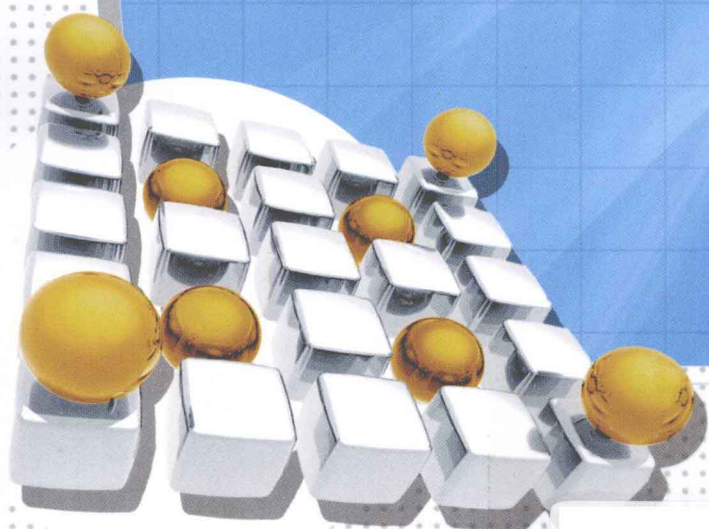




高职高专制造大类系列规划教材
电 气 自 动 化 系 列



电气控制系统设计安装与调试

赵亚英 袁运平 主 编
吕栋腾 崔屹嵘 副主编



科 学 出 版 社

高职高专制造大类系列规划教材
电气自动化系列

电气控制系统设计安装与调试

赵亚英 袁运平 主 编

吕栋腾 崔屹嵘 副主编

孙永芳 袁美荣 参 编

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书系统地介绍了电气控制系统设计安装与调试,并进一步对机床电气控制的基本电工测量及典型机床电气图的计算机绘制作了详尽介绍。本书内容包括电工基础、电气测量、机床电气控制技术、可编程控制器等技术,主要针对电工测量、继电器-接触器控制系统、PLC 控制系统、机电设备电气系统电气 CAD 设计、系统安装、与管理维护进行介绍。为适应理论实践一体化教学要求,全书采用情境任务驱动教学法编写,以能力为本位,以应用为目的,以必需、够用为度,力求简明易懂,便于自学。

本书可作为高职院校机电一体化、机械制造及自动化、数控技术、自动化等专业的教材,同时对从事机电一体化领域的工程技术人员也有一定的参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

电气控制系统设计安装与调试/赵亚英,袁运平主编. —北京:科学出版社,2013
(高职高专制造大类系列规划教材·电气自动化系列)

ISBN 978-7-03-036963-5

I. ①电… II. ①赵… ②袁… III. ①电气控制系统-高等职业教育-教材
②电气控制系统-安装-高等职业教育-教材 ③电气控制系统-调试方法-高等
职业教育-教材 IV. ①TM921.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 044042 号

责任编辑:艾冬冬 / 责任校对:王万红

责任印制:吕春珉 / 封面设计:耕者设计工作室

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2013年3月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2013年3月第一次印刷 印张:22 3/4

字数:530 000

定价:46.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈双青〉)

销售部电话 010-62134988 编辑部电话 010-62138978-2023

版权所有,侵权必究

举报电话:010-64030229;010-64034315;13501151303

前 言

电气控制系统设计安装与调试技术所涉及的内容十分广泛,包括电工基础、电气测量、机床电气控制技术、可编程控制器等技术。作为高职院校机电类专业的一门职业技术课,电气控制技术课程得到普遍重视和广泛开设。本书以机电设备电气控制系统设计安装调试应用为目的,采用突出实践性、体现应用性的项目驱动结构体系编写,在叙述上力求全面、简洁和实用,使读者能对电气控制系统设计安装与调试维护有一个比较全面的了解。

全书共分6个情境,第1个情境为照明控制系统设计、安装调试和检测,主要介绍了照明系统电路组成,电路基本定律应用,各种电路分析计算方法,照明控制电路设计,照明控制系统电路安装、调试,照明控制系统故障检测及故障排除等;第2个情境为车床电气控制系统的设计、安装调试和维修,主要介绍了车床系统中电器元件的工作原理及选择,基本电气控制要求、工作原理及控制过程分析等;第3个情境为典型机床电气控制系统的设计、安装与调试,主要介绍典型机床常见电气故障分析与维修、电气控制系统设计及机床电气控制线路CAD软件设计等;第4个情境为物料传输、分拣PLC控制系统的设计、安装调试和维修,主要介绍了基本指令的应用方法,步进电机的控制方法等;第5个情境为LED灯光控制系统的PLC设计、安装与调试,主要介绍PLC高级指令应用,程序的编制方法等;第6个情境为电梯PLC控制系统的设计、安装与调试,主要介绍了电梯控制系统中电动机及多工位运载系统的工作原理和PLC控制程序的设计,四层电梯工作原理和PLC控制程序的设计,PLC的硬件故障诊断与排除,一般电气控制系统的故障分析、查找和故障排除方法。

