

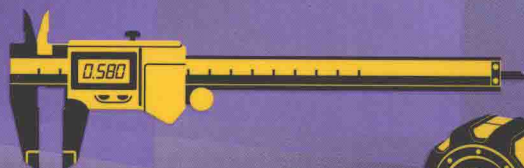
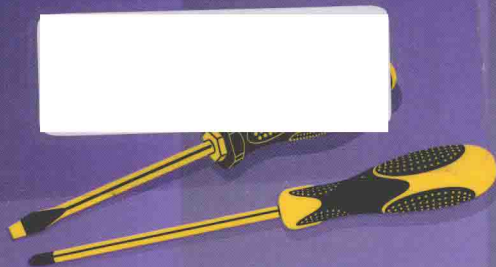
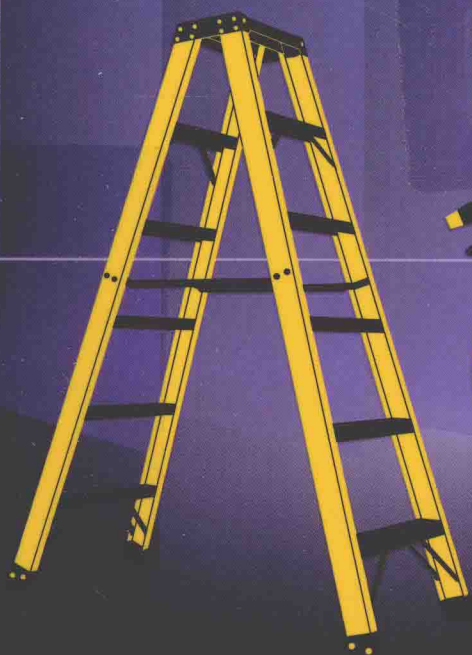
DIYA  
DIANGONG  
SHANGGANG  
QUZHENG

JIUZHEME  
RONGYI

低压电工上岗取证

就这么容易

祖国建 编著



化学工业出版社

DIYA  
DIANGONG  
SHANGGANG  
QUZHENG

JIUZHEME  
RONGYI

低压电工上岗取证

就这么容易

祖国建 编著



化学工业出版社

·北京·

图书在版编目 (CIP) 数据

低压电工上岗取证就这么容易/祖国建编著. —北京:  
化学工业出版社, 2014. 2

ISBN 978-7-122-19244-8

I. ①低… II. ①祖… III. ①低电压-电工技术-基  
本知识 IV. ①TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 295063 号

---

责任编辑: 刘丽宏

文字编辑: 吴开亮

责任校对: 顾淑云 程晓彤

装帧设计: 尹琳琳

---

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装: 化学工业出版社印刷厂

787mm×1092mm 1/16 印张 16½ 字数 413 千字 2014 年 4 月北京第 1 版第 1 次印刷

---

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

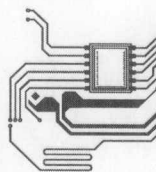
网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

---

定 价: 58.00 元

版权所有 违者必究



# FOREWORD 前言

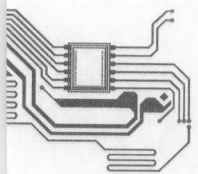
随着生活用电的需求量越来越大，低压电工在生活中日益扮演着重要的角色，而掌握低压电工操作技能、取得低压电工操作证是上岗从事低压电工作业必不可少的。为此，笔者从实际出发，本着易懂、易学、方便、实用的原则编写了本书，引导读者轻松掌握低压电工上岗必备的操作技能和技巧。

《低压电工上岗取证就这么容易》以服务低压电工岗位需求为编写指导思想，内容编排既考虑了读者的学习基础，又参考了相关国家职业和资格标准，对低压电工上岗应掌握的基础知识和实际操作技能做了全面的介绍。书中简要说明了低压电工常用电路识读与计算技巧、常用电工电料及选用、常用低压电器及选用、常用低压电工控制线路，重点介绍了常用电工工具仪表的使用技巧、电气图的识读技能、低压电工的安装维护操作技能，对低压电工应知应会的安全技术进行了必要的说明。本书图文并茂，由浅入深，注重操作技能的培养，帮助读者尽快掌握低压电工应知应会的基本知识和实用技能，轻松取证上岗。

