

高等职业技术教育电子电气类规划教材

电气安装规划与实践

DIANQI ANZHUANG GUIHUA YU SHIJIAN

秦天像 张万明 梁志红 主编



西南交通大学出版社

高等职

类规划教材

电气安装规划与实践

秦天像 张万明 梁志红 主编

(号 441 编大交)
000233

2014年9月第1版
2014年9月第1次
12BN 978-7-2643-3329-0
42.00元

058-87600233 商务印书馆

图样设计 责任校对 058-87600295

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

责任编辑 秦天像
封面设计 张万明
版式设计 梁志红
出 版 出
发 行 发
行 社 社
址 址
编 编
号 号
字 字
号 号
价 价

图书在版编目 (C I P) 数据

电气安装规划与实践 / 秦天像, 张万明, 梁志红主
编. —成都: 西南交通大学出版社, 2014.9
高等职业技术教育电子电气类规划教材
ISBN 978-7-5643-3356-0

I. ①电… II. ①秦… ②张… ③梁… III. ①电气设
备—设备安装—高等职业教育—教材 IV. ①TM05

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 198879 号

高等职业技术教育电子电气类规划教材

电气安装规划与实践

秦天像 张万明 梁志红 主编

责任编辑	李芳芳
助理编辑	宋彦博
特邀编辑	韩迎春
封面设计	本格设计
出版发行	西南交通大学出版社 (四川省成都市金牛区交大路 146 号)
发行部电话	028-87600564 028-87600533
邮政编码	610031
网 址	http://www.xnjdcbs.com
印 刷	成都市书林印刷厂
成品尺寸	185 mm × 260 mm
印 张	22.75
字 数	567 千字
版 次	2014 年 9 月第 1 版
印 次	2014 年 9 月第 1 次
书 号	ISBN 978-7-5643-3356-0
定 价	45.00 元

课件咨询电话: 028-87600533

图书如有印装质量问题 本社负责退换

版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前 言

根据教育部关于高职高专应用型人才培养的要求，为了满足高职高专电气类专业实践能力培养的教学需要，提高学生技能水平，酒泉职业技术学院新能源工程系全体同仁多方收集相关材料，从基础知识入手，结合工业电工典型工作实务，共同编写了本书。

本书有以下几个特点：

1. 强调理论与实践的结合，防止理论与实际脱节。
2. 图文并茂，深入浅出，具有一定的可读性。
3. 实习材料简单易得，具有较强的实用性和可操作性。
4. 内容以“必需、够用”为度，列举实例尽量与实际相结合，文字表达力求简单易懂。
5. 突出基本概念、基本理论和基本方法，注意培养学生独立解决问题的能力。
6. 每个项目均设有“引言”、“学习目标”和“习题”，以使学习者对各部分内容的脉络有一个清楚的了解，同时也有利于学生的自主学习。

本书可作为高职高专能源类、电力类、机电类和电气类专业教材。其建议学时为 70 ~ 90 学时，也可根据需要适当缩减。

本书由秦天像、张万明、梁志红共同主编，具体分工为：秦天像编写项目一、项目二、项目三、项目九、项目十二、附录，张万明编写项目四、项目五、项目八、项目十，梁志红编写项目六、项目七、项目十一、项目十三。

鉴于编者水平有限，书中不妥之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

编 者

2014.03.20

目 录

项目一 直流电路	1
任务一 电路的基本结构	1
任务二 电路的主要物理量	2
任务三 欧姆定律	6
任务四 电阻元件	7
任务五 电路的状态及电源外特性	9
任务六 负载连接	11
任务七 电气设备额定值	13
任务八 电路中各点电位的计算	14
任务九 基尔霍夫定律	15
任务十 支路电流法	16
任务十一 电路模型的概念及电流源、电压源	18
任务十二 戴维南定理	20
任务十三 叠加定理	21
项目二 正弦交流电路的分析	25
任务一 正弦交流电路的认识	25
任务二 单一元件交流电路的分析	30
任务三 RLC 串联电路的分析	41
任务四 正弦交流并联电路的分析	44
任务五 三相对称电路的分析	48
项目三 磁路与变压器	56
任务一 磁路的基本概念	56
任务二 磁路的基本定律	59
任务三 常用的铁磁材料及其特性	63
任务四 直流磁路的计算	68
任务五 交流磁路的特点	70
项目四 交流电动机	74
任务一 工作原理及基本构造	74
任务二 定子旋转磁场的形成及其分析	75
任务三 三相异步电动机转速和磁极对数	78

