$I = Q/t \quad (1-2)$$

当 dq/dt 不等于常数时,这种电流的大小和方向随时间变化,称为交变电流常用小写字母 i 表示。

电流的单位是安[培](A),它表示 1 秒(s)内通过某一导体横截面的电荷为 1 库仑(C),即

$$1\text{A} = \frac{1\text{C}}{1\text{s}}$$

电流的单位还有千安(kA)、毫安(mA)和微安(μA)等。在应用时,根据不同的需要,大电流用千安(kA),小电流用毫安(mA)或微安(μA)作单位,它们之间的换算关系为

$$1\text{kA} = 10^3\text{A} \quad 1\text{mA} = 10^{-3}\text{A} \quad 1\mu\text{A} = 10^{-6}\text{A}$$

电路中的电流可以用安培表、毫安表和微安表等进行测量,在表盘上分别有相应的 A、mA、 μA 标识符。使用这些电流表测量电流时应注意:

1) 电流表应串联在被测电路中。当测量直流电流时,电流表的正极接入电源正极,电

流表的负极接入电源负极, 否则将损坏电流表。

2) 在使用电流表前应先估计被测电路电流的大小, 选好量程。当被测电路的电流无法估计时, 应选较大的量程开始测量。

当电路比较复杂, 电路中电流的实际方向随时间在变化, 不能确定电流的方向时, 常任意假定某一方向为电流的方向, 并用箭头表示在电路图上, 这个假定的电流方向称为“参考方向”。这样就可以在假定的参考方向下, 根据计算电流值的正负来判断电流的实际方向。若计算的电流值为正值, 则表示假定的正方向就是电流的实际方向; 若计算的电流值为负值, 则表示电流的实际方向与假定的正方向相反。

电流的参考方向在图上用实线箭头表示, 实际方向用虚线箭头表示, 有时也用双下标表示, 如图 1-3 所示。如支路 ab 上的电流为 i_{ab} , 则表示该支路电流的参考方向选定为从 a 指向 b 。

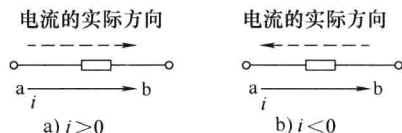


图 1-3 电流的参考方向与实际方向

2. 电压与电动势

干电池、蓄电池和发电机等都是电源, 电路中由于电源的存在才使电路中有持续的电流通过, 并使电路产生和保持一定的电压。它们是怎样产生这种作用的呢?

在电场力作用下, 正电荷就要从正极 a 经过导线流向负极 b , 这就是电场力对电荷做了功。为了衡量电场力对电荷做功的能力, 引入电压这一物理量。 ab 两点间的电压在数值上等于电场力把单位正电荷从 a 移到 b 所做的功。

电压分为两种:

当电压为一恒定值时, 称为直流值, 用 U 表示, 即

$$U_{ab} = \frac{W}{Q} \quad (1-3)$$

当电压为一变值时, 称为交流值, 用 u 表示, 若电量为 dq 的电荷在电路中从 a 点移到 b 点电场力做的功为 dW , 即 ab 两点间的电压为

$$u_{ab} = \frac{dW}{dq} \quad (1-4)$$

电压的单位是伏 [特], 用符号 V 表示。如果电场力做功为 $1J$ 时, 那么 ab 两点间的电压是 $1V$ 。电压的单位除了伏 [特] 外, 还有千伏 (kV)、毫伏 (mV), 它们之间的换算关系为

$$1kV = 10^3V \quad 1mV = 10^{-3}V$$

电路中电压的测量用伏特表和毫伏表, 在标盘上有相应的 V 、 mV 标识符。使用电压表测量电压时, 应注意以下几点:

1) 使用电压表前应估计被测电压的大小, 选好量程。

2) 要把电压表与待测电路并联。测量直流电压时, 还应注意使电流由电压表的“+”接线端流入, 从“-”接线端流出, 否则会损坏电压表。

与电流的参考方向一样, 电压也需要指定参考方向, 电压的参考方向有三种表达方式。一种是双下标表示, 如 u_{ab} (电压参考方向由 a 点指向 b 点); 另一种是用“+”、“-”号表示 (电压参考方向由正极性指向负极性); 第三种用实线箭头表示。