在本书编写过程中，得到了娄底市经济开发区相关企业的大力支持，得到了许多专家的悉心指导，在此，一并表示衷心的感谢！

限于编著者水平，书中难免有不足之处，敬请批评指正。

编著者



# 目录 CONTENTS

## 第一篇 低压电工上岗必备基础知识

<b>第 1 章 电工基础知识</b> .....	2	3.1.2 接触器 .....	75
1.1 直流电路的识读与计算 .....	2	3.1.3 主令电路 .....	78
1.1.1 电路的概念与状态 .....	2	3.1.4 继电器 .....	81
1.1.2 电路的基本物理量 .....	3	3.1.5 电磁铁及电磁离合器 .....	88
1.1.3 电路的基本器件 .....	6	3.2 常用低压保护电器 .....	90
1.1.4 电路的连接 .....	11	3.2.1 熔断器 .....	90
1.1.5 电路的基本定律 .....	14	3.2.2 低压断路器 .....	93
1.1.6 电路的识读与分析方法 .....	20	3.3 常用低压变压器 .....	95
1.2 电磁学基础知识 .....	23	3.3.1 变压器的结构与工作原理 .....	95
1.2.1 磁场的基本物理量 .....	23	3.3.2 低压电力变压器 .....	99
1.2.2 电流的电磁效应 .....	24	3.4 常用低压电机 .....	105
1.2.3 电磁感应现象 .....	25	3.4.1 三相异步电动机 .....	105
1.2.4 电磁感应定律 .....	26	3.4.2 单相异步电动机 .....	114
1.2.5 铁磁材料的磁性能 .....	27	<b>第 4 章 常用低压电工线路</b> .....	125
1.3 交流电路的分析计算 .....	29	4.1 常用照明线路 .....	125
1.3.1 正弦交流电的三要素 .....	29	4.1.1 照明线路的技术要求 .....	125
1.3.2 单相正弦交流电的分析与计算 .....	32	4.1.2 室内配线工序 .....	126
1.3.3 三相正弦交流电的分析与计算 .....	44	4.1.3 护套线配线 .....	127
<b>第 2 章 常用电工电料及选用</b> .....	51	4.1.4 绝缘子配线 .....	128
2.1 常用电线电缆 .....	51	4.1.5 槽板配线 .....	130
2.1.1 电线电缆的结构与类型 .....	51	4.2 常用动力线路 .....	132
2.1.2 电线电缆的选用 .....	54	4.2.1 线管配线 .....	133
2.2 常用开关插座 .....	63	4.2.2 绝缘子配线 .....	135
2.2.1 开关插座的结构与类型 .....	63	4.3 常用电动机的控制与保护线路 .....	136
2.2.2 开关插座的选用 .....	65	4.3.1 三相笼型异步电动机的启动 控制 .....	136
2.3 常用照明灯具 .....	66	4.3.2 三相异步电动机正反转控制 .....	144
2.3.1 常用照明灯具的结构与类型 .....	66	4.3.3 三相异步电动机的制动控制 .....	146
2.3.2 常用照明灯具的选用 .....	70	4.3.4 三相异步电动机的顺序控制 .....	151
<b>第 3 章 常用低压电器</b> .....	73	4.3.5 三相异步电动机的多地控制 .....	153
3.1 常用低压控制电器 .....	73	4.3.6 三相异步电动机的位置控制 .....	154
3.1.1 刀开关 .....	73		



## 第一篇 低压电工基本操作技能

<b>第5章 常用电工工具仪表使用技能</b> .....	158	<b>第6章 电气图的识图绘图技能</b> .....	179
5.1 常用电工工具的使用与维护 .....	158	6.1 常用电气图形符号 .....	179
5.1.1 验电器 .....	158	6.2 电气图识图的方法与步骤 .....	186
5.1.2 钢丝钳 .....	159	6.2.1 电路图的基本构成 .....	186
5.1.3 尖嘴钳 .....	159	6.2.2 电路图的分类 .....	187
5.1.4 剥线钳 .....	160	6.2.3 电气符号 .....	189
5.1.5 螺钉旋具 .....	160	6.2.4 电气图识图的方法步骤 .....	192
5.1.6 电工刀 .....	161	6.3 电气图绘图的方法与步骤 .....	195
5.1.7 活络扳手 .....	161	<b>第7章 低压电工的安装维护操作技能</b> .....	198
5.1.8 断线钳 .....	162	7.1 电线电缆的安装与维护 .....	198
5.1.9 电工工具夹 .....	162	7.1.1 导线绝缘层的去除 .....	198
5.1.10 电烙铁 .....	162	7.1.2 导线的连接 .....	200
5.1.11 梯子 .....	163	7.1.3 导线绝缘层的恢复 .....	205
5.1.12 安全带 .....	163	7.1.4 电缆线路的安装 .....	205
5.1.13 踏板 .....	163	7.1.5 电线电缆线路的维护 .....	210
5.1.14 脚扣 .....	163	7.2 开关插座的安装与维护 .....	212
5.1.15 手摇绕线机 .....	164	7.2.1 开关插座的安装 .....	212
5.1.16 喷灯 .....	165	7.2.2 开关插座的维护 .....	214
5.1.17 游标卡尺 .....	165	7.3 常用照明灯具的安装与维护 .....	214
5.1.18 千分尺 .....	166	7.3.1 照明灯具安装的一般规定和 要求 .....	214
5.1.19 手电钻和冲击钻 .....	167	7.3.2 常用照明灯具的安装方法 .....	215
5.1.20 拉具 .....	167	7.3.3 常用照明灯具的维护 .....	219
5.1.21 手动压接钳 .....	167	7.4 三相异步电动机的安装与维护 .....	219
5.1.22 短路侦察器 .....	168	7.4.1 三相异步电动机的安装 .....	219
5.2 常用电工仪表的使用与维护 .....	169	7.4.2 三相异步电动机的维护 .....	222
5.2.1 万用表的使用与维护 .....	169		
5.2.2 兆欧表的使用与维护 .....	172		
5.2.3 钳形电流表的使用与维护 .....	174		
5.2.4 电度表的使用与维护 .....	174		

## 第一篇 低压电工基本安全技术

<b>第8章 低压电气安全技术</b> .....	226	8.3 雷电与防护 .....	234
8.1 低压电气事故的形成与规律 .....	226	8.3.1 雷电的形成 .....	234
8.1.1 低压电气事故的形成 .....	226	8.3.2 雷电的危害 .....	234
8.1.2 电气事故的类型 .....	227	8.3.3 防雷措施 .....	235
8.1.3 低压触电事故的规律 .....	230	8.3.4 防雷常识 .....	236
8.2 低压电气安全的主要措施 .....	231	8.4 电气火灾与消防技术 .....	238
8.2.1 电工安全操作常识 .....	231	8.4.1 电气火灾的原因 .....	238
8.2.2 电气作业安全措施 .....	232	8.4.2 电气火灾的防护措施 .....	239
8.2.3 低压电气设备安全措施 .....	232	8.4.3 电气火灾的扑救 .....	242