任务四	三相异步电动机的机械特性	80
任务五	三相异步电动机基本参数及其关系	81
任务六	三相异步电动机的使用	82
任务七	三相异步电动机的铭牌和技术数据	84
项目五	常用的低压元器件	87
任务一	低压电器概述	87
任务二	常见低压电器	89
任务三	接触器	95
任务四	继电器	99
项目六	异步电动机电气控制	104
任务一	电气控制图	104
任务二	电动机电气控制图识读	106
任务三	电动机启动电气控制图识读	109
任务四	三相异步电动机的制动	115
任务五	三相异步电动机的调速	119
任务六	三相异步电动机常见典型控制电路	121
项目七	工厂供电与安全用电	129
任务一	电力系统的基本知识	129
任务二	工厂供电概述	132
任务三	节约用电	134
任务四	安全用电基础知识	135
任务五	接地装置	138
项目八	二极管及其应用	144
任务一	二极管	144
任务二	二极管整流及滤波电路	149
项目九	三极管及基本放大电路	156
任务一	半导体三极管	156
任务二	绝缘栅型场效应晶体管	163
任务三	三极管共发射极放大电路	169
任务四	静态工作点的稳定	179
任务五	射极输出器	182
任务六	多级放大电路	185
任务七	差动放大电路	190
任务八	功率放大器	195
任务九	场效应管放大电路	204

项目十 直流稳压电源	213
任务一 简单串联型晶体管稳压电源	213
任务二 带有放大环节的串联型晶体管稳压电源	216
任务三 稳压电源的主要技术指标与集成稳压器	220
项目十一 集成运算放大器	227
任务一 集成运算放大器简介	227
任务二 反馈在集成运放中的应用	235
任务三 频率特性	243
任务四 集成运放的线性应用	245
任务五 集成运放的非线性应用	249
任务六 正弦波振荡器	253
任务七 常用集成运放芯片介绍	256
项目十二 数字电路的基本知识	264
任务一 数字电路概述	264
任务二 逻辑代数基础	275
任务三 集成逻辑电路	286
项目十三 工厂电气系统安装	301
任务一 工厂电气动力系统安装	301
任务二 工厂电气照明系统安装	343
参考文献	356

项目一 直流电路

【引言】



在现代科学技术中，电工电子技术占有相当重要的地位。在人们使用的各种电气和电子设备中，主要的装置都是由各种不同的电路组成。因此，掌握电路的分析和计算方法显得十分重要。本章将介绍直流电路的基本定律和分析方法，这些方法稍加扩展，也适用于交流电路和电子电路的分析。

【学习目标】

- (1) 理解电路模型的概念。
- (2) 理解电路的基本物理量。
- (3) 理解电流、电压参考方向的概念。
- (4) 掌握电路的基本定律：欧姆定律、基尔霍夫定律。
- (5) 掌握电路的分析方法：支路电流法、电路等效变换法、叠加原理、戴维南定理。
- (6) 掌握常用电工仪表的使用方法，以及电路基本物理量的测量方法。

