

高职高专“十一五”规划教材



企业电气及仪表 自动化

石 磊 陈亚娜 主 编



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

高职高专“十一五”规划教材

企业电气及仪表 自动化

石磊	陈亚娜	主 编
房永亮	程季玲	副主编
	张 燕	主 审
	郭 健	



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书为高职高专“十一五”规划教材。

本书是针对高等职业教育的特点和要求及教育部《关于加强高职高专教材建设的若干意见》编写而成的。全书共分三篇。第1篇电工学基础共有七章,包括直流电路、正弦交流电路、晶体管及其应用、数字电路基础、三相异步电动机、常用低压电器及基本控制电路、安全用电常识;第2篇检测技术共有三章,包括检测技术基础、常用参数的测量、检测技术综合应用;第3篇生产过程自动化共有四章,包括生产过程自动化的基本概念、基本调节规律、调节阀、自动调节系统。

本书可作为高职高专院校、中职学校相关专业的教材,也可供专业技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

企业电气及仪表自动化 / 石磊, 陈亚娜主编. —北京: 中国电力出版社, 2009

高职高专“十一五”规划教材

ISBN 978-7-5083-8166-4

I. 企… II. ①石… ②陈… III. ①电工技术—高等学校: 技术学校—教材 ②自动化仪表—高等学校: 技术学校—教材 IV. TM TH86

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 213953 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)

北京密云红光印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2009 年 2 月第一版 2009 年 2 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 13.75 印张 329 千字

定价 22.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签, 加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

前 言

为贯彻落实教育部《关于进一步加强高等学校本科教学工作的若干意见》和《教育部关于以就业为导向深化高等职业教育改革的若干意见》的精神，加强教材建设，确保教材质量，中国电力教育协会组织制订了普通高等教育“十一五”教材规划。该规划强调适应不同层次、不同类型院校，满足学科发展和人才培养的需求，坚持专业基础课教材与教育急需的专业教材并重、新编与修订相结合。本书为新编教材。

本书是根据目前高职教育的特点并结合当前行业的发展和人才的需求编写而成的，针对轻化工类专业对电类课程相关知识要求的具体情况，大胆地进行了“课程整合、教材创新”的改革，以够用为原则，减少了理论的推导和深度，突出实际应用，特别是新技术、新成果的应用，舍弃一些过时的内容，增添了部分新的实用的知识。

全书共分三篇。第1篇电工学基础共有七章，包括直流电路、正弦交流电路、晶体管及其应用、数字电路基础、三相异步电动机、常用低压电器及基本控制电路、安全用电常识；第2篇检测技术共有三章，包括检测技术基础、常用参数的测量、检测技术综合应用；第3篇生产过程自动化共有四章，包括生产过程自动化的基本概念、基本调节规律、调节阀、自动调节系统。

由于本书涉及学科领域较广，所以在编写此书时，我们注重多门学科的前后衔接，并力图使教学和生产实际相结合，各章的内容力求做到深入浅出、简单易懂，且在每章后都附有一定量的习题，以帮助学生提高分析问题和解决问题的能力。

本书由石磊、陈亚娜担任主编。其中第5、6、7章由石磊编写，第1、2、3、4章由房永亮编写，第8、9、10章由陈亚娜和张燕编写，第11、12、13、14章由程秀玲编写，温赐奇、王文静、杨成武、董静、刘鹏于等人也参与了部分章节的编写，全书由石磊统稿。

本书由郭健担任主审。他对本书进行了认真负责的审阅并提出了许多宝贵意见，在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中不妥之处在所难免，恳请读者提出宝贵意见。

编 者

2008年9月

目 录

前 言

第1篇 电 工 学 基 础

第1章 直流电路	1
1.1 电路的组成及基本物理量	1
1.2 欧姆定律、线性电阻、非线性电阻	4
1.3 电阻的连接	6
1.4 电气设备的额定值、电路的几种状态	8
1.5 电压源、电流源及其等效变换	10
1.6 基尔霍夫定律及其应用	12
思考题与习题	14
第2章 正弦交流电路	16
2.1 正弦量的三要素	16
2.2 正弦量相量表示法	18
2.3 正弦交流电路中的电阻、电感和电容	20
2.4 电阻、电感的串联电路	25
2.5 电阻、电感、电容串联电路	27
2.6 三相交流电路	28
思考题与习题	31
第3章 晶体管及其应用	33
3.1 半导体的基本知识	33
3.2 PN结及其特性	36
3.3 晶体二极管	38
3.4 晶体三极管	40
3.5 基本放大电路的组成和工作原理	44
思考题与习题	47
第4章 数字电路基础	49
4.1 数制与编码	49
4.2 基本逻辑门电路	51
4.3 基本逻辑及应用	53
思考题与习题	54
第5章 三相异步电动机	56
5.1 概述	56
5.2 三相异步电动机的结构	56