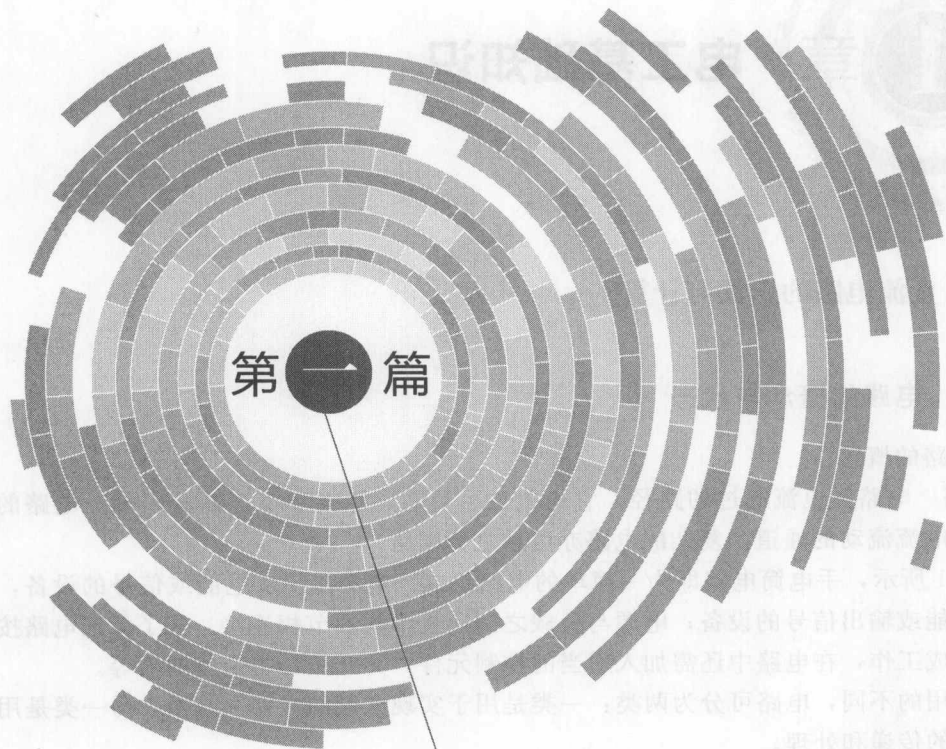
8.5 静电与防护 .....	245	8.7.3 线路安装安全操作规程 .....	252
8.5.1 静电的产生 .....	245	8.7.4 电气设备安装安全操作规程 .....	253
8.5.2 静电的危害 .....	246	8.7.5 电缆敷设安全操作规程 .....	254
8.5.3 消除静电危害的措施 .....	246	8.7.6 低压带电作业安全操作规程 .....	254
8.6 触电急救 .....	248	8.7.7 变配电安全操作规程 .....	255
8.6.1 使触电者迅速脱离电源 .....	248	8.7.8 机电设备安全操作规程 .....	255
8.6.2 简单诊断 .....	249	8.7.9 电焊作业安全操作规程 .....	255
8.6.3 现场急救方法 .....	249	8.7.10 手持电动工具安全操作规程 .....	256
8.7 低压电工操作规程 .....	250	<b>参考文献</b> .....	258
8.7.1 一般安全要求 .....	251		
8.7.2 线路和设备维修安全操作规程 .....	252		

附录A 常用安全标志

1A1 禁止烟火	1A2 禁止吸烟	1A3 禁止带火种	1A4 禁止携带易燃易爆物品	1A5 禁止燃放烟花爆竹	1A6 禁止投掷	1A7 禁止抛物	1A8 禁止倚靠	1A9 禁止坐卧	1A10 禁止跨越	1A11 禁止钻爬	1A12 禁止攀登	1A13 禁止触摸	1A14 禁止靠近	1A15 禁止通行	1A16 禁止入内	1A17 禁止入内	1A18 禁止入内	1A19 禁止入内	1A20 禁止入内	1A21 禁止入内	1A22 禁止入内	1A23 禁止入内	1A24 禁止入内	1A25 禁止入内	1A26 禁止入内	1A27 禁止入内	1A28 禁止入内	1A29 禁止入内	1A30 禁止入内	1A31 禁止入内	1A32 禁止入内	1A33 禁止入内	1A34 禁止入内	1A35 禁止入内	1A36 禁止入内	1A37 禁止入内	1A38 禁止入内	1A39 禁止入内	1A40 禁止入内	1A41 禁止入内	1A42 禁止入内	1A43 禁止入内	1A44 禁止入内	1A45 禁止入内	1A46 禁止入内	1A47 禁止入内	1A48 禁止入内	1A49 禁止入内	1A50 禁止入内	1A51 禁止入内	1A52 禁止入内	1A53 禁止入内	1A54 禁止入内	1A55 禁止入内	1A56 禁止入内	1A57 禁止入内	1A58 禁止入内	1A59 禁止入内	1A60 禁止入内	1A61 禁止入内	1A62 禁止入内	1A63 禁止入内	1A64 禁止入内	1A65 禁止入内	1A66 禁止入内	1A67 禁止入内	1A68 禁止入内	1A69 禁止入内	1A70 禁止入内	1A71 禁止入内	1A72 禁止入内	1A73 禁止入内	1A74 禁止入内	1A75 禁止入内	1A76 禁止入内	1A77 禁止入内	1A78 禁止入内	1A79 禁止入内	1A80 禁止入内	1A81 禁止入内	1A82 禁止入内	1A83 禁止入内	1A84 禁止入内	1A85 禁止入内	1A86 禁止入内	1A87 禁止入内	1A88 禁止入内	1A89 禁止入内	1A90 禁止入内	1A91 禁止入内	1A92 禁止入内	1A93 禁止入内	1A94 禁止入内	1A95 禁止入内	1A96 禁止入内	1A97 禁止入内	1A98 禁止入内	1A99 禁止入内	1A100 禁止入内
----------	----------	-----------	----------------	--------------	----------	----------	----------	----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	------------