任务一 电路的基本结构

一、电路模型

电路是一个基本的电流回路，如图 1-1 所示。

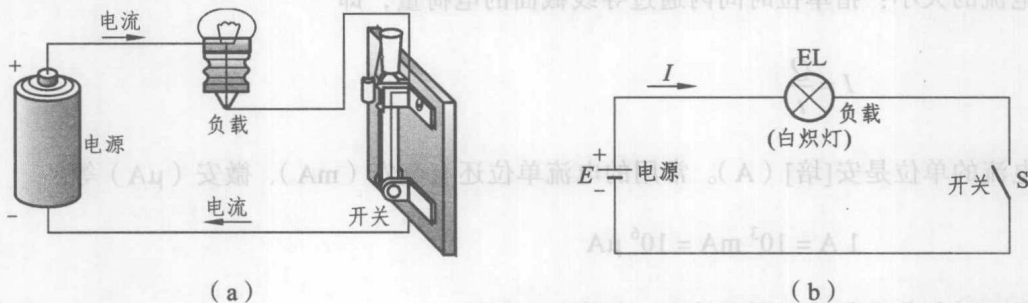


图 1-1 电路模型

二、电路的组成

- (1) 电源：将非电能形态的能量转换成电能的供电设备，如发电机、电池等。
- (2) 负载：将电能转换成非电能形态能量的用电设备，如电动机、照明灯等。
- (3) 连接导线：用于传送信号，传输电能。
- (4) 辅助设备：用于保证电路安全、可靠地工作（例如控制电路通、断的开关及保障安全用电的熔断器），而且使电路自动完成某些特定工作成为可能。

【言记】

任务二 电路的主要物理量

一、电 流

电流：电路中，带电粒子在电源作用下有规则地移动，即形成了电流。习惯上规定正电荷移动的方向为电流的实际方向。

电流参考方向：是预先假定的一个方向，也称正方向，在电路中用箭头标出。例如：

- (1) 图 1-2 (a) 中， $I = 3 \text{ A}$ ，计算结果为正，表示电流实际方向与参考方向一致。
- (2) 图 1-2 (b) 中， $I = -3 \text{ A}$ ，计算结果为负，表示电流实际方向与参考方向相反。

注意：电流的正、负只有在选择了参考方向之后才有意义。

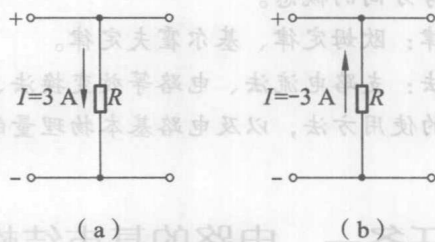


图 1-2 电流的方向

交流电的实际方向是随时间变化的。如果某一时刻电流为正值，即表示该时刻电流的实际方向与参考方向一致；如果为负值，则表示该时刻电流的实际方向与参考方向相反。

电流的大小：指单位时间内通过导线截面的电荷量，即

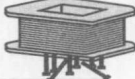
$$I = \frac{Q}{t}$$

电流的单位是安[培] (A)。常用的电流单位还有毫安 (mA)、微安 (μA) 等。

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

电流对负载有各种不同的效应，如表 1-1 所示。

表 1-1 电流对负载的各种效应

名称	热效应 (总出现)	磁效应 (总出现)	光效应 (在气体和 一些半导体中出现)	化学效应 (在导电 的溶液中出现)	对人体生命的 效应
示例	 电熨斗、电烙铁、 熔断器	 继电器线圈、 开关装置	 白炽灯、发光 二极管	 蓄电池的充 电过程	 事故、动物麻醉

