



21st CENTURY

实用规划教材

21世纪全国高职高专
电子信息系列实用规划教材

电工电子技术

主 编 李艳新 米玉琴



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内容简介

21世纪全国高职高专电子信息系列实用规划教材

电工电子技术

主 编	李艳新	米玉琴
副主编	臧雪岩	李俊珍
参 编	闫学斌	郝建华
	李转芳	孙英伟
	蒋 然	熊华波
主 审	李源生	



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

前 言

本书是根据教育部最新制定的《高职高专教育电工电子技术课程教学基本要求》和汽车、机械类专业最新教学要求,并结合现代电工电子技术的发展编写的。根据高职高专的基本要求和培养规格,理论上以为后续课程打基础够用为度,注重技能训练和应用实践。书中选入了大量常见的、学生感兴趣的、便于师生制作的实用电路,可供教学演示和学生本人动手实践,突出高职高专的教育特色,以适应工程实践的需求。

全书共 12 章,内容包括:直流电路、交流电路、变压器与电动机、继电器接触器控制系统、常用半导体器件、基本放大电路、集成运算放大器、直流稳压电源、门电路及组合逻辑电路、触发器及时序逻辑电路、数/模和模/数转换器、技能训练及应用实践。

本书在编写内容及章节安排上,突出高职高专机械、汽车类专业“够用和实用”的教改方向,去掉或避开了通常烦琐的理论推导过程,如在第 2 章交流电路中突出利用“三个三角形”的分析方法;在电子技术部分根据现代电子技术的发展,侧重集成电路器件的应用;在第 12 章技能训练及应用实践中,安排了与教学进度及教学内容相对应的元器件识别与测试,实用电路的安装、检测和调试等。

每章之后有本章小结和习题,并附有部分习题答案,便于教学。另外还附有:常用元件的识别与检测及万用表的使用,YB4320/20/40/60 示波器面板控制键作用说明,电子电路设计自动化软件 EWB 的应用。本书总课时为 60~100 学时,可根据专业要求自行选定内容。

本书配有电子课件。

本书由辽源职业技术学院李艳新、北京交通职业技术学院米玉琴主编。辽宁省交通高等专科学校臧雪岩编写了第 1~3 章,北京交通职业技术学院米玉琴、张家口职业技术学院李俊珍编写了第 4 章,京北职业技术学院郝建华编写了第 5、6 章,张家口职业技术学院闫学斌编写了第 7 章,京北职业技术学院李转芳编写了第 8 章,辽源职业技术学院李艳新编写了第 9~11 章,辽宁省交通高等专科学校孙英伟编写了第 12 章,辽宁省交通高等专科学校蒋然编写了附录 A、附录 B,辽宁省交通高等专科学校熊华波编写了附录 C。本书由辽宁省交通高等专科学校李源生教授主审。

由于编者水平所限,书中若存在不妥和错误之处,恳请广大读者批评指正。

编 者
2007 年 7 月

目 录

第 1 章 直流电路	1
1.1 电路的作用及其组成	1
1.1.1 电路及其组成	1
1.1.2 电路的作用	1
1.1.3 电路模型	2
1.2 电路的三种状态	3
1.2.1 电路的主要物理量	3
1.2.2 电路的三种工作状态	8
1.2.3 电气设备的额定值	11
1.3 电路的基本规律	12
1.3.1 电压源、电流源及其等效变换	12
1.3.2 基尔霍夫定律	15
1.4 电路的基本分析方法	18
1.4.1 支路电流法	18
1.4.2 叠加定理	20
本章小结	21
习题	23
第 2 章 交流电路	26
2.1 正弦交流电的表示方法	26
2.1.1 正弦交流电的瞬时值表示法	26
2.1.2 正弦交流电的相量表示法	28
2.2 单一参数的交流电路	30
2.2.1 电阻电路	30
2.2.2 电感电路	31
2.2.3 电容电路	33
2.3 RLC 串联交流电路	35
2.3.1 阻抗三角形	35
2.3.2 电压三角形	36
2.3.3 功率三角形	37
2.3.4 功率因数的提高	38

2.4 电路中的谐振	40
2.4.1 串联谐振	40
2.4.2 并联谐振	42
2.5 三相交流电路	42
2.5.1 三相交流电源	42
2.5.2 三相交流负载	43
2.5.3 三相功率	45
本章小结	47
习题	49
第 3 章 变压器与电动机	52
3.1 变压器	52
3.1.1 变压器的结构	52
3.1.2 变压器的工作原理	53
3.1.3 变压器的额定值	56
3.2 直流电动机	60
3.2.1 直流电动机的结构	60
3.2.2 直流电动机的工作原理	62
3.3 步进电动机	65
3.3.1 单三拍	65
3.3.2 六拍	66
3.3.3 双三拍	67
3.4 三相异步电动机	67
3.4.1 三相异步电动机的结构	68
3.4.2 三相异步电动机的工作原理	69
3.5 三相异步电动机的控制	76
3.5.1 电动机的起动控制	76
3.5.2 电动机的制动控制	79
3.5.3 电动机的调速控制	81
本章小结	82
习题	84
第 4 章 继电器接触器控制系统	88
4.1 刀开关	88