附录B 常用安全标志

1B1 注意安全	1B2 当心火灾	1B3 当心爆炸	1B4 当心触电	1B5 当心机械伤人	1B6 当心车辆	1B7 当心落物	1B8 当心吊钩	1B9 当心起重	1B10 当心烫伤	1B11 当心中毒	1B12 当心窒息	1B13 当心辐射	1B14 当心感染	1B15 当心污染	1B16 当心噪声	1B17 当心振动	1B18 当心辐射	1B19 当心辐射	1B20 当心辐射	1B21 当心辐射	1B22 当心辐射	1B23 当心辐射	1B24 当心辐射	1B25 当心辐射	1B26 当心辐射	1B27 当心辐射	1B28 当心辐射	1B29 当心辐射	1B30 当心辐射	1B31 当心辐射	1B32 当心辐射	1B33 当心辐射	1B34 当心辐射	1B35 当心辐射	1B36 当心辐射	1B37 当心辐射	1B38 当心辐射	1B39 当心辐射	1B40 当心辐射	1B41 当心辐射	1B42 当心辐射	1B43 当心辐射	1B44 当心辐射	1B45 当心辐射	1B46 当心辐射	1B47 当心辐射	1B48 当心辐射	1B49 当心辐射	1B50 当心辐射	1B51 当心辐射	1B52 当心辐射	1B53 当心辐射	1B54 当心辐射	1B55 当心辐射	1B56 当心辐射	1B57 当心辐射	1B58 当心辐射	1B59 当心辐射	1B60 当心辐射	1B61 当心辐射	1B62 当心辐射	1B63 当心辐射	1B64 当心辐射	1B65 当心辐射	1B66 当心辐射	1B67 当心辐射	1B68 当心辐射	1B69 当心辐射	1B70 当心辐射	1B71 当心辐射	1B72 当心辐射	1B73 当心辐射	1B74 当心辐射	1B75 当心辐射	1B76 当心辐射	1B77 当心辐射	1B78 当心辐射	1B79 当心辐射	1B80 当心辐射	1B81 当心辐射	1B82 当心辐射	1B83 当心辐射	1B84 当心辐射	1B85 当心辐射	1B86 当心辐射	1B87 当心辐射	1B88 当心辐射	1B89 当心辐射	1B90 当心辐射	1B91 当心辐射	1B92 当心辐射	1B93 当心辐射	1B94 当心辐射	1B95 当心辐射	1B96 当心辐射	1B97 当心辐射	1B98 当心辐射	1B99 当心辐射	1B100 当心辐射
----------	----------	----------	----------	------------	----------	----------	----------	----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	------------



# 第一篇

## 低压电工上岗必备基础知识



串联电路 (C) 图



并联电路 (D) 图

由的由主要生因故者具而，乘乘的其的并元和实然总常，不料乘宝一查，整对微由的由微到料又，特元微由以S有整整研好，那那的并元和实升整来并元微微用且微由，乘乘那也乘乘微由的取出中整整，微由那一个一那那去里那的知并元微由那整一个其整一个那，整整微由以有整整那那那那元微由那整由不友，那那在十那那微由的由微由那变，那那微由的微由那由手1-1图式微由那那1-1图式微由那那 (C) 这那的微由 (C) 那那那那工的那那，及那的因不那那，那那那因不那那，不料乘那工的那那不那那那，那那那那那那那那那那，那那那那那那那那那那。



# 第 1 章

## 电工基础知识

### 1.1 直流电路的识读与计算

#### 1.1.1 电路的概念与状态

##### (1) 电路的概念

① 电路 电路是电流通过的路径。它由电源、负载、中间环节三部分组成。电路的特征是提供了电流流动的通道。复杂的电路亦可称之为网络。

如图 1-1 所示, 手电筒电路即为一简单的电路组成。电源是提供电能或信号的设备, 负载是消耗电能或输出信号的设备; 电源与负载之间通过中间环节相连接。为了保证电路按不同的需要完成工作, 在电路中还需加入适当的控制元件, 如开关、主令控制器等。

根据作用的不同, 电路可分为两类: 一类是用于实现电能的传输和转换; 另一类是用于进行电信号的传递和处理。

根据电源提供的电流不同, 电路还可以分为直流电路和交流电路两种。

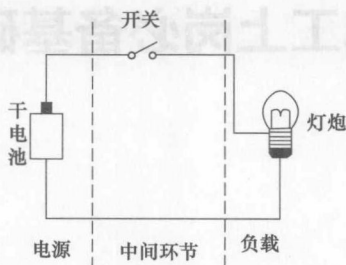


图 1-1 手电筒电路

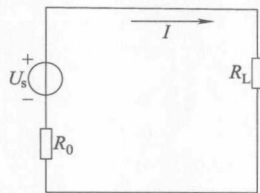


图 1-2 电路模型

② 电路模型 在一定条件下, 常忽略实际元件的其他现象, 而只考虑起主要作用的电磁现象, 也就是用理想元件来替代实际元件的模型, 这种模型称之为电路元件, 又称理想电路元件。

用一个或几个理想电路元件构成的模型去模拟一个实际电路, 模型中出现的电磁现象与实际电路中的电磁现象十分接近, 这个由理想电路元件组成的电路称为电路模型。

如图 1-2 所示电路为图 1-1 手电筒电路的电路模型。

##### (2) 电路的状态

电路在不同的工作条件下, 会处于不同的状态, 并具有不同的特点。电路的工作状态有三种: 开路状态、负载状态和短路状态。

① 开路状态（空载状态） 在图 1-3 所示电路中，当开关 K 断开时，电源则处于开路状态。开路时，电路中电流为零，电源不输出能量，电源两端的电压称为开路电压，用  $U_{OC}$  表示，其值等于电源电动势  $E$  即