二、电压与电动势

1. 电 压

电压可以通过电荷的分离产生，如图 1-3 所示。要把不同极性的电荷分离开，就必须对电荷做功。在电荷分离过程中，这两种不同极性的电荷之间便产生了电压。

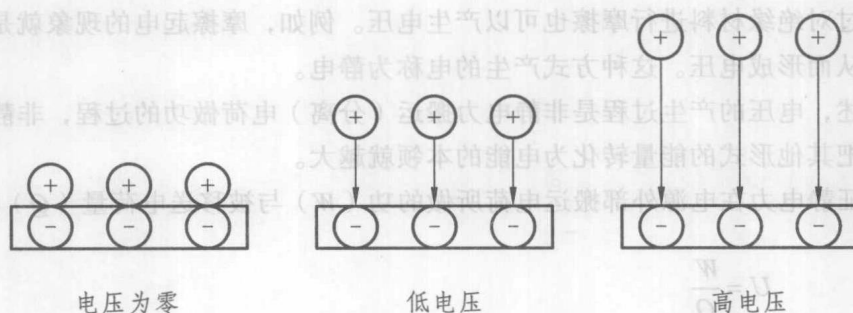


图 1-3 电压是分离电荷的结果

非静电力在电源内部搬运（分离）电荷，且分离电荷后产生的电压越高，对电荷所做的功也越多。例如：

(1) 图 1-4 所示是通过电磁感应来产生电压。若将条形磁铁插入线圈，再从线圈中拔出，电压表的指针将摆动，表明有电压产生。这是利用磁来产生电压，称为电磁感应。

(2) 图 1-5 所示是通过热来产生电压。先将一段铜丝和一段康铜丝绞合或焊接起来，并将另外的导线端接在一个电压表上，然后在两段导线的连接处加热，这两段导线的另外两端间将会产生电压。