本书由陕西国防工业职业技术学院老师赵亚英、袁运平担任主编,吕栋腾、崔屹嵘担任副主编。参加本书编写的有崔屹嵘(情境1),赵亚英(情境2、情境3),孙永芳(情境5),吕栋腾(情境4),袁运平(情境6)。全书由赵亚英编写大纲并进行统稿。陕西秦岭电气有限公司高级工程师袁美荣对各个情境内容做最终校核,在此表示感谢。

本书编写过程中参考和引用了大量资料和文献,在此向相关作者表示感谢。

由于编者水平及成书时间所限,书中疏漏之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

目 录

前言

单元情境 1 照明控制系统安装与调试	1
任务 1.1 基本电学量的测量以及常用仪器仪表的应用	2
1.1.1 电路及其主要物理量	3
1.2.2 电路模型	9
任务 1.2 基尔霍夫定律、电路的分析方法以及叠加定理	16
1.2.1 基尔霍夫定律	17
1.2.2 支路电流法	19
1.2.3 叠加定理	20
任务 1.3 戴维南定理	24
1.3.1 戴维南定理验证	24
1.3.2 戴维南定理解题步骤	26
任务 1.4 单相交流电单一参数交流电路	28
1.4.1 正弦交流电的基本概念	28
1.4.2 正弦量的相量表示法	33
1.4.3 单一参数的交流电路	35
任务 1.5 荧光灯电路以及功率因数提高	45
1.5.1 RLC 串联电路	46
1.5.2 RLC 串联电路的功率	48
1.5.3 正弦交流电路的分析方法	50
1.5.4 功率因数的提高	52
任务 1.6 三相交流电路	57
1.6.1 三相电源	58
1.6.2 负载的星形联结	60
1.6.3 负载的三角形联结	63
1.6.4 三相负载的功率	65
考核与评价	68
单元情境 2 车床电气控制系统的设计、安装调试和维修	69
任务 2.1 车床电气控制系统基本元器件	70
2.1.1 常用低压元器件	70
任务 2.2 电机长点动控制系统设计安装运行	83
2.2.1 点动	83



2.2.2 长动控制线路	83
2.2.3 长动与点动控制线路	84
任务 2.3 电气系统的多地控制设计安装调试运行	86
任务 2.4 小车往复运动电气控制系统设计安装调试运行	88
2.4.1 正、反转控制	88
2.4.2 自动往复循环控制线路	89
2.4.3 三相交流异步电动机调速控制线路	90
任务 2.5 降压启动电气控制系统设计安装调试运行	93
2.5.1 降压启动电气控制系统设计	93
任务 2.6 电气制动控制系统设计安装调试运行	97
2.6.1 电气制动控制系统设计	97
任务 2.7 车床电气控制系统设计	102
2.7.1 电气控制线路分析基础	102
2.7.2 C650 卧式车床的电气控制线路分析	105
任务 2.8 车床电气控制系统安装与调试运行	110
2.8.1 电气控制线路图中的图形符号和文字符号	111
2.8.2 电气原理图	112
2.8.3 电气元件布置图	113
任务 2.9 机床电气控制系统调试与维修	115
2.9.1 电气控制系统检修工具	115
2.9.2 检修步骤	116
2.9.3 检修方法	117
考核与评价	122
单元情境 3 典型机床电气控制系统的设计、安装与调试	123
任务 3.1 铣床电气控制系统设计、安装调试与维修	124
3.1.1 铣床电气控制系统	127
3.1.2 钻床电气控制系统	133
3.1.3 镗床电气控制系统	136
任务 3.2 电气控制系统设计安装与调试工程实例	145
3.2.1 电气系统设计基础知识	145
3.2.2 电力拖动方案的确定和电动机的选择	147
3.2.3 机床电气控制系统线路设计的一般要求	151
3.2.4 电气工艺设计	154
任务 3.3 电气 CAD 系统应用设计	162
3.3.1 AutoCAD 2008 软件系统基础知识	162
3.3.2 AutoCAD 2008 绘制典型电气元件	204