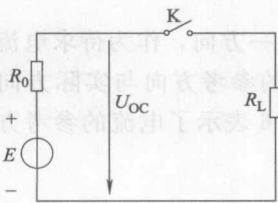


图 1-3 开路状态

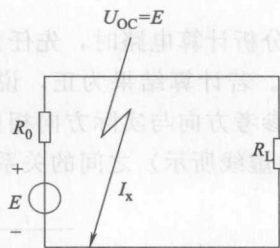


图 1-4 短路状态

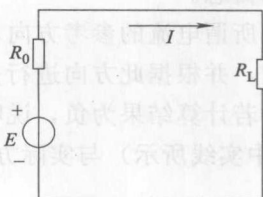


图 1-5 负载工作状态

② 短路状态 在图 1-4 所示电路中，当电源两端由于某种原因短接在一起时，电源则被短路。短路电流  $I_{SC} = \frac{E}{R_0}$  很大，此时电源所产生的电能全被内阻  $R_0$  所消耗。

短路通常是严重的事故，应尽量避免发生，为了防止短路事故，通常在电路中接入熔断器或断路器，以便在发生短路时能迅速切断故障电路。

③ 负载状态（通路状态） 电源与一定大小的负载接通，称为负载状态。这时电路中流过的电流称为负载电流，如图 1-5 所示。负载的大小是以消耗功率的大小来衡量的。当电压一定时，负载的电流越大（即负载越大），则消耗的功率亦越大。

为使电气设备正常运行，在电气设备上都标有额定值，额定值是生产厂家为了使产品能在给定的工作条件下正常运行而规定的正常允许值。一般常用的额定值有：额定电压、额定电流、额定功率，分别用  $U_N$ 、 $I_N$ 、 $P_N$  表示。

需要指出，电气设备实际消耗的功率不一定等于额定功率。当实际消耗的功率  $P$  等于额定功率  $P_N$  时，称为满载运行；若  $P < P_N$ ，称为轻载运行；而当  $P > P_N$  时，称为过载运行。电气设备应尽量在接近额定的状态下运行。

## 1.1.2 电路的基本物理量

电路中的物理量主要包括电流、电压、电位、电动势及功率。

### (1) 电流及其参考方向

带电质点的定向移动形成电流。电流的大小等于单位时间内通过导体横截面的电荷量。电流的实际方向习惯上是指正电荷移动的方向。

电流分为两类：一类是大小和方向均不随时间变化，称为恒定电流，简称直流，用  $I$  表示；另一类是大小和方向均随时间变化，称为交变电流，简称交流，用  $i$  表示。

对于直流电流，单位时间内通过导体截面的电荷量是恒定不变的，其大小为

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

对于交流电流，若在一个无限小的时间间隔  $dt$  内，通过导体横截面的电荷量为  $dq$ ，则该瞬间的电流为

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1-2)$$

在国际单位制（SI）中，电流的单位是安培（A）。常用的电流单位还有千安（kA）、毫

安 (mA)、微安 ( $\mu\text{A}$ )。它们之间的关系是

$$1\text{kA} = 10^3\text{A} = 10^6\text{mA} = 10^9\mu\text{A}$$

在复杂电路中, 电流的实际方向有时难以确定。为了便于分析计算, 便引入电流参考方向的概念。

所谓电流的参考方向, 就是在分析计算电路时, 先任意选定某一方向, 作为待求电流的方向, 并根据此方向进行分析计算。若计算结果为正, 说明电流的参考方向与实际方向相同; 若计算结果为负, 说明电流的参考方向与实际方向相反。图 1-6 表示了电流的参考方向 (图中实线所示) 与实际方向 (图中虚线所示) 之间的关系。

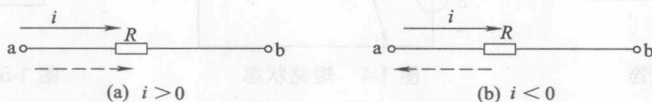


图 1-6 电流参考方向与实际方向

**例 1.1** 如图 1-7 所示, 电流的参考方向已标出, 并已知  $I_1 = -1\text{A}$ ,  $I_2 = 1\text{A}$ , 试指出电流的实际方向。

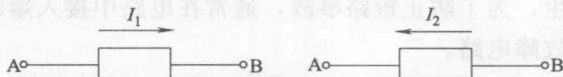


图 1-7 例 1.1 图

解:  $I_1 = -1\text{A} < 0$ , 则  $I_1$  的实际方向

与参考方向相反, 应由点 B 流向点 A。

$I_2 = 1\text{A} > 0$ , 则  $I_2$  的实际方向与参考方向相同, 由点 B 流向点 A。

(2) 电压及其参考方向

在电路中, 电场力把单位正电荷 ( $q$ ) 从 a 点移到 b 点所做的功 ( $w$ ) 就称为 a、b 两点间的电压, 也称电位差, 记为

$$u_{ab} = \frac{dw}{dq} \quad (1-3)$$

对于直流, 则为

$$U_{AB} = \frac{W}{Q} \quad (1-4)$$

电压的单位为伏特 (V)。常用的电压单位还有千伏 (kV)、毫伏 (mV)、微伏 ( $\mu\text{V}$ )。它们之间的关系是

$$1\text{kV} = 10^3\text{V} = 10^6\text{mV} = 10^9\mu\text{V}$$

电压的实际方向规定从高电位指向低电位, 其方向可用箭头表示, 也可用“+”、“-”极性表示, 如图 1-8 所示。若用双下标表示, 如  $U_{ab}$  表示 a 指向 b。显然  $U_{ab} = -U_{ba}$ 。值得注意的是, 电压总是针对两点而言。