5.3 三相异步电动机的工作原理	59
5.4 三相异步电动机的起动、调速和制动	62
5.5 三相异步电动机的选用	68
5.6 三相异步电动机故障分析与维护	70
思考题与习题	75
第6章 常用低压电器及基本控制电路	76
6.1 常用低压电器	76
6.2 三相异步电动机的基本控制电路	83
6.3 电气控制系统故障查找与检修方法	87
思考题与习题	89
第7章 安全用电常识	91
7.1 触电方式及其防护	91
7.2 保护接地与保护接零	93
7.3 静电防护与电气防火防爆	93
思考题与习题	94

第2篇 检测技术

第8章 检测技术基础	95
8.1 检测技术的基本概念	95
8.2 测量的基本概念及方法	97
8.3 测量误差及分类	99
8.4 传感器及其基本特性	103
思考题与习题	105
第9章 常用参数的测量	106
9.1 压力测量	106
9.2 温度测量	123
9.3 流量	146
9.4 物位测量	159
9.5 氧化锆氧量计	166
思考题与习题	167
第10章 检测技术综合应用	169
10.1 现代检测系统的基本结构	169
10.2 检测技术应用实例	170

第3篇 生产过程自动化

第11章 生产过程自动化的基本概念	173
11.1 生产过程自动化概述	173
11.2 生产过程的调节	174
11.3 自动调节系统的组成和分类	175

11.4 自动调节系统的过渡过程和品质指标	177
11.5 调节对象的特征	180
思考题与习题	183
第 12 章 基本调节规律	184
12.1 双位调节	184
12.2 比例调节	185
12.3 积分调节	187
12.4 微分调节	189
思考题与习题	190
第 13 章 调节阀	191
13.1 气动调节阀	191
13.2 电动调节阀	194
13.3 电—气转换器及电—气阀门定位器	194
思考题与习题	195
第 14 章 自动调节系统	196
14.1 简单调节系统	196
14.2 复杂调节系统	199
14.3 计算机控制系统	202
思考题与习题	206
附录	207
附录一 弹簧管压力表型号及规格	207
附录二 铂铑 ₁₀ —铂热电偶 (S 型) 分度表	208
附录三 镍铬—镍硅热电偶 (K 型) 分度表	208
附录四 铂热电阻分度表	209
附录五 铜热电阻分度表	209
参考文献	210

第1篇 电 工 学 基 础

电工学是研究电磁现象在工程技术中应用的一门学科。电工学主要包括电工原理,电机、电器的构造和应用,电能的生产、传输及使用,工业电子学及电力拖动、电气仪表测量等。本篇主要讲述有关电路原理、工业电子学、电机与拖动等学科的基础知识。其中:电路原理部分主要介绍直流电路和交流电路;工业电子学部分主要介绍晶体管及其应用和数字电路基础;电机与拖动部分主要介绍三相异步电动机的结构与工作原理、常用低压电器和三相异步电动机的基本控制电路;最后简单介绍有关安全用电的常识。

第1章 直 流 电 路

本章将介绍电路的组成及基本物理量、电阻元件及欧姆定律、电压源、电流源及其等效互换、电路的基本定律——基尔霍夫定律。这些内容是学习电工学的基础。

1.1 电路的组成及基本物理量

一、电路的组成

电路是由各种电气元件按一定方式用导线连接组成的总体,它提供了电流通过的闭合路径。这些电气器件包括电源、开关、负载等。电路一般由电源、负载和中间环节三部分组成。

图 1-1 所示为一最简单的电路。图中,电源为电池组 E ,电源内部的电路称为内电路;负载为电灯。负载、连接导线和开关 S 组成外电路。

电源是把其他形式的能量转换为电能的装置,例如发电机将机械能转换为电能。负载是取用电能的装置,它把电能转换为其他形式的能量,例如电动机将电能转换为机械能、电热炉将电能转换为热能、电灯将电能转换为光能。

中间环节在电路中起连接、控制、测量、保护等作用。例如:图 1-1 中的导线起连接作用、开关具有控制作用;在电路中的各种测量仪表如电压表、电流表具有测量作用,熔断器具有保护作用等。