电压的实际方向与参考方向的关系: 当电压参考方向与实际方向一致时, 电压为正, 即

$u_{ab} > 0$ ；当电压参考方向与实际方向相反时，电压为负，即 $u_{ab} < 0$ 。由此可知，当选定参考方向之后，可以通过计算电压的正负来确定电压的实际方向。电压的参考方向与实际方向的关系如图 1-4 所示。

电路元件的电流和电压的参考方向可以分别指定，但为了分析电路方便，常将一条支路的电压和电流参考方向选得一致，即电流是从标以电压正极性的一端指向负极性的一端。这种电压、电流参考方向选得一致的情况称为关联参考方向，简称关联方向。本书采用的是关联方向，如图 1-5 所示。

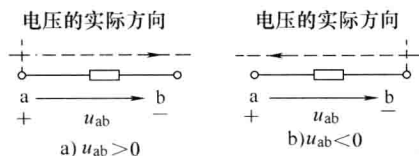


图 1-4 电压的参考方向与实际方向

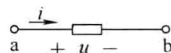


图 1-5 电压和电流的关联方向

参考方向是假设选定的，电压和电流的方向是客观存在的。参考方向一旦选定，就不能随便改变，否则分析结果和计算结果也要做相应变化。由此可知 $u_{ab} = -u_{ba}$ 。

前面分析了电场力将正电荷从正极 a 点移到负极 b 点做功而产生了电压，为了使电路有持续的电流通过，必须要有另一种力能克服电场力而使负电极 b 上的正电荷流向正电极 a（电源内部的一段电路 b 到 a）。电源就能产生这种力，称之为电源力。为了衡量电源力对电荷做功的本领，引入电动势这一物理量。电动势 E_{ba} 在数值上等于电源力把单位正电荷从电源的低电位端 b 经电源内部移到高电位端 a 所做的功，用公式表示为

$$E_{ba} = \frac{W_{ba}}{q} \quad (1-5)$$

电动势与电压单位相同，都是伏〔特〕（V），但电动势的概念与电压的概念既有联系又有区别。电压是指外电路中两点间的电位之差，表示电场力推动电荷做功的能力；电动势是指在电源内部电源力所产生的推动电荷的能力。

对电路上的电压而言，电源两端的电压是从正极指向负极，即从高电位指向低电位。对于一个电源来说，其电动势的正方向是从负极指向正极，即从低电位指向高电位。因此当电源两端 ab 间电压和电动势选取相同的参考方向时，就有

$$u_{ab} = -E_{ba}$$

3. 电位

电位是分析电路常用的物理量，用符号 V 表示。电压和电位是怎样的关系？从物理学可知，电压就是电位的差值，即

$$U_{ab} = V_a - V_b \quad (1-6)$$

在进行电路研究时，常常要分析电路中各点电位的高低。例如，电子电路中的二极管，判断它是导通还是截止，就需要弄清二极管的阳极电位比二极管阴极电位是高还是低。为了确定电路中各点的电位值，必须先选择电位的零点，将零电位点作为电路中其余各点电位高低的比较标准。零电位点在电路图上用符号“⊥”表示，又称为“接地”。

零电位点（参考点）的选择是任意的，但特别要注意对于同一电源的电路，只能有一

个零电位点。通常电气设备接地点设为零电位点，电气设备机壳可设为零电位点，电路中的公共零线和公共结点也可设为零电位点，电子电路中许多元件汇集在一个公共点上（但线路不一定接地），也可指定这一点为零电位点。

电路中各点电位是通过零点电位和电压、电动势的关系确定的。下面以四种部分电路的电位计算为例来归纳出一般电路电位计算的基本规律。

图 1-6a 中，电流 I 通过电阻 R 产生电压降 $U_{ab} = IR$ ，a 点电位高于 b 点电位，而 $V_b = 0$ ，所以 $V_a = U_{ab} = IR$ 。