4.2 组合开关	88	第 6 章 基本放大电路	120
4.3 按钮开关	89	6.1 基本放大电路的组成	120
4.4 熔断器	89	6.1.1 基本电压放大电路的组成	120
4.5 自动空气断路器	90	6.1.2 各元件的作用	121
4.6 交流接触器	91	6.2 放大电路的静态分析	122
4.7 行程开关	92	6.2.1 用直流通路确定静态值	122
4.8 热继电器	92	6.2.2 用图解法确定静态值	123
4.9 时间继电器	93	6.3 放大电路的动态分析	124
本章小结	94	6.3.1 微变等效电路法	124
习题	94	6.3.2 波形失真与工作点的关系	129
第 5 章 常用半导体器件	95	6.4 静态工作点的稳定	130
5.1 半导体	95	6.5 多级放大电路	132
5.1.1 本征半导体	95	6.5.1 电路的组成及工作原理	132
5.1.2 N 型半导体和 P 型半导体	97	6.5.2 多级放大电路电压放大倍数的计算	133
5.1.3 PN 结	98	6.6 放大电路中的负反馈	134
5.2 二极管	100	6.6.1 反馈的概念	134
5.2.1 二极管的基本结构	100	6.6.2 反馈的形式	135
5.2.2 二极管的伏安特性	101	6.6.3 反馈的组态	135
5.2.3 二极管的主要参数	102	6.6.4 负反馈对放大电路性能的影响	138
5.2.4 二极管的主要应用	102	本章小结	140
5.2.5 稳压二极管	104	习题	141
5.2.6 发光二极管和光敏二极管	104	第 7 章 集成运算放大器	144
5.3 三极管	105	7.1 集成运放简介	144
5.3.1 三极管的基本结构	105	7.1.1 运算放大器的端子	144
5.3.2 三极管的电流分配和电流放大原理	106	7.1.2 理想运算放大器	145
5.3.3 三极管的特性曲线	108	7.2 运放在信号运算方面的应用	146
5.3.4 三极管的主要参数	109	7.2.1 基本运算电路	146
5.3.5 光敏三极管	111	7.2.2 基本运算电路应用举例	152
5.4 场效应管	111	7.3 运放在信号处理方面的应用	155
5.4.1 绝缘栅场效应管	111	7.3.1 信号幅度的比较	155
5.4.2 场效应管的主要参数	113	7.3.2 方波发生器	157
5.5 晶闸管	113	7.4 振荡电路	159
5.5.1 晶闸管结构	113	7.4.1 RC 正弦波振荡电路	159
5.5.2 晶闸管工作原理	114	7.4.2 LC 正弦波振荡电路	163
本章小结	116	7.4.3 两种常见的振荡电路	168
习题	117		

本章小结	171
习题	172
第 8 章 直流稳压电源	177
8.1 整流和滤波电路	177
8.1.1 单相桥式整流电路	177
8.1.2 三相桥式整流电路	179
8.1.3 滤波电路	181
8.2 稳压电路	182
8.2.1 并联型稳压电路	182
8.2.2 串联型稳压电路	183
8.2.3 三端集成稳压器	184
8.3 开关稳压电路	187
8.3.1 脉宽调制式串联型 开关稳压电路	188
8.3.2 工作过程	188
8.3.3 稳压原理	188
本章小结	189
习题	189
第 9 章 门电路及组合逻辑电路	192
9.1 基本门电路	192
9.1.1 与门电路	192
9.1.2 或门电路	194
9.1.3 非门电路	195
9.2 组合逻辑电路的分析与设计	197
9.2.1 逻辑代数	197
9.2.2 组合逻辑电路的分析	199
9.2.3 组合逻辑电路的设计	201
9.3 编码器	202
9.4 译码器	205
9.4.1 二进制译码器	205
9.4.2 显示译码器	206
本章小结	207
习题	207
第 10 章 触发器及时序逻辑电路	212
10.1 基本触发器	212
10.1.1 触发器的种类和 基本电路	212

10.1.2 触发器逻辑功能的 描述方法	213
10.1.3 同步 R-S 触发器	215
10.1.4 边沿触发器	217
10.1.5 触发器的逻辑转换	219
10.2 寄存器	219
10.2.1 寄存器的功能和分类	219
10.2.2 数码寄存器	220
10.2.3 移位寄存器	221
10.3 计数器	223
10.3.1 计数器的特点和分类	223
10.3.2 二进制加法计数器	224
10.3.3 同步十进制加法计数器	226
本章小结	228
习题	229
第 11 章 数/模和模/数转换器	234
11.1 数/模转换器(DAC)	234
11.1.1 权电阻网络 DAC	234
11.1.2 R-2R 倒 T 形 电阻网络 DAC	236
11.1.3 DAC 的主要技术指标	237
11.2 模/数转换器(ADC)	238
11.2.1 电路组成	238
11.2.2 工作原理	238
11.2.3 ADC 的主要技术指标	239
11.3 数字电路应用举例	240
11.3.1 交通信号灯故障检测 电路	240
11.3.2 数字万用表	241
11.3.3 数字转速表	241
本章小结	242
习题	242
第 12 章 技能训练及应用实践	243
12.1 电阻器、电容器的识别与 检测及万用表的使用	243
12.2 基尔霍夫定律和叠加定理的 验证	245