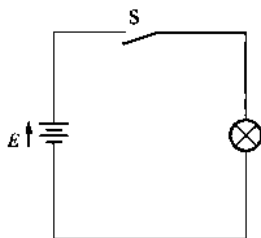


图 1-1 简单电路

电路的功能和作用有两类:一类是进行能量的转换、传输和分配;另一类是进行信号的传递与处理。例如:扩音机的输入是由声音转换而来的电信号,通过晶体管组成的放大电路,输出的便是放大的电信号,从而实现了放大功能;电视机可将接收到的信号经过处理,转换成图像和声音。

二、电路的基本物理量

1. 电流

电流是由电荷的定向移动而形成的。例如，当金属导体处于电场之内时，内部的自由电子要受到电场力的作用，逆着电场的方向作定向移动，这就形成了电流。

其大小和方向均不随时间变化的电流叫恒定电流，简称直流。

电流的强弱用电流强度来表示，对于恒定电流，电流强度 I 用单位时间内通过导体截面的电量 Q 来表示，即

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

电流的单位是 A (安 [培])。在 1s 内通过导体横截面的电荷为 1C (库仑) 时，其电流则为 1A。计算微小电流时，电流的单位用 mA (毫安)、 μ A (微安) 或 nA (纳安)，其换算关系为

$$1\text{mA} = 10^{-3}\text{A}, 1\mu\text{A} = 10^{-6}\text{A}, 1\text{nA} = 10^{-9}\text{A}$$

习惯上，规定正电荷的移动方向表示电流的实际方向。在外电路，电流由正极流向负极；在内电路，电流由负极流向正极。

在简单电路中，电流的实际方向可由电源的极性确定；在复杂电路中，电流的方向有时事先难以确定。为了分析电路的需要，我们便引入了电流的参考正方向的概念。

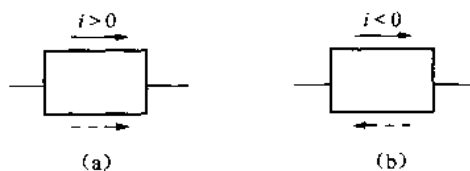


图 1-2 电流的参考正方向与实际方向之间的关系

(a) 方向相同；(b) 方向相反

在进行电路计算时，先任意选定某一方向作为待求电流的正方向，并根据此正方向进行计算。若计算所得结果为正值，则说明电流的实际方向与选定的正方向相同；若计算所得结果为负值，则说明电流的实际方向与选定的正方向相反。图 1-2 所示为电流的参考正方向（图 1-2 中实线所示）与实际方向（图 1-2 中虚线所示）之间的关系。

2. 电压

电场力把单位正电荷从电场中的点 A 移到点 B 所做的功 W_{AB} 称为 A、B 间的电压，用 U_{AB} 表示，即

$$U_{AB} = \frac{W_{AB}}{Q} \quad (1-2)$$

电压的单位为 V (伏特)。如果电场力把 1C 电量从点 A 移到点 B 所做的功是 1J (焦耳)，则 A 与 B 两点间的电压就是 1V。

计算较大的电压时用 kV (千伏)，计算较小的电压时用 mV (毫伏)。其换算关系为

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

电压的实际方向规定为从高电位点指向低电位点，即由“+”极指向“-”极，因此，在电压的方向上电位是逐渐降低的。

电压总是相对两点之间的电位而言的，所以用双下标表示，一个下标（如 A）代表起点，后一个下标（如 B）代表终点。电压的方向则由起点指向终点，有时用箭头在图上标明。当标定的参考方向与电压的实际方向相同时 [见图 1-3 (a)]，电压为正值；当标定的参考方向与实际电压方向相反时 [见图 1-3 (b)]，电压为负值。

3. 电动势

电动势是衡量外力即非静电力做功能力的物理量。外力克服电场力把单位正电荷从电源的负极搬运到正极所做的功,称为电源的电动势,如图 1-4 所示,外力克服电场力把单位正电荷由低电位 B 端移到高电位 A 端,所做的功称为电动势,用 E 表示,则

$$E = \frac{dW}{dq}$$

电动势的单位也是 V。如果外力把 1C 的电量从点 B 移到点 A 所做的功是 1J,则电动势就等于 1V。

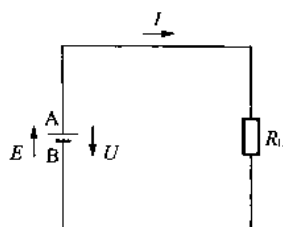


图 1-4 电动势

电动势的方向规定为从低电位指向高电位,即由“-”极指向“+”极。

4. 电功率(功率)

传递或转换电能的速率叫电功率,简称为功率,用 p 或 P 表示,用小写字母 p 表示功率的一般符号,大写字母 P 表示直流电路的功率。

对于电功率,有

$$p = \frac{dw}{dt} = \frac{dw}{dq} \times \frac{dq}{dt} = u \times i \quad (1-3)$$