和电流的参考方向一样, 也需设定电压的参考方向。电压的参考方向也是任意选定的, 当参考方向与实际方向相同时, 电压值为正; 反之, 电压值则为负。

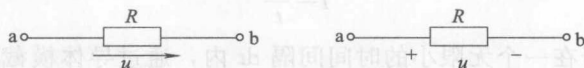


图 1-8 电压参考方向的设定

**例 1.2** 如图 1-9 所示, 电压的参考方向已标出, 并已知  $U_1 = 1\text{V}$ ,  $U_2 = -1\text{V}$ , 试指出电压的实际方向。

解:  $U_1 = 1V > 0$ , 则  $U_1$  的实际方向与参考方向相同, 由 A 指向 B。

$U_2 = -1V < 0$ , 则  $U_2$  的实际方向与参考方向相反, 应由 A 指向 B。

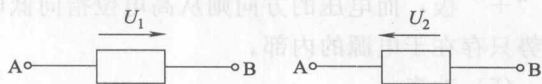


图 1-9 例 1.2 图

### (3) 电位

在电路中任选一点作为参考点, 则电路中某一点与参考点之间的电压称为该点的电位。

电位用符号  $V$  或  $v$  表示。例如 A 点的电位记为  $V_A$  或  $v_A$ 。若参考点为 O 点, 则  $V_A = U_{AO}$ ,  $v_A = u_{AO}$ 。电位的单位是伏特 (V)。

电路中的参考点可任意选定。当电路中有接地点时, 则以地为参考点。若没有接地点时, 则选择较多导线的汇集点为参考点。在电子线路中, 通常以设备外壳为参考点。参考点用符号 “ $\perp$ ” 表示。

有了电位的概念后, 电压也可用电位来表示, 即

$$\left. \begin{aligned} U_{AB} &= V_A - V_B \\ u_{AB} &= v_A - v_B \end{aligned} \right\} \quad (1-5)$$

因此, 电压也称为电位差。

还需指出, 电路中任意两点间的电压与参考点的选择无关。即对于不同的参考点, 虽然各点的电位不同, 但任意两点间的电压始终不变。

**例 1.3** 图 1-10 所示的电路中, 已知各元件的电压为:  $U_1 = 10V$ ,  $U_2 = 5V$ ,  $U_3 = 8V$ ,  $U_4 = -23V$ 。若分别选 B 点与 C 点为参考点, 试求电路中各点的电位。

解: 选 B 点为参考点, 则

$$V_B = 0$$

$$V_A = U_{AB} = -U_1 = -10V$$

$$V_C = U_{CB} = U_2 = 5V$$

$$V_D = U_{DB} = U_3 + U_2 = 8 + 5 = 13V$$

选 C 点为参考点, 则

$$V_C = 0$$

$$V_A = U_{AC} = -U_1 - U_2 = -10 - 5 = -15V$$

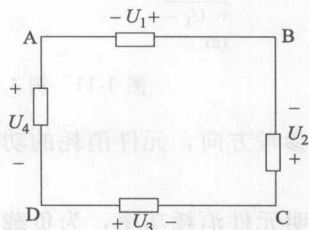


图 1-10 例 1.3 图

或

$$V_A = U_{AC} = U_4 + U_3 = -23 + 8 = -15V$$

$$V_B = U_{BC} = -U_2 = -5V$$

$$V_D = U_{DC} = U_3 = 8V$$

### (4) 电动势

电源力把单位正电荷由低电位点 B 经电源内部移到高电位点 A 克服电场力所做的功, 称为电源的电动势。电动势用  $E$  或  $e$  表示, 即

$$\left. \begin{aligned} E &= \frac{W}{Q} \\ e &= \frac{dw}{dq} \end{aligned} \right\} \quad (1-6)$$

电动势的单位也是伏特 (V)。

电动势与电压的实际方向不同, 电动势的方向是从低电位指向高电位, 即由 “-” 极指

向“+”极，而电压的方向则从高电位指向低电位，即由“+”极指向“-”极。此外，电动势只存在于电源的内部。

### (5) 功率

单位时间内电场力或电源力所做的功，称为功率，用  $P$  或  $p$  表示，单位是瓦特 (W)。即

$$\left. \begin{aligned} P &= \frac{W}{T} \\ p &= \frac{dw}{dt} \end{aligned} \right\} \quad (1-7)$$

若已知元件的电压和电流，功率的表达式则为

$$\left. \begin{aligned} P &= UI \\ p &= ui \end{aligned} \right\} \quad (1-8)$$

当电流、电压为关联参考方向（即电压、电流的参考方向相同）时，式 (1-8) 表示元件消耗能量。若计算结果为正，说明电路确实消耗功率，为耗能元件；若计算结果为负，说明电路实际产生功率，为供能元件。

当电流、电压为非关联参考方向时，则式 (1-8) 表示元件产生能量。若计算结果为正，说明电路确实产生功率，为供能元件；若计算结果为负，说明电路实际消耗功率，为耗能元件。

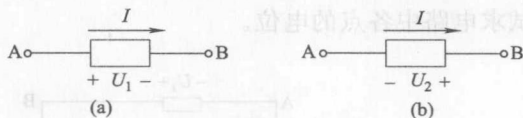


图 1-11 例 1.4 图

**例 1.4** ①在图 1-11 中，若电流均为 2A， $U_1=1V$ ， $U_2=-1V$ ，求两元件消耗或产生的功率。②在图 1-11 (b) 中，若元件产生的功率为 4W，求电流  $I$ 。

**解：**①对图 1-11 (a)，电流、电压为关联参考方向，元件消耗的功率为

$$P=U_1 I=1 \times 2=2W > 0$$

表明元件消耗功率，为负载。

对图 1-11 (b)，电流、电压为非关联参考方向，元件产生的功率为

$$P=U_2 I=(-1) \times 2=-2W < 0$$

表明元件消耗功率，为负载。

②因图 1-11 (b) 中电流、电压为非关联参考方向，且是产生功率，故

$$P=U_2 I=4W$$

$$I=\frac{4}{U_2}=\frac{4}{-1}=-4A$$

负号表示电流的实际方向与参考方向相反。

## 1.1.3 电路的基本器件

电路中的基本器件有电阻元件、电感元件和电容元件，此外还有电压源和电流源。

### 1.1.3.1 电阻元件

#### (1) 电阻与电导的概念

电阻元件简称电阻，是一种对电流呈现阻碍作用的耗能元件，用符号  $R$  表示。



$R$  也是表征导体对电流呈现阻碍作用的电路参数, 流过线性电阻的电流与其两端的电压成正比, 即

$$\frac{u}{i} = R (u, i \text{ 关联}) \quad (1-9)$$

$$-\frac{u}{i} = R (u, i \text{ 不关联}) \quad (1-10)$$

在国际单位制 (SI) 中, 电阻的单位为欧姆 ( $\Omega$ )。常用的电阻单位还有兆欧 ( $M\Omega$ )、千欧 ( $k\Omega$ )。它们之间的关系是