12.3	日光灯照明电路及功率因数的提高	246
12.4	三相交流电路	249
12.5	三相异步电动机的继电器—接触器控制	251
12.6	常用电子仪器的使用	252
12.7	二极管的识别与检测及基本应用电路测试	255
12.8	整流与滤波电路的连接与测试	257
12.9	三极管的识别和检测	258
12.10	单级共射放大电路	260
12.11	集成功率放大器的应用	263
12.12	基本运算电路的特性测试	264
12.13	集成运放单级负反馈放大电路的测试	266

12.14	RC 正弦波振荡器	268
12.15	TTL 与非门逻辑功能和电压传输特性的测试	270
12.16	触发器	272
12.17	计数器及译码显示电路	274

附录 A	常用元件的识别与检测及万用表的使用	278
------	-------------------	-----

附录 B	YB4320/20/40/60 示波器面板控制键作用说明	291
------	------------------------------	-----

附录 C	电子电路设计自动化软件 EWB 的应用	295
------	---------------------	-----

部分习题参考答案	316
----------	-----

参考文献	319
------	-----

第1章 直流电路

教学提示：本章在物理学的基础上，从工程技术的角度出发，以直流电路为分析对象，着重讨论电路的基本概念、基本定律以及电路的分析和计算方法。这些内容稍加扩展后适用于交流电路及其他线性电路。

教学要求：通过本章学习，要理解电路模型和理想电路元件(电压源和电流源)的电压-电流关系，电压、电流参考方向的意义，掌握基尔霍夫定律、叠加定理；了解电源的两种模型及其等效变换、支路电流法以及电功率和额定值的意义。

1.1 电路的作用及其组成

1.1.1 电路及其组成

把一些电气设备或元器件，按其所要完成的功能，用一定方式连接而成的电流通路称为电路。

一个完整的电路是由电源、负载和中间环节(包括开关和导线等)三部分组成。

电源可将非电能如化学能、机械能、原子能等转换为电能，并向电路提供能量。负载是指电路中能将电能转换为非电能的用电设备，如电灯、电动机和电热器等。中间环节是指将电源连接成闭合电路的导线、开关设备和保护设备等，也经常接有测量仪表或测量设备。

图 1.1(a)是按实物画出的手电筒电路的示意图。这是最简单的实际电路，由于电池(电源)、小电珠(负载)和开关(中间环节)三部分组成。

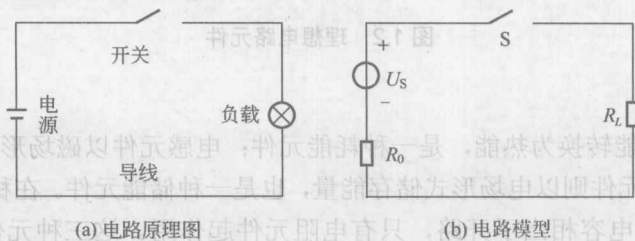


图 1.1 手电筒电路

1.1.2 电路的作用

电路的作用有两类：一是可以实现能量的传输与转换。其典型实例是电力系统，发电机将其他形式的能转换为电能，再通过变压器和输电线路将电能输送给工厂、农村和千家万户的用电设备，这些用电设备再将电能转换为机械能、热能、光能或其他形式的能量。

图 1.1(a)、图 1.1(b)就是一个简单的电力电路。二是可以实现信号的传递和转换，例如无线

电通信电路和检测电路。

1.1.3 电路模型

任何实际电路都是由多种电气元器件所组成,例如最简单的手电筒电路或者较复杂的电视机电路等。电路中各种元件所表征的电磁现象和能量转换的特征一般都比较复杂,而按实际电器元件做出电路图有时也比较困难和复杂,因此,在分析和计算实际电路时,是用理想电路元件及其组合来近似替代实际电器元件所组成的实际电路。这给分析和计算电路带来很多方便。这种由理想元件组成的与实际电器元件相对应的,并用统一规定的符号表示而构成的电路,就是实际电路的模型,或称电路模型。它是实际电路电磁性质的科学抽象和概括。因此,可以通过分析电路模型来揭示实际电路的性能和所遵循的普遍规律。图 1.1(b)是图(a)的电路模型。在图中干电池用电动势 U_s 和内阻 R_0 来表示。负载小电珠则用电阻 R_L 表示。开关则用字母 S 表示。连接导线的电阻值很小,一般都忽略不计而用直线表示。

所谓理想电路元件,是指在一定条件下,突出其主要电磁特性,忽略其次要因素以后,把电器元件抽象为只含一个参数的理想电路元件。基本的理想电路元件有理想电阻元件 R 、理想电感元件 L 、理想电容元件 C 、理想电压源 U_s 和理想电流源 I_s 五种,它们的电路符号如图 1.2 所示。前三种理想电路元件的“理想”两字通常可以略去不说,只称为电阻元件、电感元件和电容元件。