在直流电路中,把单位时间内电场力所做的功称为电功率,则有

$$P = \frac{QU}{t} = UI \quad (1-4)$$

功率的单位是 W (瓦特)。

对于大功率,采用 kW (千瓦)或 MW (兆瓦)作单位;对于小功率则用 mW (毫瓦)或 μ W (微瓦)作单位。如果已知流过某电路的电流 I 和电压 U ,就可以很方便地求出它的功率。但是怎样判断该电路是吸收功率还是放出功率呢?这就必须根据电流和电压的参考方向来确定。

规定:

(1) 当电压和电流为关联参考方向(电流参考方向与电压参考方向一致)时,若 $P > 0$,则该元件消耗(吸收)功率;若 $P < 0$,则该元件释放(发出)功率。

(2) 当电压和电流为非关联参考方向(电流参考方向与电压参考方向相反)时,若 $P > 0$,则该元件释放(发出)功率;若 $P < 0$,则该元件消耗(吸收)功率。

特别注意:在计算功率时,不仅要计算出数值,还要判断出是吸收功率还是发出功率。

【例 1-1】求图 1-5 所示各元件的功率。

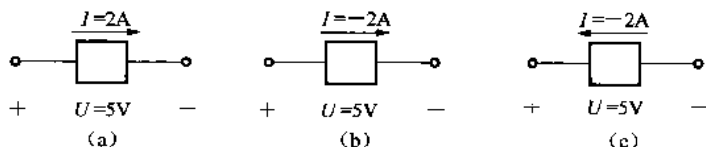


图 1-5 例 1-1 图

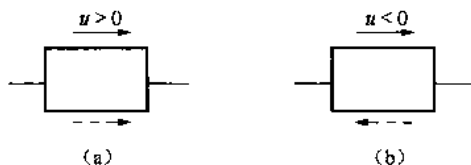


图 1-3 电压的实际方向与参考方向的关系

(a) 方向相同; (b) 方向相反

解 (a) 关联方向, $P=UI=5\times 2=10\text{W}$, $P>0$, 吸收 10W 功率。

(b) 关联方向, $P=UI=5\times (-2)=-10\text{W}$, $P<0$, 发出 10W 功率。

(c) 非关联方向, $P=-UI=-5\times (-2)=10\text{W}$, $P>0$, 发出 10W 功率。

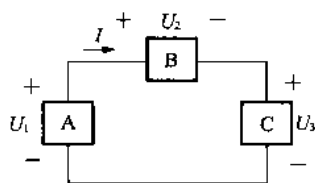


图 1-6 例 1-2 图

【例 1-2】 已知: $I=1\text{A}$, $U_1=10\text{V}$, $U_2=6\text{V}$, $U_3=4\text{V}$, 电路图如图 1-6 所示。求各元件功率, 并分析电路的功率平衡关系。

解 元件 A: 非关联方向, $P_1=-U_1I=10\times 1=10\text{W}$, $P_1>0$, 发出 10W 功率, 电源。

元件 B: 关联方向, $P_2=U_2I=6\times 1=6\text{W}$, $P_2>0$, 吸收 6W 功率, 负载。

元件 C: 关联方向, $P_3=U_3I=4\times 1=4\text{W}$, $P_3>0$, 吸收 4W 功率, 负载。

率, 负载。

$P_1+P_2+P_3=-10+6+4=0$, 功率平衡。

5. 电能

电能是指在一段时间内 (t_0, t_1) 电路所吸收的能量, 其表达式为

$$w(t_0, t_1) = \int_{t_0}^{t_1} p dt = \int_{t_0}^{t_1} u i dt$$

直流情况下, 有

$$W = P \times (t_1 - t_0)$$

电能的单位有 J (焦耳)、kW·h (千瓦·时), 实际上用 kW·h 作单位, 俗称度。
1kW·h=3.6×10⁶J。

【例 1-3】 有一只 $P=40\text{W}$, $U=220\text{V}$ 的白炽灯, 接在 220V 的电源上, 求通过白炽灯的电流 I 。若白炽灯每天使用 4h, 求该白炽灯 30 天消耗的电能 W 。