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

实验证明, 导体的电阻和导体的截面积  $S$  成反比, 与导体的长度  $L$  成正比, 且与导体的材质 (导体的电阻率  $\rho$ ) 有关。即

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad (1-11)$$

为了方便计算, 我们常常把电阻的倒数用电导  $G$  来表示, 即

$$G = \frac{1}{R} \quad (1-12)$$

在国际单位制 (SI) 中, 电导  $G$  的单位为西门子 (S)。

## (2) 电阻的伏安特性

对于线性电阻元件, 其电路模型如图 1-12 所示。其特性方程为

$$u = Ri (u, i \text{ 关联}) \quad (1-13)$$

$$u = -Ri (u, i \text{ 不关联}) \quad (1-14)$$

或 
$$i = Gu (u, i \text{ 关联}) \quad (1-15)$$

$$i = -Gu (u, i \text{ 不关联}) \quad (1-16)$$

可以把电阻两端的电压与电流的关系标在坐标平面上, 用一条曲线 (直线) 表示其关系, 这条曲线 (直线) 就称为电阻的伏安特性曲线。

根据上述公式可知线性电阻的伏安特性曲线是一条过原点的直线。一般的电阻元件均为线性电阻元件。非线性电阻的伏安特性如图 1-13 所示, 是一条曲线。例如二极管就是一个典型的非线性电阻元件。

由线性元件组成的电路称为线性电路, 由非线性元件组成的电路称为非线性电路。

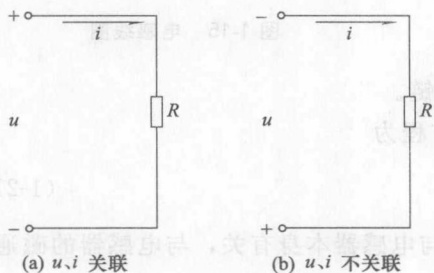


图 1-12 线性电阻电路模型

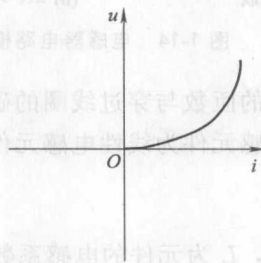


图 1-13 非线性电阻的伏安特性曲线

## (3) 电能

电阻元件在通电过程中要消耗电能, 是耗能元件。电阻所吸收的功率为

$$p = ui = Ri^2 = \frac{u^2}{R} \quad (1-17)$$

则  $t_1$  到  $t_2$  的时间内, 电阻元件吸收的能量为  $W$ , 全部转化为热能。

$$W = \int_{t_1}^{t_2} Ri^2 dt \quad (1-18)$$

在直流电路中

$$P = UI = RI^2 = \frac{U^2}{R} \quad (1-19)$$

$$W = Pt \quad (1-20)$$

在国际单位制 (SI) 中, 电能的单位是焦 [耳] (J); 或千瓦·时 ( $\text{kW} \cdot \text{h}$ ), 简称为度。1 千瓦·时是指功率为  $1\text{kW}$  的电源 (负载) 在  $1\text{h}$  内所输出 (消耗) 的电能。

**例 1.5** 在  $220\text{V}$  的电源上接一个电加热器, 已知通过电加热器的电流是  $3.5\text{A}$ , 问  $4\text{h}$  内该电加热器用了多少度电?

**解:** 电加热器的功率是

$$P = UI = 220 \times 3.5 = 770\text{W} = 0.77\text{kW}$$

$4\text{h}$  中电加热器消耗的电能是

$$W = Pt = 0.77 \times 4 = 3.08\text{kW} \cdot \text{h}$$

即该电加热器用了  $3.08$  度电。

### 1.1.3.2 电感元件

电感元件简称电感, 是储能元件, 能够储存磁场能量, 其电路模型如图 1-14 所示。

从模型图中可以看出, 电感器是由一个线圈组成。通常将导线绕在铁芯上制作成电感线圈, 如图 1-15 所示。

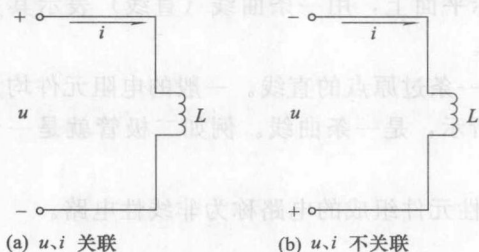


图 1-14 电感器电路模型

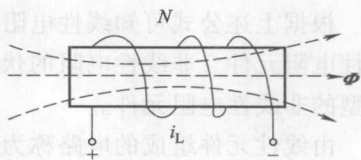


图 1-15 电感线圈

线圈的匝数与穿过线圈的磁通之积为  $N\Phi$ , 称为磁链。

当电感元件为线性电感元件时, 电感元件的特性方程为

$$N\Phi = Li \quad (1-21)$$

式中,  $L$  为元件的电感系数 (简称电感), 是一个与电感器本身有关, 与电感器的磁通、电流无关的常数, 又叫做自感。

在国际单位制 (SI) 中, 电感的单位为亨 [利] (H)。有时也用毫亨 ( $\text{mH}$ )、微亨 ( $\mu\text{H}$ ),  $1\text{mH} = 10^{-3}\text{H}$ ,  $1\mu\text{H} = 10^{-6}\text{H}$ , 磁通  $\Phi$  的单位是韦 [伯] ( $\text{Wb}$ )。