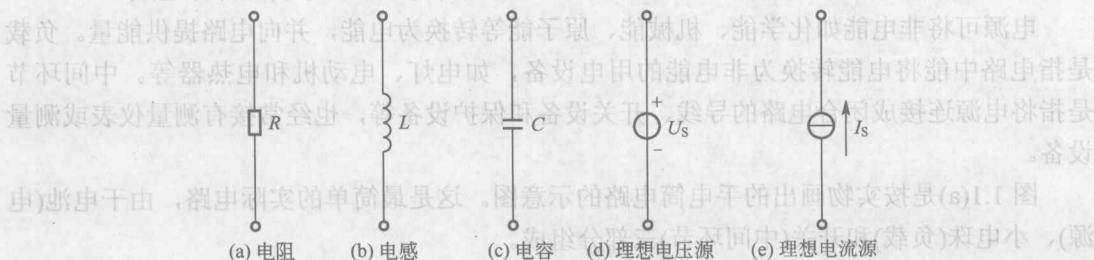


图 1.2 理想电路元件

1. 无源元件

电阻元件将电能转换为热能,是一种耗能元件;电感元件以磁场形式储存能量,是一种储能元件;电容元件则以电场形式储存能量,也是一种储能元件。在稳定的直流电路中,电感相当于短路,电容相当于开路,只有电阻元件起作用。这三种元件称为无源元件,电路符号如图 1.2(a)、图 1.2(b)、图 1.2(c)所示。而理想电压源和理想电流源又称为有源元件,电路符号如图 1.2(d)、图 1.2(e)所示。

2. 有源元件

理想电压源的特点是输出恒定电压,其端电压不随输出电流的变化而变化。理想电流源的特点是输出恒定电流,不随输出电压的变化而变化。其波形如图 1.3 所示。

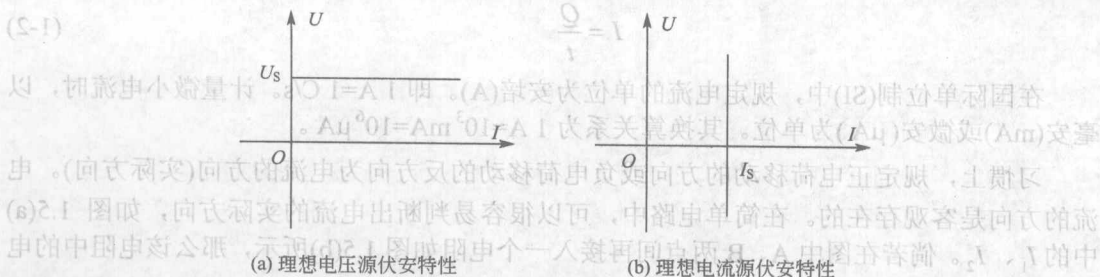


图 1.3 理想电压源和理想电流源的伏安特性

实际电路元件工作时表现出的电磁现象,可以用理想电路元件或其组合来反映。在图 1.1(b)中,当忽略内阻时,电源的输出电压就等于其电动势而与电流无关,具有理想电压源的性质;当考虑电阻时,由于电流在内阻上有电压降,因此当电动势不变化时,输出电压是随输出电流的变化而变化的。这一变化的特性,可以用一个代表电动势 U_s 的理想电压源与一个代表内电阻 R_0 的电阻元件相串联的组合来表示,如图 1.4(a)所示,称为实际电源的电压源模型。

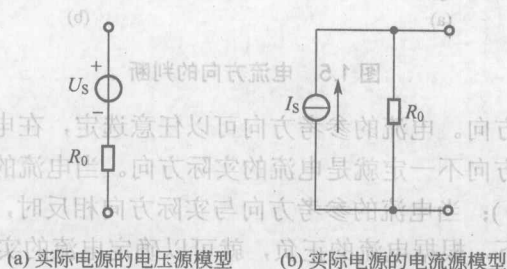


图 1.4 实际电源的电压源模型和电流源模型

一个实际电源也可以用一个理想电流源 I_s 和内阻 R_0 相并联的电路模型来表示,如图 1.4(b)所示,这就是实际电源的电流源模型。

1.2 电路的三种状态

1.2.1 电路的主要物理量

1. 电流

电流的强弱用电流强度来表示,其数值等于单位时间内通过导体某一横截面的电荷量。设在 dt 时间内通过导体某一横截面的电荷量为 dq , 则通过该截面的电流强度为

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

在一般情况下,电流强度是随时间而变的。如果电流强度不随时间而变,即 $dq/dt = \text{常数}$, 则这种电流就称为恒定电流,简称直流。它所通过的路径就是直流电路。在直流电路中,式(1-1)可写成

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

在国际单位制(SI)中,规定电流的单位为安培(A)。即 $1\text{ A}=1\text{ C/s}$ 。计量微小电流时,以毫安(mA)或微安(μA)为单位。其换算关系为 $1\text{ A}=10^3\text{ mA}=10^6\mu\text{A}$ 。

习惯上,规定正电荷移动的方向或负电荷移动的反方向为电流的方向(实际方向)。电流的方向是客观存在的。在简单电路中,可以很容易判断出电流的实际方向,如图 1.5(a)中的 I_1 、 I_2 。倘若在图中 A、B 两点间再接入一个电阻如图 1.5(b)所示,那么该电阻中的电流方向就很难直观判断了。另外,在交流电路中,电流是随时间变化的,在图上也无法表示其实际方向。为了解决这一问题,须引入电流的参考方向这一概念。