解

$$I = \frac{P}{U} = \frac{40}{220} = 0.18 (\text{A})$$

$$W = Pt = 40 \times 10^3 \times 4 \times 30 = 4.8 (\text{kW} \cdot \text{h})$$

1.2 欧姆定律、线性电阻、非线性电阻

一、电阻元件

1. 电阻

导体对电流的通过具有一定的阻碍作用, 即称为电阻, 用字母 R 表示, 单位是 Ω (欧姆)。
电阻是一种消耗电能的元件。

2. 电阻的电路符号

电阻的电路符号如图 1-7 所示。

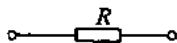


图 1-7 电阻的电路符号

二、线性电阻、非线性电阻

在温度一定的条件下, 把加在电阻两端的电压与通过电阻的电流之间的关系称为伏安特性。一般金属电阻的阻值不随所加电压和通过的电流而改变, 即在一定的温度下其阻值是常数, 这种电阻的伏安特性曲线是一条经过原点的直线, 如图 1-8 所示, 这种电阻称为线性电

阻。由此可见,线性电阻遵守欧姆定律。

另一类电阻其电阻值随电压和电流的变化而变化,其电压与电流的比值不是常数,这类电阻称为非线性电阻。例如,晶体二极管的正向电阻就是非线性的,它的正向伏安特性曲线如图 1-9 所示。晶体三极管的输入、输出电阻也都是非线性的。对于非线性电阻的电路,欧姆定律不再适用。

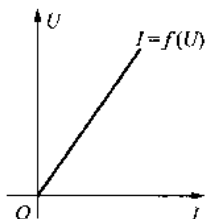


图 1-8 线性电阻的伏安特性曲线

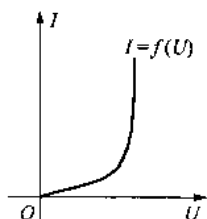


图 1-9 二极管正向伏安特性曲线

全部由线性元件组成的电路称为线性电路。本章仅讨论线性直流电路。

三、单个电阻元件的欧姆定律

单个电阻元件电路如图 1-10 所示。若 U 与 I 正方向一致,则欧姆定律可表示为

$$U=RI \quad (1-5)$$

若 U 与 I 方向相反,则欧姆定律表示为

$$U=-RI \quad (1-6)$$

电阻的单位是 Ω (欧 [姆]), 计量大电阻时用 $k\Omega$ (千欧) 或 $M\Omega$ (兆欧)。其换算关系为

$$1k\Omega=10^3\Omega, 1M\Omega=10^6\Omega$$

电阻的倒数 $1/R=G$, 称为电导, 它的单位是 S (西 [门子])。

四、全电路的欧姆定律

含电源和负载的闭合电路称为全电路。图 1-11 所示为简单的闭合电路, R_L 为负载电阻, R_0 为电源内阻, 若略去导线电阻不计, 则其欧姆定律表达式为

$$I=\frac{E}{R_0+R_L} \quad (1-7)$$

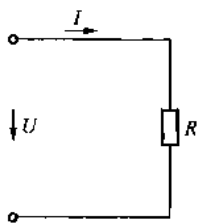


图 1-10 单个电阻元件电路

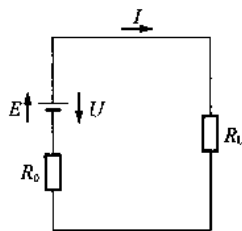


图 1-11 简单的闭合电路

式 (1-7) 表明: 电路中流过的电流, 其大小与电动势成正比, 而与电路的全部电阻成反比。电源的电动势和内电阻一般认为是不变的, 所以, 改变外电路电阻, 就可以改变回路中的电流大小。

1.3 电阻的连接

在实际电路中,常常不只是接有一个负载,而是接有许多负载,这些负载可按不同的需要以不同的方式连接起来,其中最普遍、应用最广泛的是串联和并联。下面分别予以介绍。

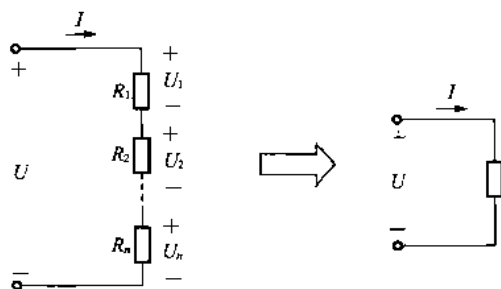


图 1-12 串联电阻示意图

一、电阻的串联

几个电阻没有分支地一个接一个依次相连,使电流只有一条通路,称为电阻的串联,如图 1-12 所示。

电阻串联电路有以下几个特点。

(1) 通过各电阻的电流相等。

(2) 总电压等于各电阻电压之和,即

$$U = U_1 + U_2 + \cdots + U_n \quad (1-8)$$

(3) 各串联电阻对总电阻起分压作用。各电阻上的电压与其电阻大小成正比,即

$$\frac{U_1}{R_1} = \frac{U_2}{R_2} = \frac{U_3}{R_3} \quad (1-9)$$

(4) 等效电阻(总电阻)等于各电阻之和,即

$$R = R_1 + R_2 + \cdots + R_n \quad (1-10)$$

当电路两端的电压一定时,串联的电阻越多,则电路中的电流就越小,因此电阻串联可以起到限流(限制电流)和分压作用。如两个电阻串联时,各电阻上分得的电压为

$$U_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U, \quad U_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U$$