图 1-6b 中，由于电流方向与图 1-6a 相反，b 点电位高，所以 $V_a = -IR$ 。

图 1-6c 中，a 点比 c 点电位高，c 点接电源正极，b 点接电源负极，c 点比 b 点高出电源电动势 E 大小的电位，所以 $V_a = IR + E$ 。

图 1-6d 中，电源方向与图 1-6c 相反，c 点电位比 b 点低电动势 E 大小的电位， $V_c = -E$ ，a 点电位仍较 c 点高，所以 $V_a = IR - E$ 。

由以上分析，可将电位计算方法归纳为以下几点：

- 1) 选好零电位。
- 2) 用欧姆定律计算电路电流、各电阻电压降。选择待确定电位点到零电位点最简捷的绕行路径。
- 3) 列出选定路径上电压、电动势代数和方程。当电阻中电流方向与绕行方向一致时，电阻的电压为正；反之，为负。当电源的电动势的方向与绕行方向相反时，电动势取正值；反之，取负值。计算所列方程的数值即为所求点电位。

例 1.1 图 1-7 所示的电路中， $R_1 = 6\Omega$ ， $R_2 = R_5 = 4\Omega$ ， $R_3 = R_4 = 8\Omega$ ， $E = 12V$ ， $I_1 = 1A$ ， $I_2 = I_3 = 0.5A$ ，试求各点电位，并根据电位求电压 U_{CD} 。

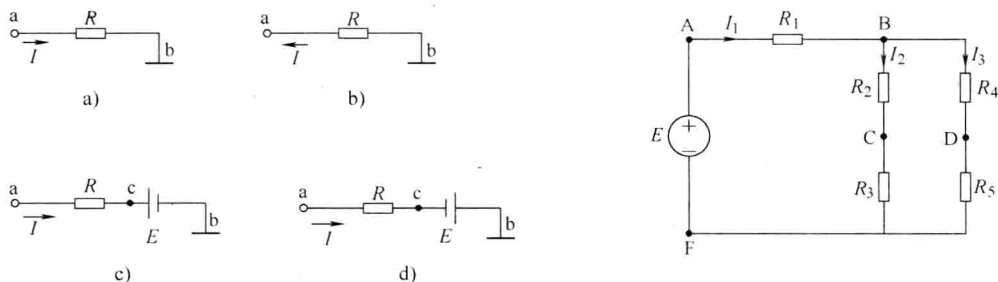


图 1-6 部分电路的电位计算

图 1-7 例 1.1 图

解：一个电路中可以任意选择一点作为参考电位点，参考电位点的电位等于 $0V$ ，各点的电位就是该点和参考点之间的电压。下面选择两个参考点分别计算。

(1) 选择 F 点为参考电位点，即

$$V_F = 0V$$

则

$$V_C = U_{CF} = I_2 \times R_3 = 0.5 \times 8V = 4V$$

$$V_D = U_{DF} = I_3 \times R_5 = 0.5 \times 4V = 2V$$

$$V_B = U_{BF} = I_2(R_2 + R_3) = 0.5 \times (4 + 8)V = 6V$$

$$V_A = U_{AF} = E = 12V$$

电压 U_{CD} 即为 C 点和 D 点的电位差：

$$U_{CD} = V_C - V_D = (4 - 2) \text{ V} = 2 \text{ V}$$

(2) 选择 B 点作为参考电位点, 即

$$V_B = 0 \text{ V}$$

则

$$V_A = U_{AB} = I_1 \times R_1 = 1 \times 6 \text{ V} = 6 \text{ V}$$

$$V_C = U_{CB} = -I_2 \times R_2 = -0.5 \times 4 \text{ V} = -2 \text{ V}$$

$$V_D = U_{DB} = -I_3 \times R_4 = -0.5 \times 8 \text{ V} = -4 \text{ V}$$

$$V_F = U_{FB} = -I_2(R_2 + R_3) = -0.5 \times (4 + 8) \text{ V} = -6 \text{ V}$$