3.3.3 绘制机床电气控制线路图	210
考核与评价	218
单元情境 4 物料传输分拣 PLC 控制系统设计与安装	219
任务 4.1 PLC 基础知识	220
4.1.1 PLC 概述	220
4.1.2 PLC 控制系统与电气控制系统的比较	225
4.1.3 PLC 的基本组成及工作原理	228
4.1.4 PLC 的外部设备	237
4.1.5 PLC 的性能指标与发展趋势	240
任务 4.2 PLC 基本指令编程练习	246
4.2.1 欧姆龙 CP1H 系列 PLC 的指令系统概述	246
4.2.2 常用 PLC 编程元件及功能	247
4.2.3 存储区域及编程规则	248
4.2.4 CP1H PLC 基本指令	254
任务 4.3 三相异步电动机的 PLC 控制系统设计	259
任务 4.4 四条传送带的 PLC 控制系统设计	267
4.4.1 应用指令	268
任务 4.5 工业轧钢机的 PLC 控制系统设计	275
考核与评价	281
单元情境 5 LED 灯光控制系统的 PLC 设计安装与调试	282
任务 5.1 艺术彩灯的 PLC 控制系统设计安装与调试	283
任务 5.2 十字路口交通灯的 PLC 控制系统设计安装与调试	289
5.2.1 数据比较指令	290
5.2.2 数据运算指令	293
任务 5.3 LED 数码管 PLC 控制系统设计安装与调试	297
5.3.1 数据转换指令	297
5.3.2 逻辑运算指令	302
考核与评价	304
单元情境 6 电梯 PLC 控制系统的设计安装与调试	305
任务 6.1 机械手的 PLC 控制系统设计安装与调试	306
任务 6.2 四层电梯 PLC 控制系统设计安装与调试	312
6.2.1 子程序指令	313
6.2.2 中断控制指令	315
6.2.3 高速计数/脉冲输出指令	317
6.2.4 PLC 系统的设计方法	320
任务 6.3 OMRON CX-Programmer 编程软件应用	328



目 录

6.3.1 CX-Programmer 6.1 软件的安装	328
6.3.2 CX-Programmer 6.1 窗口及菜单介绍	329
6.3.3 CX-Programmer 6.1 软件使用	334
6.3.4 PLC 操作模式	342
任务 6.4 PLC 的安装与维护	344
6.4.1 PLC 的安装与接线	344
6.4.2 PLC 的维护与检修	350
考核与评价	355
主要参考文献	356

照明控制系统安装与调试

单元学习目标

知识目标

1. 学习直流、单相交流和三相交流照明控制系统组成、安装、调试、维修和设计的方法和步骤。
2. 学习电工仪器仪表的应用。
3. 学习直流、单相交流和三相交流电路的分析方法以及数据的处理方法。
4. 对照明控制系统的安装、调试与维修进行实际操作。

能力目标

1. 能根据工作任务要求,了解直流、单相交流和三相交流照明控制系统的组成、工作原理、电路识读、电路图绘制,以及设计简单的电路。
2. 能制定任务工作计划,并选取安装工具和需要的仪器仪表。
3. 能利用仪器仪表对电路中的各种电量进行测量、分析及计算。
4. 能安装简单的照明电路。
5. 能对直流、单相交流和三相交流照明控制系统的故障进行分析判断,并排除故障。
6. 能对工作任务进行评价。
7. 完成工作任务的过程中,能按照各项规章制度操作,养成安全生产的习惯,节约材料,增强保护环境意识。
8. 养成团结协助的精神,主动适应团队的工作要求。



任务 1.1 基本电学量的测量以及常用仪器仪表的应用

任务内容

1. 学习基本电学量的含义以及表示方法。
2. 认识电工实验中常用的电工仪器仪表。
3. 学习理想电压源、理想电流源模型的含义。
4. 学习实际电压源、实际电流源模型的含义。
5. 学习实际电压源与实际电流源之间的转换。
6. 学习通用仪器仪表在电路测量中使用的基本方法。
7. 熟悉电工实验台，初步学习电源箱、基本电路模块的使用方法。
8. 学习电流、单相电压以及三相电压测量电路的构建，以及测量系统的原理和结构。
9. 学习功率表的应用，电功率测量电路的构建，和测量系统的原理和结构。
10. 学习电阻等电路元件的识别以及测量方法。
11. 对测量电路进行优化创新设计。