即电阻越大,所分得的电压越大。在实际中,利用串联分压的原理,可以扩大电压表的量程,还可以制成电阻分压器。

【例 1-4】 现有一微安表表头,满刻度电流 $I_G = 50\mu\text{A}$, 表头的电阻 $R_G = 3\text{k}\Omega$, 若要改装成量程为 10V 的电压表,如图 1-13 所示,试问应串联一个多大的电阻?

解 当表头满刻度时,它的端电压为

$$U_G = I_G R_G = 50 \times 10^{-6} \times 3 \times 10^3 = 0.15(\text{V})$$

设量程扩大到 10V 时所需串联的电阻为 R , 则 R 上分得的电压为

$$U_R = 10 - 0.15 = 9.85(\text{V})$$

故有

$$R = \frac{R_G}{U_G} \times U_R = \frac{3}{0.15} \times 9.85 = 197(\text{k}\Omega)$$

即应串联 $197\text{k}\Omega$ 电阻,方能将表头改装成量程为 10V 的电压表。

【例 1-5】 收音机或录音机的音量控制采用串联电阻分压器电路来调节其输出电压,如图

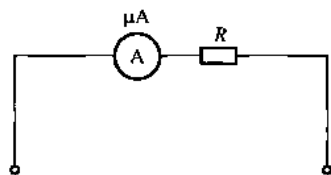


图 1-13 例 1-4 图

1-14 所示, 设输入电压 $U=1\text{V}$, R_1 为可调电阻 (也称电位器), 其阻值可在 $0\sim 4.7\text{k}\Omega$ 的范围内调节, $R_2=0.3\text{k}\Omega$, 求输出电压 U_o 的变化范围。

解 当 R_1 的滑动触点在最下面的位置时, 有

$$U_o = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U = \frac{0.3}{4.7 + 0.3} \times 1 = 0.06\text{V}$$

当 R_1 的滑动触点在最上面的位置时, 有

$$U_o = 1\text{V}$$

因此输出电压的调节范围为 $0.06\sim 1\text{V}$ 。

二、电阻的并联

几个电阻的一端连在一起, 另一端也连在一起, 使各电阻所承受的电压相同, 称为电阻的并联, 如图 1-15 所示。

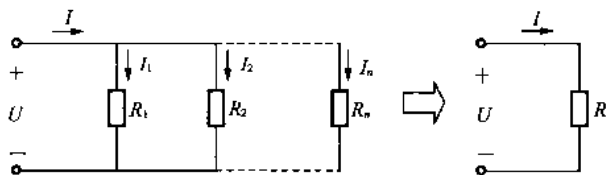


图 1-15 并联电阻示意图

电阻并联电路有以下几个特点:

(1) 各并联电阻两端的电压相等。

(2) 总电流等于各电阻中电流之和, 即

$$I = I_1 + I_2 + \cdots + I_n \quad (1-11)$$

(3) 并联电路的等效电阻 (总电阻) 的倒数等于各并联电阻倒数之和, 即

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \cdots + \frac{1}{R_n} \quad (1-12)$$

如果只有 R_1 及 R_2 两个电阻并联, 则等效电阻为

$$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \quad (1-13)$$

(4) 电阻并联电路对总电流有分流的作用, 即

$$I_1 = \frac{RI}{R_1}, \quad I_2 = \frac{RI}{R_2}, \quad I_3 = \frac{RI}{R_3}$$

【例 1-6】 在电压 $U=220\text{V}$ 的电路中并联接入一盏额定电压 220V 、功率 $P_1=100\text{W}$ 的白炽灯和一个额定电压 220V 、功率 $P_2=500\text{W}$ 的电热器, 求该并联电路的总电阻 R 及总电流 I 。

解 流过白炽灯的电流 $I_1 = \frac{P_1}{U} = \frac{100}{220} = 0.454(\text{A})$ 。

白炽灯的电阻 $R_1 = \frac{U}{I_1} = \frac{220}{0.454} = 485(\Omega)$ 。

流过电热器的电流 $I_2 = \frac{P_2}{U} = \frac{500}{220} = 2.27 (\text{A})$ 。

电热器的电阻 $R_2 = \frac{U}{I_2} = \frac{220}{2.27} = 97 (\Omega)$ 。

总电阻 $R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{485 \times 97}{485 + 97} = 80.8 (\Omega)$ 。