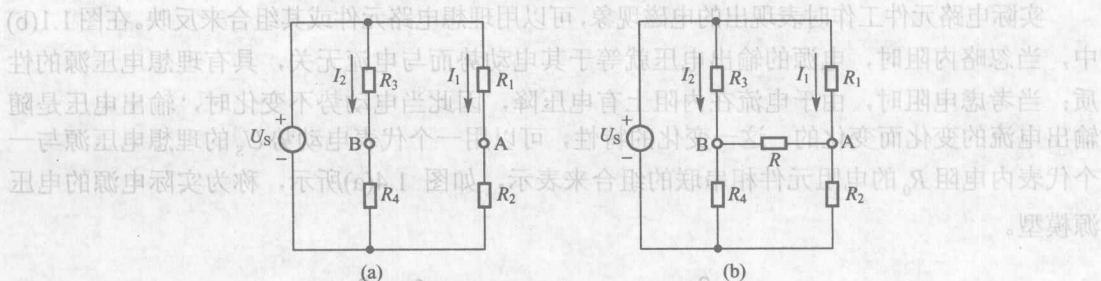


图 1.5 电流方向的判断

参考方向是假定的方向。电流的参考方向可以任意选定,在电路中一般用箭头表示。当然,所选的电流参考方向不一定就是电流的实际方向。当电流的参考方向与实际方向一致时,电流为正值($I>0$);当电流的参考方向与实际方向相反时,电流为负值($I<0$)。这样,在选定的参考方向下,根据电流的正负,就可以确定电流的实际方向,如图 1.6 所示。

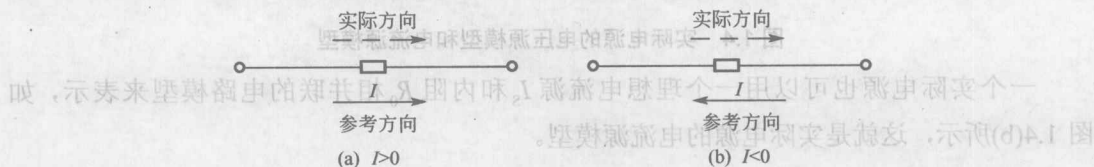


图 1.6 电流的参考方向与实际方向

在分析电路时,首先要假定电流的参考方向,并据此去分析计算,最后再从答案的正负值来确定电流的实际方向。如不作说明,电路图上标出的电流方向一般都是指参考方向。

2. 电压

在电路中,如果设正电荷由 A 点移到 B 点时电场力所做的功为 dW ,则 A、B 两点间的电压为

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

也就是说,电场力把单位正电荷由 A 点移到 B 点所做的功在数值上等于 A、B 两点间的电压。在直流电路中,上式可写成

$$U = \frac{W}{Q}$$

国际单位制(SI)中,电压的单位是伏特(V)。当电场力把 1C(库仑)的电荷从一点移到另一点所做的功为 1J(焦耳)时,该两点间的电压为 1V。计量微小电压时,则以毫伏(mV)或微伏(μV)为单位。计量高电压时,则以千伏(kV)为单位。

电压的方向(实际方向)习惯上规定从高电位点指向低电位点,即电压降的方向。但在分析电路时,也须选取电压的参考方向。当电压的参考方向与实际方向一致时,电压为正($U > 0$);相反时,电压为负($U < 0$),如图 1.7 所示。

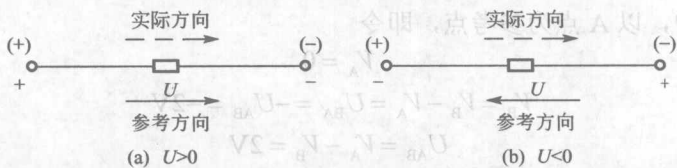


图 1.7 电压的参考方向与实际方向

参考方向在电路图中可用箭头表示,也可用极性“+”、“-”表示。“+”表示高电位,“-”表示低电位。符号表示可用 U_{AB} 。

在分析和计算电路时,电压和电流参考方向的假定,原则上是任意的。但为了方便,元件上的电压和电流常取一致的参考方向,这称为关联参考方向,反之,称为非关联参考方向。

在图 1.8 中,图(a)所示的 U 与 I 参考方向一致,则其电压与电流的关系是 $U = IR$;而图(b)所示的 U 与 I 参考方向不一致,则电压与电流的关系是 $U = -IR$ 。可见,在写电压与电流的关系式时,式中的正负号由它们的参考方向是否一致来决定。

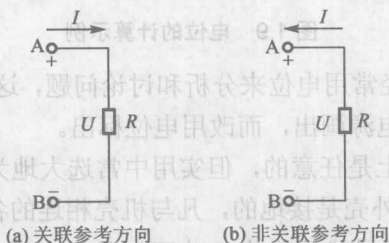


图 1.8 关联参考方向与非关联参考方向

3. 电位

在电器设备的调试和检修中,经常要测量某个点的电位,看其是否符合设计数值。电位是度量电势能大小的物理量,在数值上等于电场力将单位正电荷从该点移到参考点所做的功,用符号“V”表示。由此可以看出:电路中任意一点的电位,就是该点与参考点之间的电压,而电路中任意两点之间的电压,等于这两点电位之差。因此,电位的测量实质上就是电压的测量,即测量该点与参考点之间的电压。电压与电位的关系为

$$U_{AB} = V_A - V_B \quad (1-3)$$

现以图 1.9 为例来讨论电位的计算。在图 1.9(a)中,选择 O 点为参考点,即令

$$V_O = 0$$

则

$$V_A = V_A - V_O = U_{AO} = 1\text{V}$$

$$V_B = V_B - V_O = U_{BO} = -U_{OB} = -1\text{V}$$

在图 1.9(b)中, 以 B 点为参考点, 即令 $V_B = 0$ 则 $V_A = V_A - V_B = U_{AB} = 2V$ 故 $U_{AB} = V_A - V_B = U_{AB} = 2V$