任务目的

1. 熟悉各种电学量的含义及表示方法。
2. 掌握电工实验中常用电工仪器仪表的应用。
3. 能识读简单的电学量测量电路。
4. 能进行电学量测量电路的构建。
5. 能绘制测量电路原理图，列出材料工具清单。
6. 能分析总结测量结果。

任务引入

1. 直流电压、电流的测量

图 1-1-1 所示为直流电压、电流的测量电路。按图 1-1-1 接线，用交流电压表 V_1 监视从实验台调压器输出 20V 和 25V 交流电压，并接到整流器上，选用直流电压表 V_2 和直流电流表 A，测量输出的直流电压和直流电流。

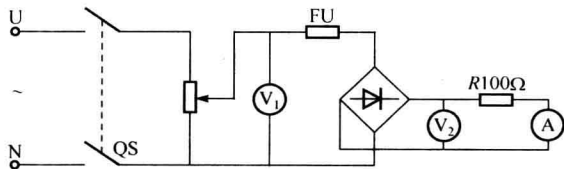


图 1-1-1 直流电压、电流的测量电路

2. 电功率的测量

图 1-1-2 所示为电功率的测量电路。按图 1-1-2 接线, 测量每个灯泡实际消耗的电功率。

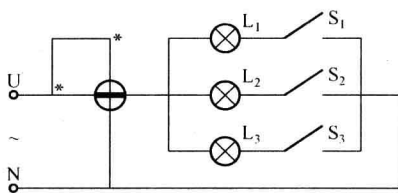


图 1-1-2 电功率的测量电路

相关理论知识

1.1.1 电路及其主要物理量

1. 电路的概念

电路——电流流通的路径, 通常是由某些电气设备和元器件根据某种需要按一定方式组合起来的。手电筒的电路图是最简单熟悉的例子, 如图 1-1-3 所示。

(1) 电路的组成

1) 电源——提供电能（将其他形式的能转换为电能）的设备, 又称为激励。例如, 干电池是将化学能转换为电能; 水力发电是将水的势能先转换为机械能, 再转换为电能。