总电流 $I = I_1 + I_2 = 0.454 + 2.27 = 2.724 (\text{A})$ 。

1.4 电气设备的额定值、电路的几种状态

一、额定值

连接导线以及电动机、变压器等电气设备的导电部分都具有一定的电阻，它们工作时，电流流过导体使一部分电能变为热能而损耗。通常把这部分能量损耗称为铜损耗。由于铜损耗的存在，降低了电气设备的效率，并使设备的温度升高。连接导线和电气设备都具有绝缘部分，由于材料的绝缘水平、机械强度等性能具有一定的范围，因此，电气设备工作时，温度不能太高，如果温度过高，绝缘材料就会变脆损坏，甚至引起事故。所以，电气设备工作时都规定了最高允许温度。例如，橡胶绝缘的最高温度是 65°C ，电缆的最高允许温度为 $50 \sim 80^\circ\text{C}$ 。电气设备开始工作时，温度逐渐上升，同时，有部分热量散发到周围介质中去，随着电气设备与周围介质温差的增大，热量散发加快，直到单位时间内设备所产生的热量与散发的热量相等，温度不再升高，此时，电气设备的温度称为稳定温度。

电气设备的额定值，通常有如下几项。

(1) 额定电流 (I_N)：电气设备长时间运行以致稳定温度达到最高允许温度时的电流，称为额定电流。

(2) 额定电压 (U_N)：为了限制电气设备的电流并考虑绝缘材料的绝缘性能等因素，允许加在电气设备上的电压限值，称为额定电压。

(3) 额定功率 (P_N)：在直流电路中，额定电压与额定电流的乘积就是额定功率，即

$$P_N = U_N \times I_N \quad (1-14)$$

电气设备的额定值都标在铭牌上，使用时必须遵守。例如，一盏日光灯，标有“220V、60W”的字样，表示该灯在 220V 电压下使用，消耗功率为 60W。若将该灯泡接在 380V 的电源上，则会因电流过大将灯丝烧毁；反之，若电源电压低于额定值，虽能发光，但灯光暗淡。

二、电路的几种状态

电路在工作时有三种工作状态，分别是通路、短路和断路。

1. 通路（有载工作状态）

如图 1-16 所示，电源与负载接成闭合回路，电路便处于通路状态。在实际电路中，负载都是并联的，用 R_L 代表等效负载电阻，在图 1-16 中 R 表示负载。

电路中的用电器是由用户控制的，而且是经常变动的。当并联的用电器增多时，等效电阻 R_L 就会减小，而电源电动势 U_s 通常为一恒定值，且内阻 R_0 很小，电源端电压 U

变化很小,则电源输出的电流和功率将随之增大,这时称电路的负载增大。当并联的用电器减少时,等效负载电阻 R_L 增大,电源输出的电流和功率将随之减小,这种情况称为负载减小。可见,所谓负载增大或负载减小,是指增大或减小负载电流,而不是增大或减小电阻值。电路中的负载是变动的,所以电源端电压的大小也随之改变。电源端电压 U 随电源输出电流 I 的变化关系,即 $U=f(I)$ 称为电源的外特性,外特性曲线如图 1-17 所示。

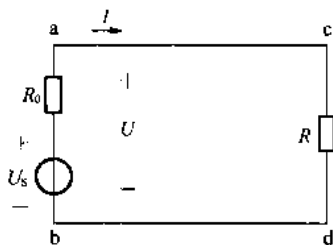


图 1-16 通路的示意图

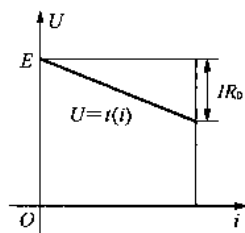


图 1-17 电源的外特性曲线

根据负载大小,电路在通路时又分为三种工作状态,即满载工作状态、轻载工作状态和过载工作状态。当电气设备的电流等于额定电流时称为满载工作状态;当电气设备的电流小于额定电流时,称为轻载工作状态;当电气设备的电流大于额定电流时,称为过载工作状态。

2. 断路

所谓断路,就是电源与负载没有构成闭合回路。在图 1-18 所示的电路中,当 S 断开时,电路即处于断路状态。断路状态的特征是: $R=\infty$, $I=0$ 。此时 $I=0$, 则 $U=U_{OC}=U_s$ 。因此,可以简单地用电压表来测量电源的电动势。