而电压 U_{CD} 仍为 $U_{CD} = V_C - V_D = [(-2) - (-4)] \text{ V} = 2 \text{ V}$

通过计算可见, 当电路中选择不同点作电位参考点时, 则各点的电位值也就不同, 但是电路中任意两点之间的电压值不因参考点不同而有所改变, 仍保持原值不变。

例 1.2 试求图 1-8 电路中 a、b、c 各点的电位。

解: 在计算时, 要注意电阻元件上是否有电流流过。由于 E_2 、 R_2 以及 E_1 没有构成回路, 所以它们中没有电流通过。各点电位为

$$V_b = U_{bo} = E_2 = 10 \text{ V}$$

$$V_c = U_{co} = U_{cb} + U_{bo} = (-5 + 10) \text{ V} = 5 \text{ V}$$

$$\begin{aligned} V_a &= U_{ao} = U_{ab} + U_{bo} = -I \times R_3 + U_{bo} \\ &= \frac{-E_3 \times R_3}{R_1 + R_3} + 10 \text{ V} = \left(\frac{-6 \times 4}{2 + 4} + 10 \right) \text{ V} = 6 \text{ V} \end{aligned}$$

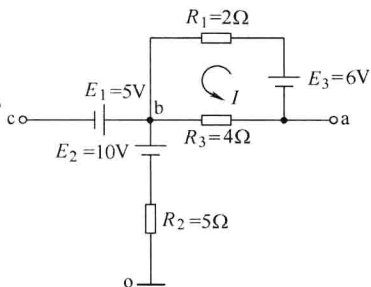


图 1-8 例 1.2 图

由此可见, 电位是指某一点在电路中的位置, 电压是指两点间的电位差。电位参考点选择不同, 任意两点间的电压不发生改变, 但各点的电位会发生变化。

在有些复杂电路中, 直接求电压麻烦, 可分别求出两点的电位, 再算出电压, 化简计算。利用电位还可简化电路。

例 1.3 用电位化简计算。求图 1-9 中的 V_A 。

$$\text{解: } I = \frac{V_B - V_C}{R_1 + R_2} = \frac{12 - (-3)}{1000 + 2000} \text{ A} = \frac{15}{3000} \text{ A} = 0.005 \text{ A}$$

$$V_A = V_C + U_{AC} = V_C + IR_2 = (-3 + 0.005 \times 2000) \text{ V} = 7 \text{ V}$$

例 1.4 用电位化简图 1-10a、图 1-11a 所示的电路。

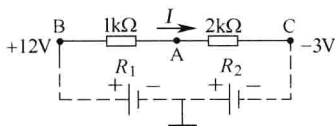


图 1-9 化简计算

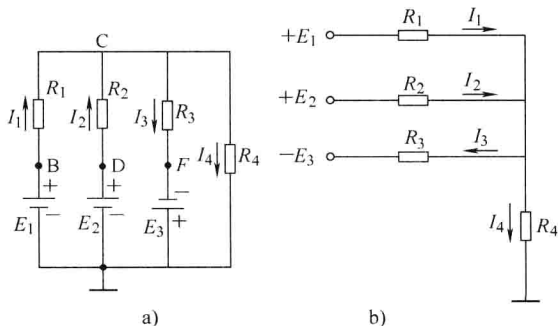


图 1-10 用电位表示的复杂电路

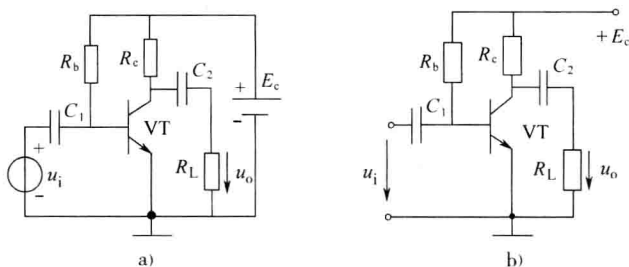


图 1-11 用电位表示的晶体管放大电路

解：化简后的电路分别如图 1-10b 和图 1-11b 所示。

为什么通常把大地作为电位参考点（零电位）？因为人生活的地球是人体的立足之地，是所有设备的安装之处，车船行驶的道路。“地”的含义，就是地球、设备金属壳体（电动机、变压器外壳、输电线铁塔、船体本身和仪器外壳）、电路中公共零线和公共结点。