在图 1.9(c)中, 以 A 点为参考点, 即令

则

$$V_B = V_B - V_A = U_{BA} = -U_{AB} = -2V$$

$$U_{AB} = V_A - V_B = 2V$$

可以看出, 参考点选得不同, 电路中各点电位也不同, 但任意两点间的电位差即电压不变。电路中各点的电位高低是相对于参考点而言的, 而两点间的电压则与参考点的选择无关。如果不选择参考点去讨论电位是没有意义的。

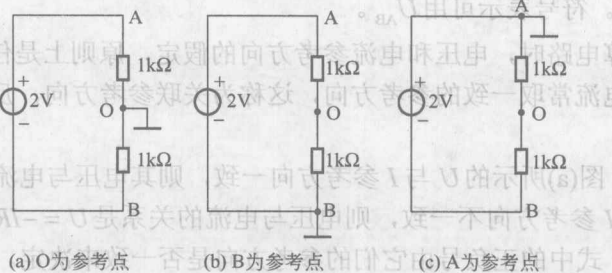


图 1.9 电位的计算示例

在电子技术的学习中, 经常用电位来分析和讨论问题, 这给电路分析带来方便。因此, 在电子电路中, 往往不再把电源画出, 而改用电位标出。

电位参考点的选取原则上是任意的, 但实用中常选大地为参考点, 在电路图中用符号 “ $\perp$ ” 来表示。有些设备的外壳是接地的, 凡与机壳相连的各点, 均是零电位点。有些设备的机壳不接地, 则选择许多导线的公共点(也可以是机壳)作参考点, 电路中用符号 “ $\perp$ ” 表示。

【例 1.1】 试计算图 1.10 所示电路中 B 点的电位 V_B 。

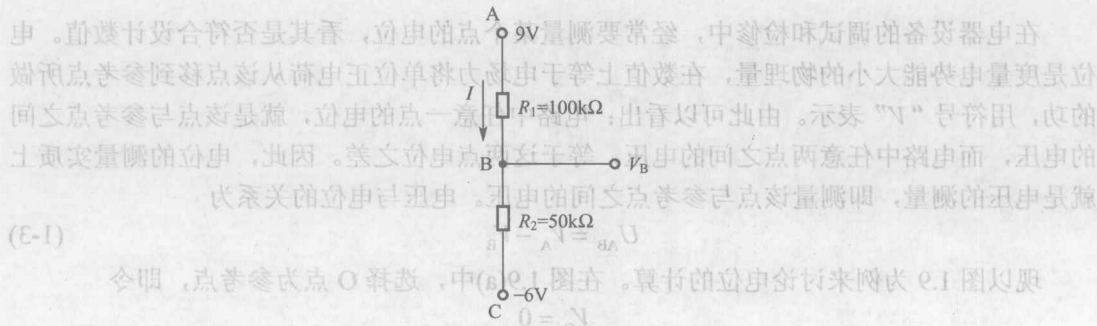


图 1.10 例 1.1 电路

解: 如图 1.10 所示, 电路中的电流

$$I = \frac{V_A - V_C}{R_1 + R_2} = \frac{9 - (-6)}{100 + 50} \text{ mA} = 0.1 \text{ mA}$$

电阻 R_1 上的电压降

$$U_{AB} = R_1 I = (100 \times 0.1) \text{ V} = 10 \text{ V}$$

故 B 点的电位

$$V_B = V_A - R_1 I = (9 - 10) \text{ V} = -1 \text{ V}$$

或

$$V_B = V_C + R_2 I = (-6 + 50 \times 0.1) \text{ V} = -1 \text{ V}$$

计算表明, 当选取电位参考点以后, 电路中的各点都具有确定的电位, 与计算的路径无关。

4. 电动势

在电路中, 正电荷在电场力作用下不断从正极流向负极, 如果没有一种外作用力, 正极因正电荷的减少会使电位逐渐降低, 而负极则因正电荷的增多会使电位逐渐升高, 故正、负极板间的电位差就会减小, 最后为零。为了维持电流, 必须使正、负极板间保持一定的电压, 这就要借助电源力使移动到负极的正电荷经电源内部移到正极。为了衡量电源力对电荷做功的本领, 引出电动势的概念。电动势在数值上等于电源力将单位正电荷从电源负极移到电源正极所做的功, 用 U_s 表示。

电动势的方向是在电源内部由低电位端指向高电位端, 即电位升高的方向。电动势的参考方向也可用箭头、双下标和“+”、“-”极性表示。电动势的单位与电压的单位相同, 也用 V 表示。