3. 短路

电源两端被导线直接短路,则负载电阻 $R=0$, 称为短路状态。此时流过电源中的电流称为短路电流,即 $I=I_{SC}=\frac{U_s}{R_0}$ 。由于电源内阻通常很小,因此短路电流一般很大,超过正常工作电流的许多倍,从而可能导致电源及流过短路电流的电器、连接导线的损坏或造成火灾、爆炸等严重事故。短路的示意图如图 1-19 所示。

为了防止发生短路事故,而损坏电源,常在电路中串接熔断器。熔断器中装有熔丝。熔丝是由低熔点的铅锡合金丝或铅锡合金片做成的。一旦短路,串联在电路中的熔丝将因发热而熔断,从而保护电源免于烧坏。

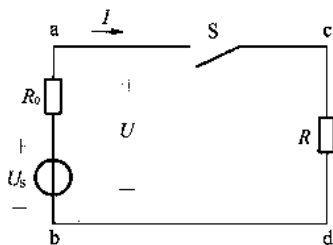


图 1-18 断路的示意图

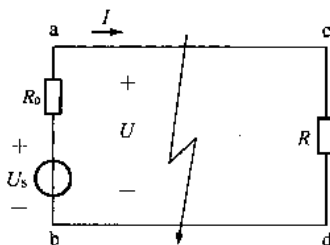


图 1-19 短路的示意图

1.5 电压源、电流源及其等效变换

一、理想电压源

蓄电池及一般直流发电机等都是电源，它们具有不变的电动势和较低内阻的电源，我们称其为电压源。如果电源的内阻 $R_0 \approx 0$ ，当电源与外电路接通时，其端电压 $U=E$ ，端电压不随电流而变化，电源外特性曲线是一条水平线。

(1) 伏安关系： $u=U_S$ 。

端电压 U_S 与流过电压源的电流无关，由电源本身确定，电流值任意，由外电路确定。

(2) 理想电压源特性曲线与符号如图 1-20 所示。

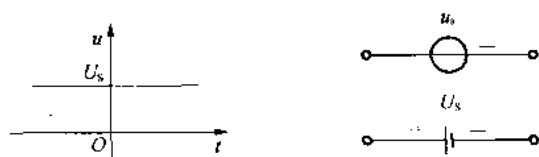


图 1-20 理想电压源特性曲线与符号示意图

这是一种理想情况，我们把具有不变电动势且内阻为零的电源称为理想电压源。理想电压源是实际电源的一种理想模型。例如，在电力供电网中，对于任何一个用电器（如一盏灯）而言，整个电力网除了该用电器以外的部分，就可以近似地看成是一个理想电压源。

当电源电压稳定在它的工作范围内，该电源就可认为是一个恒压源。如果电源的内电阻远小于负载电阻 R_L ，那么随着外电路负载电流的变化，电源的端电压可基本保持不变，这种电源就接近于一个恒压源。

二、理想电流源

对于实际电源，可以建立另一种理想模型，叫电流源。如果电源输出恒定的电流，即电流的大小与端电压无关，我们就把这种电源叫做理想电流源。

(1) 伏安关系： $i=I_S$ 。流过的电流 I_S ，与电源两端电压无关，由电源本身确定，电压值任意，由外电路确定。

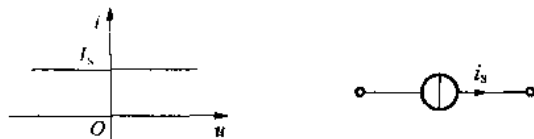


图 1-21 理想电流源特性曲线与符号示意图

(2) 理想电流源特性曲线与符号如图 1-21 所示。

三、实际电源的两种模型

实际电源的模型如图 1-22 所示。

实际电源的伏安特性为

$$U = U_S - IR_i \text{ 或 } I = I_S - \frac{U}{R_0}$$

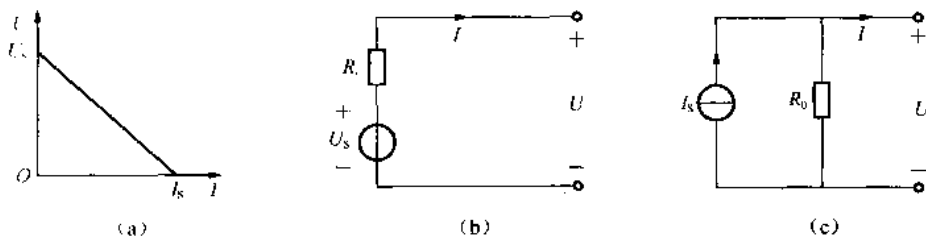


图 1-22 实际电源的模型

(a) 实际电源的伏安特性曲线；(b) 电压源串联内阻的模型；(c) 电流源并联内阻的模型