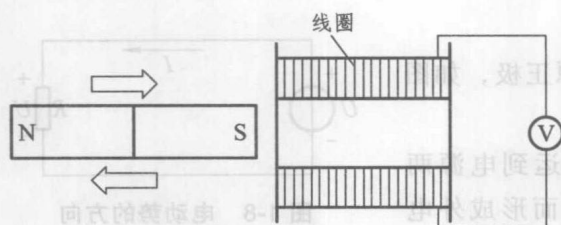


图 1-4 通过电磁感应产生电压

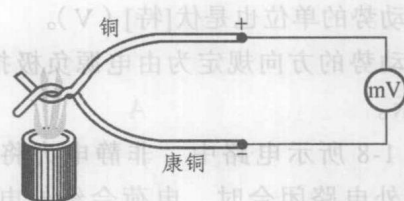


图 1-5 通过热来产生电压

(3) 图 1-6 所示是通过光来产生电压。将一光敏器件接在电压表上，用光源照射该光敏器件，光敏器件的两端就会产生电压。

(4) 图 1-7 所示是通过晶体的形变来产生电压（压电效应）。将压电晶体与高内阻的电压表相连接，并在其表面施加压力，当压力增大或减小时，电压表将显示出电压。

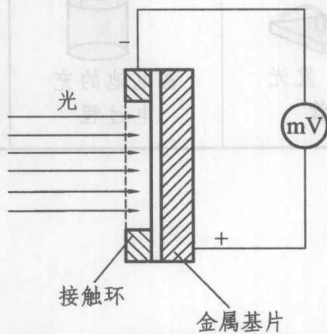


图 1-6 通过光来产生电压

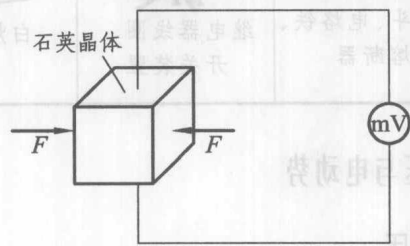


图 1-7 通过压力产生电压

(5) 通过对绝缘材料进行摩擦也可以产生电压。例如，摩擦起电的现象就是通过摩擦将电荷分离，从而形成电压。这种方式产生的电称为静电。

综上所述，电压的产生过程是非静电力搬运（分离）电荷做功的过程，非静电力做的功越多，电源把其他形式的能量转化为电能的本领就越大。

电压表征静电力在电源外部搬运电荷所做的功（ W ）与被移送电荷量（ Q ）的比值，即

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

电压的单位是伏[特]（V）。

电压的方向规定为由电源正极（高电位端）指向电源负极（低电位端）。

2. 电动势

电源电动势（电动势）表征非静电力在电源内部搬运电荷所做的功与被移送电荷量的比值，即

$$E = \frac{W_s}{Q}$$

电动势的单位也是伏[特]（V）。

电动势的方向规定为由电源负极指向电源正极，如图 1-8 所示。

图 1-8 所示电路中，非静电力将电荷搬运到电源两端，当外电路闭合时，电荷会经外电路移动而形成外电路电流 I 。

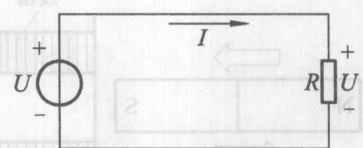


图 1-8 电动势的方向

三、电 位

就像空间的每一点都有一定的高度一样,电路中的每一点都有一定的电位。

正如液体的流动依赖于空间高度的差异,电路中电流的产生也依赖于一定的电位差。在电源外部通路中,电流从高电位点流向低电位点。

电位用字母 V 表示,不同点的电位用字母 V 加下标表示。例如, V_A 表示 A 点的电位值。

零电位点: 衡量电位高低的一个计算电位的起点,该点的电位值规定为 0 V 。习惯上常规定大地的电位为零,称为参考点。

选定电路中的零电位点之后,电路中任何一点与零电位之间的电压,就是该点的电位。反之,各点电位已知后,就能求出任意两点 (A 、 B) 间的电压。

例如, $V_A = 5\text{ V}$, $V_B = 3\text{ V}$, 那么 A 、 B 之间的电压为

$$U_{AB} = V_A - V_B = (5 - 3)\text{ V} = 2\text{ V}$$

四、电 能

若导体两端电压为 U , 通过导体横截面的电荷量为 Q , 则电场力所做的功就是电路所消耗的电能, 即

$$W = QU = UIt$$

电能的单位为焦[耳] (J)。在实际应用中, 常以千瓦时 ($\text{kW} \cdot \text{h}$) (曾称“度”) 作为电能的单位。

$1\text{ kW} \cdot \text{h}$ 在数值上等于功率为 1 kW 的用电器工作 1 h 所消耗的电能。

$$1\text{ kW} \cdot \text{h} = 1\,000\text{ W} \times 3\,600\text{ s} = 3.6 \times 10^6\text{ W} \cdot \text{s} = 3.6 \times 10^6\text{ J}$$

电能是利用电能表 (俗称“电度表”) 进行测量的, 如图 1-9 所示。

【例 1.1】 一台 25 英寸 (1 英寸 $\approx 2.54\text{ cm}$) 彩色电视机的额定功率是 120 W , 每千瓦小时电能的费用为 0.45 元, 共计工作 5 小时, 电费为多少?