5. 电能和电功率

设直流电路中, A、B 两点的电压为 U , 在时间 t 内电荷 Q 受电场力作用从 A 点经负载移动到 B 点, 电场力所做的功为

$$W = UQ = UI t \quad (1-4)$$

这就是在 t 时间内所消耗(或吸收)的电能, 而单位时间内消耗的电能称为电功率(简称功率), 即负载消耗(或吸收)的电功率。

$$P = \frac{W}{t} = UI \quad (1-5)$$

在时间 t 内, 电源力将电荷 Q 从电源负极经电源内部移到正极所做的功为

$$W_E = U_s Q = U_s I t \quad (1-6)$$

电源力产生(或发出)的电功率

$$P_E = U_s I \quad (1-7)$$

在一个电路中, 电源产生的功率与负载、导线以及电源内阻上消耗的功率总是平衡的, 遵循能量守恒和转换定律。

在国际单位制中, 功的单位是焦耳(J), 功率的单位是瓦特(W)。还有千瓦(kW)、毫瓦(mW), 且 $1 \text{ kW} = 10^3 \text{ W} = 10^6 \text{ mW}$ 。

在电路分析中,不仅要计算功率的大小,有时还要判断功率的性质,即该元件是产生功率还是消耗功率。根据电压和电流的实际方向可以确定电路元件的功率性质。

当 U 和 I 的实际方向相同,即电流从“+”端流入,从“-”端流出,则该元件是消耗(取用)功率,属负载性质。

当 U 和 I 的实际方向相反,即电流从“+”端流出,从“-”端流入,则该元件是输出(提供)功率,属电源性质。

由此可见,在电路元件上 U 和 I 取关联参考方向的条件下,当 $P = UI$ 为正值时,表明 U 、 I 的实际方向相同,该元件是负载性质,消耗功率;当 P 为负值时,表明 U 、 I 的实际方向相反,该元件是电源性质,输出功率。如果 U 、 I 取非关联参考方向,则情况相反。

【例 1.2】 某电路中的一段支路含有电源,如图 1.11 (a)所示,支路电阻为 $R_0 = 0.6 \Omega$,测得该有源支路的端电压为 230V,电路中的电流 $I = 5 \text{ A}$,其关系为 $U = U_s - IR_0$,试求:(1) 此有源支路的电动势;(2) 此有源支路在电路中是属于电源性质还是负载性质?(3) 写出功率平衡关系式。

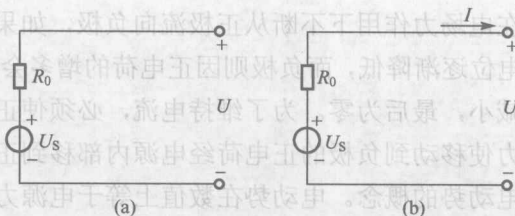


图 1.11 例 1-2 电路

解:(1)由 $U = U_s - IR_0$ 得

$$U_s = U + R_0 I = (230 + 0.6 \times 5) \text{ V} = 233 \text{ V}$$

(2) 由于有源支路的电动势 U_s 大于外电压 U , 故电流 I 的实际方向如图 1.11(b)所示。即 I 与 U 的实际方向相反,此有源支路在电路中是属于电源性质,它向外电路提供电能。

(3) 有源支路电动势发出的功率为

$$P_E = U_s I = (233 \times 5) \text{ W} = 1165 \text{ W}$$

此支路向外电路发出的功率为

$$P = UI = (230 \times 5) \text{ W} = 1150 \text{ W}$$

此支路内阻上消耗的功率为

$$\Delta P = I^2 R_0 = (5^2 \times 0.6) \text{ W} = 15 \text{ W}$$

功率平衡关系式为

$$P_E = P + \Delta P = (1150 + 15) \text{ W} = 1165 \text{ W}$$

(0-1) 计算表明,此有源支路中电动势发出功率 1165W,其中 15W 消耗于内阻上,1150W 输出给外电路。

1.2.2 电路的三种工作状态

电路有空载、短路和负载三种工作状态。现就图 1.12 所示的简单电路来讨论当电路处于三种不同状态时的电压、电流和功率等的特点。 U_1 表示电源的端电压 U_{AB} , U_2 表示负载的端电压 U_{CD} 。

(8-1)