2) 负载——消耗电能（将电能转换为其他形式的能）的设备, 例如, 荧光灯是将电能转换为光能, 电动机是将电能转换为机械能。

3) 中间环节——把电源和负载连成通路的导线, 控制电路通断的开关, 监测和保护电路的控制设备以及仪器仪表设施, 统称为中间环节。

(2) 电路的作用

实现电能的传输和转换（电力电路, 俗称强电电路）, 特点是大电流, 大功率; 如白炽灯、电动机电路等都属于电力电路。

实现信号的传递和处理（信号电路, 俗称弱电电路）, 特点是小电流, 小功率。如电话机、电视机等进行信号处理的电路都属于信号电路。

电路在电力系统和信号系统两种典型场合的作用示意图如图 1-1-4 所示。

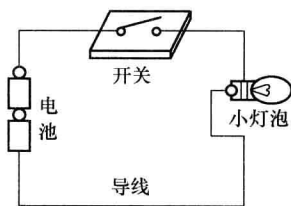


图 1-1-3 手电筒电路图

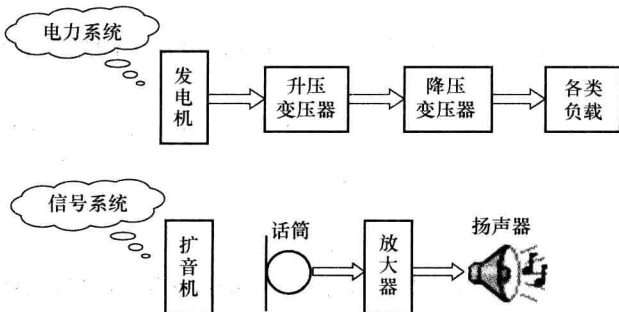


图 1-1-4 电路在两种典型场合作用示意图



(3) 电路图

电路图通常有三种,如图 1-1-5 所示。

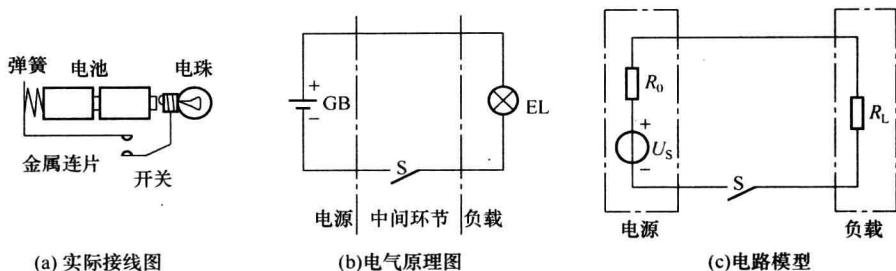


图 1-1-5 手电筒电路的三种形式

- 1) 接线图——实际接线图。
- 2) 原理图——用标准符号表示的电路图。
- 3) 电路模型——由理想电路元件构成的电路图。

常用的理想电路元件只有五种,如图 1-1-6 所示,由左到右依次是电阻、电感、电容、理想电压源以及理想电流源,用于表征各种各样的实际器件。

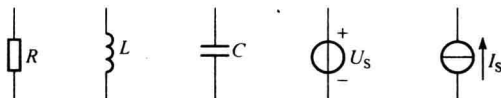


图 1-1-6 常用理想电路元件表示

电路模型化能使电路的分析与计算得到简化,今后在电路分析中讨论的电路都是电路模型。

2. 电路的主要物理量

(1) 电流

导体中存在大量的自由电子,当导体两端处在外电场作用下时,导体内的自由电子就会定向移动形成电流。

- 1) 电流的大小,即单位时间内通过导体某一横截面的电荷量。定义式为

$$i = \frac{dq}{dt}$$

其中,电量 q 的单位是库仑,符号为 C; 时间 t 的单位是秒,符号为 s; 电流 i 的单位是安培,符号为 A。

若电流的大小和方向均不随时间变化是为恒定直流电,简称直流电。表达式可改写为

$$I = \frac{Q}{t}$$

其中直流电通常用大写 I 来表示,交流电通常用小写 i 来表示。

- 2) 电流的单位,电力系统中某些电流可达到几千安,而信号电路中电流小到毫安级,在国际单位制中,其符号为 A (安)、mA (毫安)、 μ A (微安),其中, $1\text{A}=1\text{C/s}$ (库/秒)



$$1\text{A}=10^3\text{mA}=10^6\mu\text{A}, 1\text{kA}=1000\text{A}.$$

3) 电流的方向, 电流的实际方向规定为正电荷移动的方向或负电荷移动的反方向。如图 1-1-7 所示。

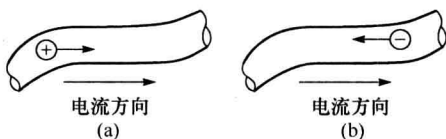


图 1-1-7 电流的方向

根据电源极性很容易确定图 1-1-8 (a) 中电流 I_1 、 I_2 的方向, 而图 1-1-8 (b) 中 A、B 两点间的电流就不易确定, 分析电路时可先假设某一方向, 用箭头表示在电路图上, 以此参考方向作为计算的依据, 参考方向可任意选定的假设方向。

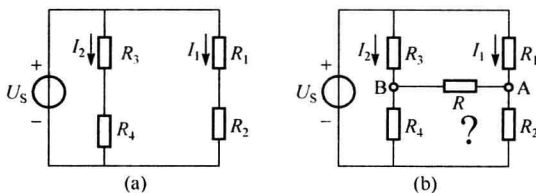


图 1-1-8 电流方向的判断

规定了参考方向后, 电流成为代数量, 有正、负之分, 实际方向与参考方向一致, 电

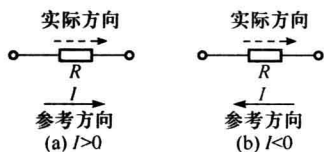


图 1-1-9 电流的参考方向与实际方向

流值为正; 实际方向与参考方向相反, 电流值为负, 如图 1-1-9 所示。在分析电路时, 先假定参考方向 (用箭头表示在电路图上), 据此进行计算, 再从结果的正负值确定实际方向。交流电选定参考方向后, 电流半周为正, 半周为负。参考方向又称正方向。所有电路图上标的电流方向都是参考方向。

4) 电流的测量。电流的测量通常用电流表, 如图 1-1-10 所示。测量时应将电流表串接在电路中, 测量交流电流时, 不用区分表笔的正负极; 测量直流电流时, 电流由红表笔流入, 由黑表笔流出。钳形电流表是依据电磁感应原理做出的电流表, 在测量时将被测电路放到钳口中央, 即可在表盘上读出所测电流的大小, 在测量时不用断开电路。