解 电费 $= (0.12 \times 5 \times 0.45)\text{元} = 0.27\text{ 元}$

五、电功率

用电设备单位时间 (t) 里所消耗的电能 (W) 叫作电功率, 即

$$P = \frac{W}{t} = UI$$

若是纯电阻电路, 则

$$P = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R}$$

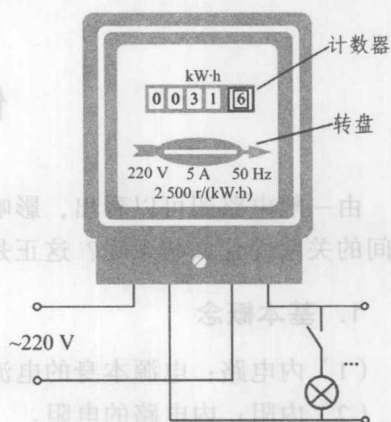


图 1-9 电能表及其接线

电功率是利用功率表进行测量的，其测量线路如图 1-10 所示。

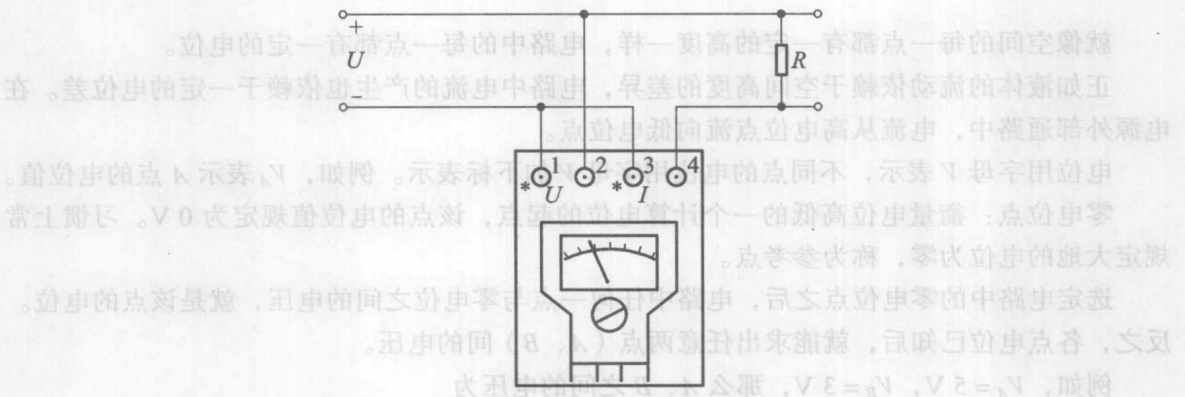


图 1-10 用功率表测功率

功率表测量电压的线圈（1、2）并联在电路中，测量电流的线圈（3、4）串联在电路中。

【例 1.2】 一台电炉的额定电压为 220 V，额定电流为 5 A，该电炉的功率为多大？

解 $P = UI = (220 \times 5) \text{ W} = 1100 \text{ W} = 1.1 \text{ kW}$

任务三 欧姆定律

由一般电路图可以看出，影响电路电流大小的物理量主要是电阻及电动势。它们与电流之间的关系受什么约束呢？这正是本任务所研究的问题。

1. 基本概念

- (1) 内电路：电源本身的电流通路。
- (2) 内阻：内电路的电阻。
- (3) 外电路：电源以外的电流通路。
- (4) 全电路：内电路和外电路的总称，如图 1-11 所示。