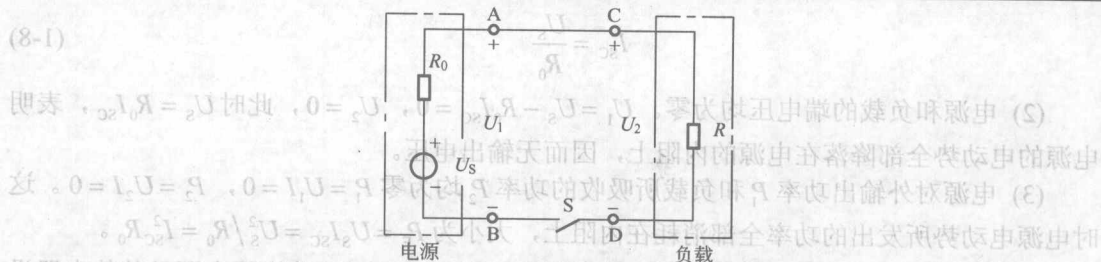


图 1.12 简单电路

1. 空载状态

空载状态又称断路或开路状态,如图 1.13 所示。电路空载时,外电路电阻可视为无穷大,其电路特征如下。

(1) 电路中电流为零,即 $I = 0$ 。

(2) 电源端电压等于电源的电动势,即 $U_1 = U_s - R_0 I = U_s = U_{oc}$ 。

此电压称为空载电压或开路电压,用 U_{oc} 表示。由此可以得出粗略测量电源电动势的方法。

(3) 电源的输出功率 P_1 和负载所吸收的功率 P_2 均为零。 $P_1 = U_1 I = 0$, $P_2 = U_2 I = 0$ 。

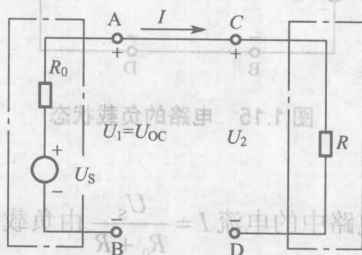


图 1.13 电路的空载状态

2. 短路状态

当电源的两输出端钮(A、B)由于某种原因相接触时,会造成电源被直接短路,如图 1.14 所示。当电源短路时,外电路电阻可视为零,此时电路特征如下。

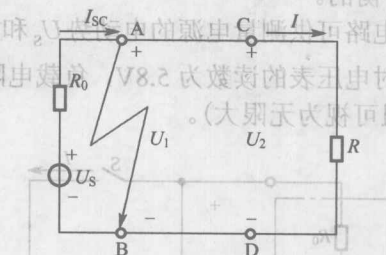


图 1.14 电路的短路状态

(1) 电源中的电流最大,外电路输出电流为零。此时电源中的电流称为短路电流,大小为

短路电流 I_{sc}

$$I_{sc} = \frac{U_s}{R_0} \quad (1-8)$$

(2) 电源和负载的端电压均为零。 $U_1 = U_s - R_0 I_{sc} = 0$, $U_2 = 0$, 此时 $U_s = R_0 I_{sc}$, 表明电源的电动势全部降落在电源的内阻上, 因而无输出电压。

(3) 电源对外输出功率 P_1 和负载所吸收的功率 P_2 均为零 $P_1 = U_1 I = 0$, $P_2 = U_2 I = 0$ 。这时电源电动势所发出的功率全部消耗在内阻上, 大小为 $P_E = U_s I_{sc} = U_s^2 / R_0 = I_{sc}^2 R_0$ 。

电源短路, 是一种严重事故, 可使电源的温度迅速上升, 以致烧毁电源及其他电器设备。通常在电路中装有熔断器等短路保护装置。但是, 有时可以将局部电路短路或按技术要求对电源设备进行短路实验, 也属于正常现象。

3. 负载状态

电路的负载状态是一般的有载工作状态, 如图 1.15 所示。

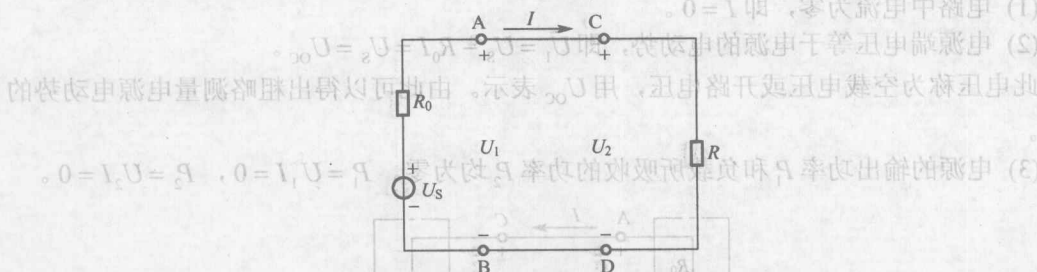


图 1.15 电路的负载状态

此时电路特征如下。

(1) 当 U_s 、 R_0 一定时, 电路中的电流 $I = \frac{U_s}{R_0 + R}$ 由负载电阻 R 的大小决定。电源的端电压总是小于电源的电动势。 $U_1 = U_s - R_0 I$, 若忽略线路上的压降, 则负载的端电压 U_2 等于电源的端电压 U_1 。

(2) 电源的输出功率为电源电动势发出的功率 $U_s I$ 减去内阻上消耗功率 $R_0 I^2$ 。 $P_1 = U_1 I = (U_s - R_0 I) I = U_s I - R_0 I^2$, 可见, 电源发出的功率等于电路各部分所消耗的功率之和, 即整个电路中的功率是平衡的。

【例 1.3】 如图 1.16 所示的电路可供测量电源的电动势 U_s 和内阻 R_0 。若开关 S 打开时电压表的读数为 6V, 开关闭合时电压表的读数为 5.8V, 负载电阻 $R = 10\Omega$, 试求电源的电动势 U_s 和内阻 R_0 (电压表的内阻可视为无限大)。

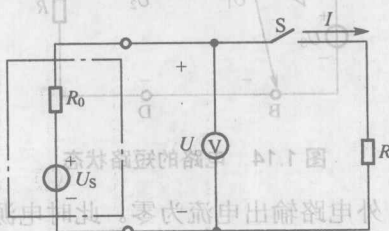


图 1.16 例 1.3 电路