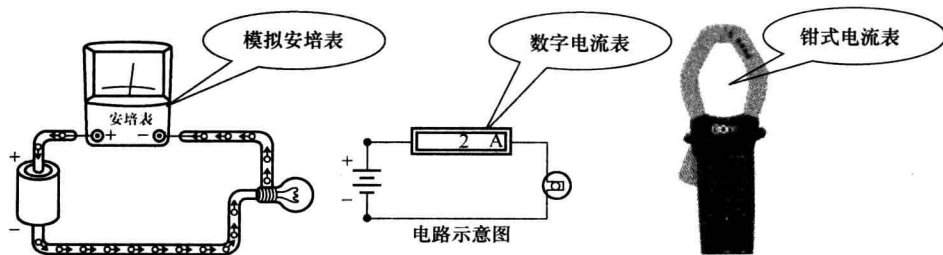


图 1-1-10 电流的测量

(2) 电压

电压反映电场力做功的本领。如图 1-1-11 所示, 设某电源有 A、B 两个极板, A 极板

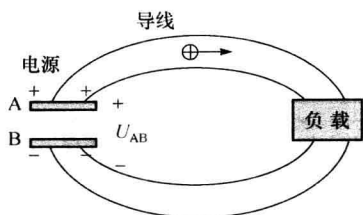


图 1-1-11 电压原理图

带正电，B 极板带负电，因而在两极板间形成电场，用导线和负载将 A、B 两个极板连成一个闭合回路，正电荷在电场力的作用下由 A 极板流向 B 极板，从而形成电流。

1) 电压的大小，即单位正电荷在电场力的作用下，由 A 点经外电路到 B 点电场力所做的功。定义式为

$$U_{AB} = \frac{W}{Q}$$

其中，电场力的单位是焦耳，符号为 J，单位正电荷 Q 的单位是库仑，符号为 C；电压 U 的单位是伏特，符号为 V。直流电通常用大写 U 来表示，交流电通常用小写 u 来表示。

2) 电压的单位。在供电系统中电压单位高到千伏万伏，而在电子电路中电流小到毫伏和微伏，在国际单位制中，其符号为 V（伏特）、mV（毫伏）、 μ V（微伏）、kV（千伏），其中 $1\text{V}=1\text{J/C}$ （焦耳/库仑） $1\text{V}=10^3\text{mV}=10^6\mu\text{V}=10^{-3}\text{kV}$ 。

3) 电压的方向。习惯上规定电压的方向为从高电位点指向低电位点，即电压降的方向。与电流类似，分析电路时必须事先任意假定电压的参考方向。其标注方法有三种，如图 1-1-12 所示。

① 极性表示法（又称参考极性）：电压 U 的参考方向从正极指向负极。

② 箭头表示法：电压的参考方向从高电位指向低电位。

③ 双下标表示法： U_{ab} 表示电压参考方向由 a 指向 b。

实际方向与参考方向一致，电压值为正值；实际方向与参考方向相反，电压值为负值，如图 1-1-13 所示。

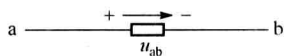


图 1-1-12 电压参考方向表示

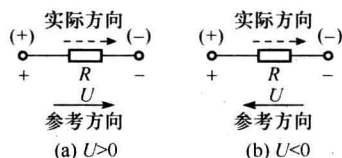
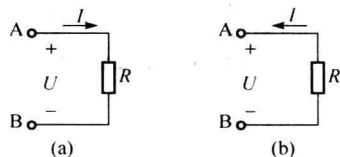


图 1-1-13 电压的参考方向与实际方向

4) 关联参考方向。在分析和计算电路时，电压和电流的参考方向的假定是任意的，元件上的电压和电流取一致的参考方向，即电流从正极性端流入该元件，从负极性端流出，这一段电路的电压和电流的参考方向称为相关联的参考方向。如图 1-1-14 (a) 所示， U 与 I 参考方向一致，则 $U=RI$ ，为关联参考方向；图 1-1-14 (b) 中， U 与 I 参考方向不一致，则 $U=-RI$ ，为非关联参考方向。

5) 电压的测量。电压的测量通常用电表，如图 1-1-15 所示。测量时应电压表并联在电路中，测量交流电压时，不用区分表笔的正负极；测量直流电压时，电压由红表笔流入，由黑表笔流出。