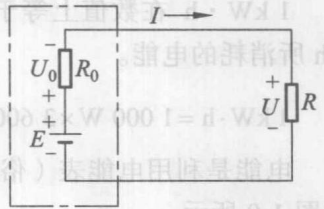


图 1-11 全电路

2. 外电路欧姆定律

对于外电路，在电压一定的情况下，电阻越大，电流就越小，即

$$I = \frac{U}{R}$$

应用欧姆定律时，应注意电流 I 和电压 U 的参考方向。例如：

图 1-12 (a) 中，电流为

$$I = \frac{U}{R}$$

图 1-12 (b) 中，电流为

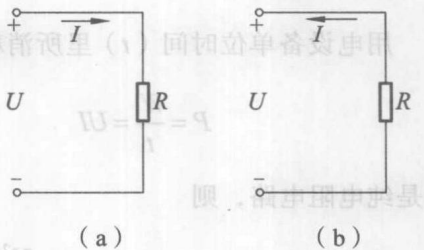


图 1-12 应用欧姆定律时的参考方向

$$I = -\frac{U}{R}$$

【例 1.3】 试求图 1-13 (a) 所示电路中的电流，图中电压为 1.5 V，电阻为 1 Ω。

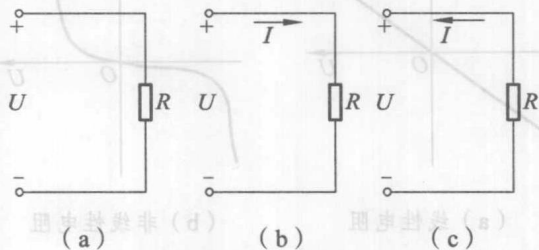


图 1-13 例 1.3 图

解 图 1-13 (a) 所示电路中没有标出电流方向，可以设定其参考方向如图 1-13 (b) 所示，电压和电流参考方向一致，那么

$$I = \frac{U}{R} = \frac{1.5}{1} \text{ A} = 1.5 \text{ A}$$

若按图 1-13 (c) 设定其参考方向，由于电压和电流参考方向不一致，那么

$$I = \frac{-U}{R} = \frac{-1.5}{1} \text{ A} = -1.5 \text{ A}$$

计算结果 $I < 0$ ，说明图 1-13 (c) 设定的电流方向与实际方向相反。

3. 全电路欧姆定律

$$I = \frac{E}{R_0 + R}$$

由此可见，电源内阻越小，向外电路提供的电流（电能）越大。

任务四 电阻元件

一、电阻的伏安特性曲线

电阻的伏安特性曲线是将电阻两端电压与流过电阻电流的关系用图形表示出来。在电阻为恒定值时，其伏安特性曲线是一条通过原点的直线，如图 1-14 所示。

注意：电阻越小，这条直线越陡。

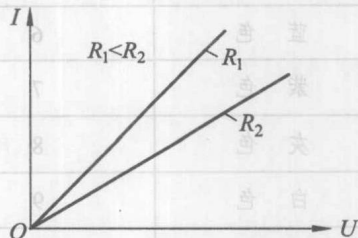


图 1-14 电阻的伏安特性曲线

二、线性电阻和非线性电阻

(1) 线性电阻：伏安特性曲线如图 1-15 (a) 所示，电阻值是常数。

(2) 非线性电阻：伏安特性曲线如图 1-15 (b) 所示，电阻值不是常数。

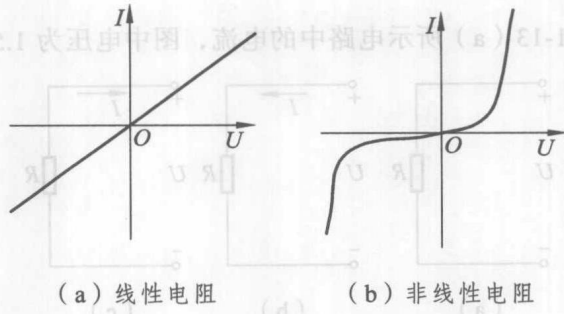


图 1-15 两种电阻的伏安特性曲线

三、常用电阻元件

1. 线性电阻

电阻参数的标注有两种方法：① 直接标注在电阻上；② 色环标注。

色环表示的意义如表 1-2 所示。

表 1-2 色环的意义

颜 色	有效数字	乘 数	允许偏差/%	工作电压/V
银 色		10^{-2}	± 10	
金 色		10^{-1}	± 5	
黑 色	0	10^{-0}		4
棕 色	1	10^1	± 1	6.3
红 色	2	10^2	± 2	10
橙 色	3	10^3		16
黄 色	4	10^4		25
绿 色	5	10^5	± 0.5	32
蓝 色	6	10^6	± 0.25	40
紫 色	7	10^7	± 0.1	50
灰 色	8	10^8		63
白 色	9	10^9	$+50, -20$	
无 色			± 20	

两位有效数字色环标记：如图 1-16 所示，该电阻的阻值为 $2\,700\,\Omega$ ，允许偏差为 $\pm 5\%$ 。

三位有效数字色环标记：如图 1-17 所示，该电阻的阻值为 $33\,200\,\Omega$ ，允许偏差为 $\pm 1\%$ 。

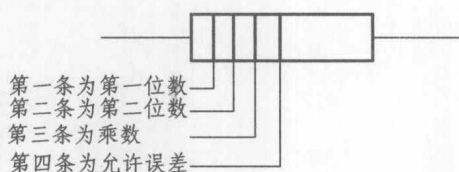


图 1-16 两位有效数字色环标记示例

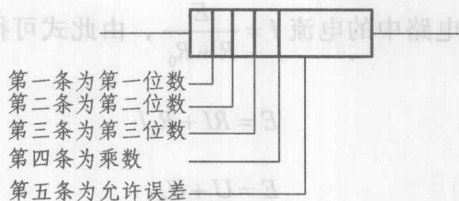


图 1-17 三位有效数字色环标记示例

2. 非线性电阻

(1) 热敏电阻：其外形如图 1-18 所示。

① 负温度系数热敏电阻：简称 NTC (Negative Temperature Coefficient) 电阻，可应用于温度测量和温度调节，还可以作为补偿电阻，对具有正温度系数特性的元件（例如晶体管）进行补偿，此外还能抑制小型电动机、电容器和白炽灯在通电瞬间所出现的大电流（冲击电流）。