4. 电能和电功率

电路的工作过程就是一种能量与另一种能量相互转换的过程。在导体两端加上电压，导体内就建立了电场，电场力推动正电荷从电源的正极经过负载移动到电源的负极，对电荷做功，这时元件吸收能量；反之，正电荷从电源的负极经过负载到电源正极时，电场力做负功，元件向外释放能量。在直流电路中，电压都为恒值，在时间 t 内电路消耗的电能

$$W = U I t \quad (1-7)$$

电场力做的功常常说成是电流做的功，简称电功。所以，电流在一段电路上所做的功，跟这段电路两端的电压，电路中的电流和通电时间成正比。电流做功实际上是向其他形式的能量转化的过程。对于电灯，电流做的功把电能转化成光能；对于电动机，电流做的功把电能转化成机械能。电流做了多少功，就将多少电能转化为其他形式的能。

用电设备和电路在能量转化时的做功能力用电功率（ P ）表示

$$P = \frac{W}{t} \quad (1-8)$$

电流做功跟完成这些功所用时间的比值称为电功率，它表示电能转换的速度。

将式（1-7）代入式（1-8），得 $P = UI$ 。它表明一段电路上的功率跟这段电路两端的电压和电路中的电流成正比，如图 1-12 所示。因为 $U = IR$ ，所以 $P = (IR) I = I^2 R$ ；又因为 $I = \frac{U}{R}$ ，所以 $P = U \frac{U}{R} = \frac{U^2}{R}$ 。

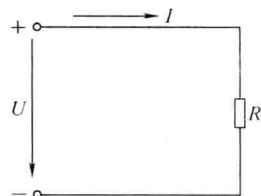


图 1-12 一段电路

电路中功率的三种表达形式为

$$\left. \begin{aligned} P &= UI \\ P &= I^2 R \\ P &= \frac{U^2}{R} \end{aligned} \right\} \quad (1-9)$$

在 SI (国际单位制) 中, 能量的单位为焦 [耳], 符号为 J。功率的单位为瓦 [特], 符号为 W。除了瓦 [特] 外, 电功率的单位还有千瓦 (kW)、毫瓦 (mW), 它们之间的换算关系如下:

$$1\text{ kW} = 10^3\text{ W} \quad 1\text{ mW} = 10^{-3}\text{ W}$$

例 1.5 某写字楼有白炽灯和荧光灯共 400 盏, 每盏灯的电功率为 40W, 问使用这些灯 5h 总共消耗的能量是多少?

解: 写字楼用电总功率为

$$P = 400 \times 40\text{ W} = 16000\text{ W} = 16\text{ kW}$$

消耗的能量即电流做功为

$$W = Pt = 16 \times 5\text{ kW} \cdot \text{h} = 80\text{ kW} \cdot \text{h} \quad (\text{俗称为 } 80 \text{ 度})$$

例 1.6 一个 $4\text{ k}\Omega$ 、 10 W 的电阻, 使用时允许的工作电流及电压是多大?

解: 根据式 (1-9) 可得

$$I = \sqrt{\frac{P}{R}} = \sqrt{\frac{10\text{ W}}{(4 \times 10^3)\Omega}} = 5 \times 10^{-2}\text{ A} = 50\text{ mA}$$

$$U = \sqrt{PR} = \sqrt{10 \times 4 \times 10^3}\text{ V} = 200\text{ V}$$

使用时, 电流不能超过 50mA, 电压不能超过 200V。

1.2 欧姆定律

1.2.1 一段电路的欧姆定律

所谓一段电路就是闭合电路中一段不含电动势、只有电阻的电路, 如图 1-12 所示。导体中的电流跟它两端的电压成正比, 跟它的电阻成反比, 可用下式表示

$$I = \frac{U}{R} \quad (1-10)$$

式中, U 为导体两端的电压, 单位为 V; R 为导体电阻, 单位为 Ω ; I 为导体通过的电流, 单位为 A。

1.2.2 全电路欧姆定律

如果考虑到电源电动势和电源内阻, 电路中的电流应该由什么决定呢? 全电路欧姆定律的内容是: 回路中流过的电流, 其大小与电动势成正比, 而与回路的全部电阻值成反比。图 1-13 是最简单的闭合回路, R 是负载电阻, R_0 是电源内阻。该电路的电压方程式为