图 1-1-14 关联参考方向
和非关联参考方向

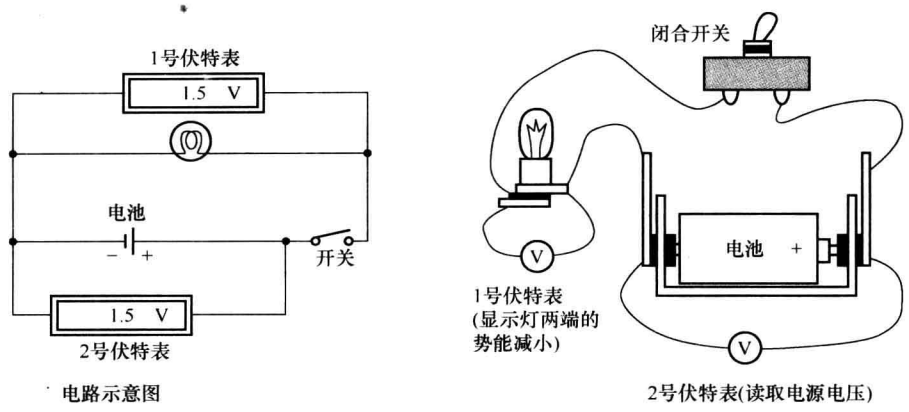


图 1-1-15 电压的测量

(3) 电位

在电气设备的调试和检修中，经常要选择电路中的某一点作为参考点，以参考点的电位为零，然后测量各点的电位，看其是否符合设计数值。

电位是度量电路中各点所具有的电位能大小的物理量，它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。电位等于该点与参考点之间的电压。其单位同电压一样。

1) 电位与电压的关系。

电位与电压的关系可用下面的公式表示：

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

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，未选定参考点之前，各点的电位是无意义的；参考点选的不同，电路中各点的电位也不同，但任意两点间的电压值不变；在电子线路中，常不把电源画出，而习惯用电位标出，如图 1-1-16 所示。电位参考点的选取原则上是任意的，但在实际中常选大地作为参考点。

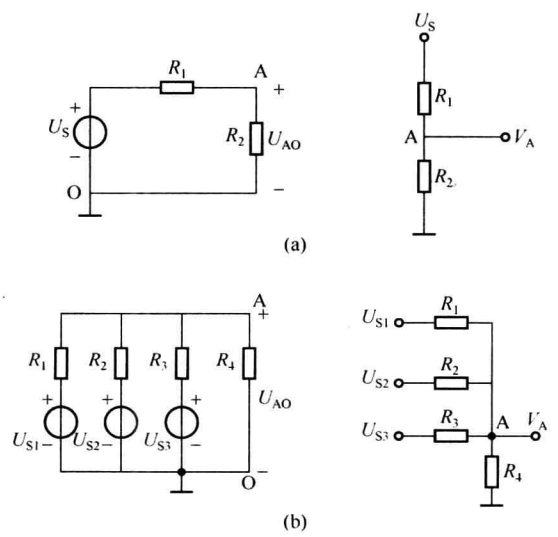


图 1-1-16 电路的一般画法和用电位表示的习惯画法



2) 电位的计算。电路中电位的计算实际是电压的计算。简单地说,要计算电路中某一点的电位,就是从参考点出发,沿着任选的一条路径“走”到该点,遇到电位升高取正值,遇到电位降低取负值,累计其代数和就是该点的电位。

【例 1-1-1】 试计算图 1-1-17 (a) 所示的电路中 B 点的电位 V_B 。

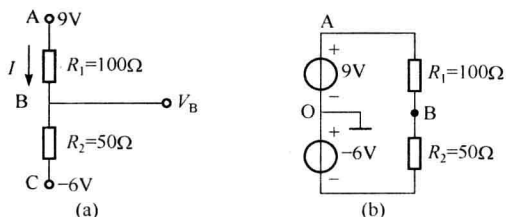


图 1-1-17 电位的计算

【解】 图 1-1-17 (a) 的电路按一般画法如图 1-1-17 (b) 所示,则电路中的电流

$$I = \frac{V_A - V_C}{R_1 + R_2} = \frac{9 - (-6)}{100 + 50} \text{ mA} = \frac{15}{150} \text{ mA} = 0.1 \text{ mA}$$

从参考点 (O 点) 出发,经 A 点到 B 点,计算 B 点的电位为

$$V_B = V_A - IR_1 = (9 - 0.1 \times 100) \text{ V} = -1 \text{ V}$$

或者从参考点 (O 点) 出发,经 C 点到 B 点,计算 B 点的电位为

$$V_B = V_C + IR_2 = (-6 + 0.1 \times 50) \text{ V} = -1 \text{ V}$$

上面选择的两条路径计算的电流结果是一样的,说明当选定电位参考点后,电路中各点的电位就有了确定值,与计算的路径无关。某点电位为正,该点电位比参考点高;某点电位为负,该点电位比参考点低。