② 正温度系数热敏电阻：简称 PTC (Positive Temperature Coefficient) 电阻，可用于小范围的温度测量、过热保护和延时开关。

(2) 压敏电阻：其外形如图 1-19 所示。

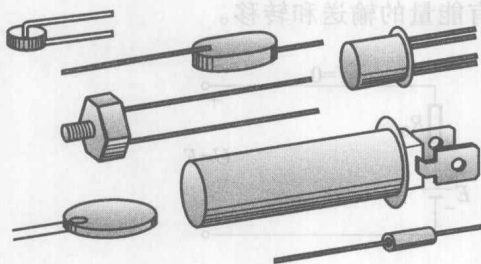


图 1-18 热敏电阻

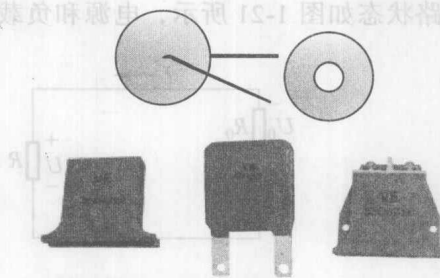


图 1-19 压敏电阻

压敏电阻可用于过压保护。将它并联在被保护元件两端，当出现过电压时，其电阻值急剧减小，将电流分流以保护与其并联在一起的元件。

任务五 电路的状态及电源外特性

电路一般工作在通路状态，但还应考虑其另外两种状态，即开路状态和短路状态。尽管这两种状态是极限状态，但在工程技术应用中还是可能发生的。

一、电路的状态

1. 通路

通路状态如图 1-20 所示，电路中有电流及能量的传输和转换。

电路中的电流 $I = \frac{E}{R + R_0}$ ，由此式可得

$$E = RI + R_0 I$$

即 $E = U + U_0$

式中， $U_0 = R_0 I$ ，为电源内部电压降。

将上式各项乘以电流 I 可得

$$EI = UI + U_0 I$$

即 $P_s = P_L + P_0$

功率平衡：通路时电源产生的电功率 P_s 应该等于负载从电源得到的功率 P_L 和电源内部的损耗功率 P_0 之和。电源内电阻和连接线上消耗的功率是无用的功率损耗。

2. 开路

开路状态如图 1-21 所示，电源和负载之间没有能量的输送和转移。

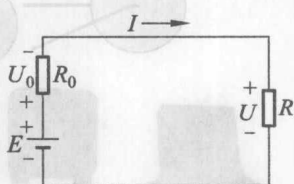


图 1-20 通路状态

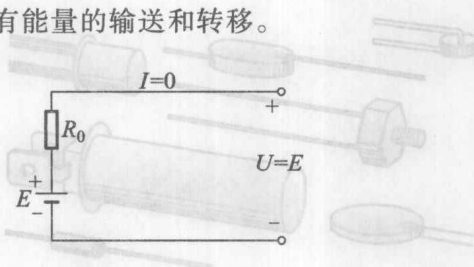


图 1-21 开路状态

开路时，电路中电流 $I = 0$ ，电源内电阻上的电压降 $U_0 = R_0 I = 0$ ，电源输出端电压等于电源电动势，即

$$U = E$$

3. 短路

短路状态如图 1-22 所示，电源两端被导线短接在一起，电流不再流过负载。

短路时，外电路总等效电阻 $R = 0$ ，则

$$I = \frac{E}{R_0} \rightarrow \infty$$

由于电源内电阻一般非常小，所以电源短路时，电流比正常工作大得多，此时电源输出端电压 $U = 0$ 。

发生电源短路时，应及时切断电路，否则将会引起剧烈发热而使电源、导线等烧毁。

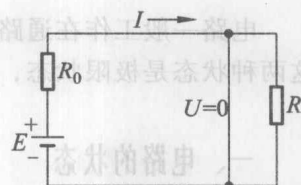


图 1-22 短路状态