$$E = U + U_0 \quad (1-11)$$

略去连接导线的电阻不计, 加在负载电阻两端的电压就等于电源的端电压, 其值为

$$U = IR \quad (1-12)$$

电源内阻上的电压降为

$$U_0 = IR_0 \quad (1-13)$$

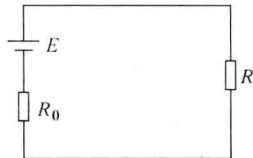


图 1-13 全电路

所以

$$E = IR + IR_0$$

$$I = \frac{E}{R + R_0} \quad (1-14)$$

在通常情况下,电源的电动势和内阻可以认为是不变的。因此,外电路电阻的改变是影响电流大小的唯一因素。当 R 减小时,全电路的电阻减小,电流增大。因为在正常情况下, $R_0 \ll R$,所以随着输出电流的增大,电源的端电压 $U = E - IR_0$ 将略有降低。

在上述简单的闭合回路中,可用电阻 R_0 和电动势相串联的电路来代替。因为电压 U 并非直接作用在 R_0 上,所以不能用 U 除以 R_0 来计算这段电路上的电流,只能从电源内部的电压降着手来计算电流。由式(1-11)~式(1-13)可得

$$U_0 = IR_0 = E - U \quad (1-15)$$

所以,流过内电路的电流应为

$$I = \frac{E - U}{R_0} \quad (1-16)$$

综上所述,欧姆定律既可用于一段电路,也可用于全电路,在计算时,应根据已知条件正确地使用欧姆定律。

1.2.3 电阻元件

1. 电阻的定义

电路中自由电子的移动不是畅通无阻的,电源、负载和导线都具有不同程度上阻碍电流流动的性质,这种固有性质称为电阻,即物体阻止电流通过的本领称为电阻。

任何导体都有电阻,电阻的大小与它本身的物理条件有关,在温度不变时导体的电阻跟它的长度 L 和导体的电阻率 ρ 成正比,跟它的横截面积 S 成反比,这就是电阻定律,即 $R = \frac{\rho L}{S}$ 。

电阻的大小反映了阻碍电荷定向移动的能力。阻碍电荷移动的能力可由电阻率 ρ 表示,电阻率的大小是由导体的材料决定的,表1-1给出了一些材料在20℃时的电阻率。

表 1-1 电阻率

材 料	电阻率/ $\Omega \cdot \text{m}$ (20℃)	材 料	电阻率/ $\Omega \cdot \text{m}$ (20℃)	材 料	电阻率/ $\Omega \cdot \text{m}$ (20℃)
银	1.64×10^{-8}	铁	9.71×10^{-8}	纸	1×10^{10}
软铜	1.72×10^{-8}	康铜	49×10^{-8}	云母	5×10^{11}
铝	2.83×10^{-8}	硅	2.14×10^3	石英	1×10^{17}

若导体电阻率接近 $10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$,导电性很好,常用的导体材料是铜材料和铝材料;绝缘体电阻率大于 $10^{10} \Omega \cdot \text{m}$,用它隔离电流不会有显著的漏电,如塑料,橡胶等;半导体电阻率在 $10^{-5} \sim 10^7 \Omega \cdot \text{m}$ 之间,用它可以制造晶体管,如硅材料、锗材料。

在国际单位制中,电阻的单位是欧[姆](Ω),实际应用中还有千欧($\text{k}\Omega$)、兆欧($\text{M}\Omega$)等单位。它们之间的换算关系是

$$1\text{k}\Omega = 10^3\Omega \quad 1\text{M}\Omega = 10^6\Omega$$