3) 等电位。两点之间电压为零,则该两点为等电位。若两等电位点之间用导线联结,此导线中不会有电流通过。在高压作业中,一般是人体与高压电线等电位,则通过人体的电流就为零,人就不会触电;在检查电路故障时,短线连接的两点,对于同一参考点电位应该相等,若不等,说明两点之间发生断路;若工作元件两端对于同一参考点的电位相等,说明两点之间发生短路,或者至少有一点与电源之间的连线发生了断路。

(4) 电动势

在如图 1-1-18 所示的电路中,正电荷在电场力作用下不断从 A 极板经负载流向 B 极板,如果没有外力作用,A 极板因正电荷的减少使电位降低,而 B 极板则因正电荷的增多

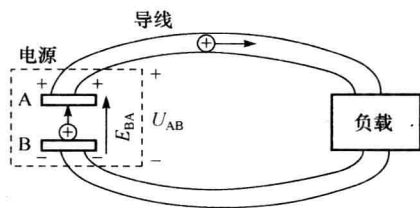


图 1-1-18 电压与电动势

会使电位升高,A、B 两点之间的电位差就会减小,最后为零。导线上的电流也会减为零。为了维持导线中的电流,必须使 A、B 两极板间保持一定的电压,这就要借助外力使移动到 B 极板的正电荷经过另一路径回到 A 极板,这种外力称为电源力。如图 1-1-18 所示,为了衡量电源力对电荷做功的能力,引出电动



势这个物理量。

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，等于单位正电荷增加的位能。

1) 电动势的大小：

$$E_{BA} = V_A - V_B$$

在国际单位制中，电动势的单位同电压的单位：V（伏特）、mV（毫伏）、 μ V（微伏）、kV（千伏）。

2) 电动势的方向。

实际方向——规定为从电源负极指向电源正极，即电压升的方向。

参考方向——可任意选定的假设方向。

(5) 电能和电功率

电场力推动正电荷在电路中运动时，电场力做功，同时电路消耗电能，电路在单位时间内消耗的能量称为电路消耗的电功率，简称功率。

电场力所做的功： $A = UQ = UI t$ ；

消耗电能： $W = UQ = UI t$ ；

电功率（单位时间内消耗的电能）： $P = A/t = UI = I^2 R = U^2 / R$ 。

国际单位制中，功率单位：W（瓦特）、kW（千瓦）、mW（毫瓦），其中， $1W = 1J/s$ （焦耳/秒）；电能单位：J（焦耳），由于焦耳的单位较小，通常我们在计算电能时，用度来代替焦耳， $1度 = 3.6 \times 10^6$ 焦耳。

当电路接通时，电路中就有了电能和非电能的转换。根据能量转换和守恒定律，电路中电源供出的电能等于负载消耗的电能总和，即 $\sum P = 0$ 。

从关联和非关联方向分析时，当采用关联方向时，电功率 $P = UI$ ；当采用非关联方向时， $P = -UI$ 。当采用关联方向时， P 为正值，表示吸收功率，其为负载；当采用非关联方向时， P 为负值，表示吸收负功率，即发出功率，其为电源。

【例 1-1-2】 在图 1-1-19 中，电流、电压的参考方向已标出。 $I_1 = 4A$ ， $I_2 = 10A$ ， $I_3 = -6A$ ， $U_1 = -60V$ ， $U_2 = 60V$ ， $U_3 = -60V$ 。求各元件的功率，并判断是发出功率还是取用功率，验证功率是否平衡。

【解】 元件 1： $P_1 = U_1 I_1 = -60V \times 4A = -240W$ （发出）

元件 2： $P_2 = U_2 I_2 = 60V \times 10A = 600W$ （取用）

元件 3： $P_3 = -U_3 I_3 = -(-60)V \times (-6)A = -360W$ （发出）

$P_1 + P_2 + P_3 = 0$ ，功率平衡，说明计算正确。

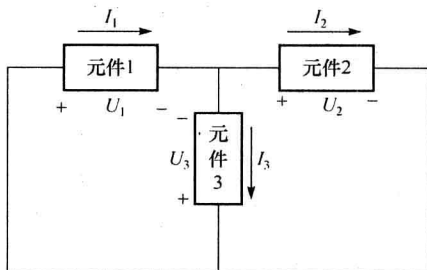


图 1-1-19 电路计算

1.2.2 电路模型

在电路分析中我们研究的对象是电路模型。电路模型是实际电路电磁性质的科学抽象