当通过电感元件的电流发生变化时, 电感元件中的磁通也发生变化, 根据电磁感应定

律, 在线圈两端将产生感应电压。设电压与电流关联, 则电感线圈两端产生的感应电压为

$$u_L = L \frac{di}{dt} \quad (1-22)$$

式 (1-22) 表示线性电感的电压  $u_L$  与电流  $i$  对时间  $t$  的变化率  $\frac{di}{dt}$  成正比。

在一定的时间内, 电流变化越快, 感应电压越大; 电流变化越慢, 感应电压越小; 若电流变化为零时 (即直流电流), 则感应电压为零, 电感元件相当于短路。故电感元件在直流电路中相当于短路。

当流过电感元件的电流为  $i$  时, 它所储存的能量为

$$W_L = \frac{1}{2} Li^2 \quad (1-23)$$

从式 (1-23) 中可以看出, 电感元件在某一时刻所储存的能量仅与当时的电流值有关。

### 1.1.3.3 电容元件

电容元件简称电容, 也是储能元件, 能够储存电场能量, 其电路模型如图 1-16 所示。

当电容为线性电容时, 电容元件的特性方程为

$$q = Cu \quad (1-24)$$

式中,  $C$  为电容元件的电容值, 它是一个与电容本身有关, 与电容器两端的电压、电流无关的常数。

在国际单位制 (SI) 中, 电容的单位为法 [拉] (F)。常用的电容单位还有微法 ( $\mu\text{F}$ )、纳法 (nF)、皮法 (pF), 它们之间的关系为

$$1\mu\text{F} = 10^{-6}\text{F}, 1\text{nF} = 10^{-9}\text{F}, 1\text{pF} = 10^{-12}\text{F}$$

从式 (1-24) 可以看出, 电容的电荷量是随电容两端电压的变化而变化的。而由于电荷的变化, 电容中产生的电流为

$$i_C = \frac{dq}{dt} \text{ (设 } u, i \text{ 关联)} \quad (1-25)$$

将式 (1-24) 代入式 (1-25) 中得

$$i_C = C \frac{du}{dt} \quad (1-26)$$

式 (1-25) 表示线性电容的电流与端电压对时间的变化率成正比。

当  $\frac{du}{dt} = 0$  时, 则  $i_C = 0$ , 说明电容元件的两端电压恒定不变时, 通过电容的电流为零, 电容处于开路状态。故电容元件对直流电路来说相当于开路。

电容所储存的电场能为

$$W_C = \frac{1}{2} Cu^2 \quad (1-27)$$

### 1.1.3.4 电压源

电源是将其他形式的能量 (如化学能、机械能、太阳能、风能等) 转换成电能后提供给电路的设备。电路分析中的基本电源有电压源和电流源两种。

#### (1) 理想电压源

理想电压源是指内阻为零、且两端的端电压值恒定不变 (直流电压) 的电源, 如图 1-17

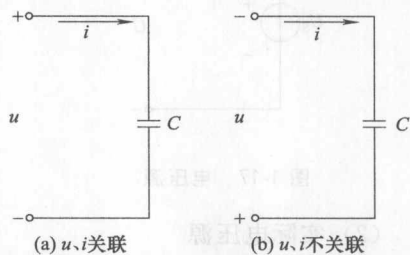


图 1-16 电容器电路模型

所示。我们平时说的电压源一般指的就是理想电压源。

电压源的特点是电压的大小取决于电压源本身的特性，与流过的电流无关。而流过电压源的电流大小与电压源外部电路有关，由外部负载电阻决定。因此，理想电压源称之为独立电压源。

电压为  $U_S$  的理想电压源的伏安特性曲线是一条平行于横坐标的直线，如图 1-18 所示，特性方程为

$$U = U_S \quad (1-28)$$

如果电压源的电压  $U_S = 0$ ，则此时电压源的伏安特性曲线就是横坐标，也就是电压源相当于短路。

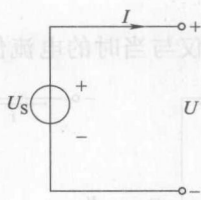


图 1-17 电压源

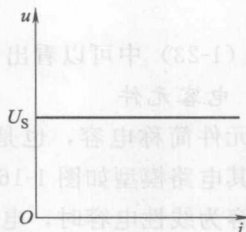
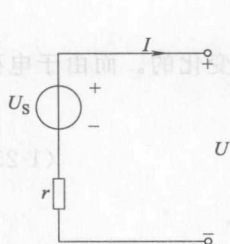


图 1-18 直流电压源的伏安特性曲线

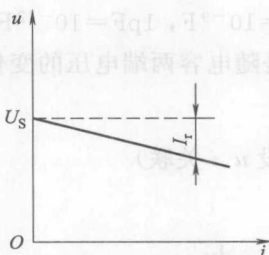
## (2) 实际电压源

实际电压源可以用一个理想电压源  $U_S$  与一个理想电阻  $r$  串联组合成一个电路来表示，如图 1-19 (a) 所示。其特征方程为

$$U = U_S - Ir \quad (1-29)$$



(a) 实际电压源



(b) 实际电压源的伏安特性曲线

图 1-19 实际电压源模型

实际电压源的伏安特性曲线如图 1-19 (b) 所示，可见电源输出的电压随理想电阻的电流的增加而下降。

## 1.1.3.5 电流源

### (1) 理想电流源

理想电流源是指内阻为无限大、输出恒定电流  $I_S$  的电源，如图 1-20 所示。我们平时说的电流源一般指的就是理想电流源。

电流源的特点是电流的大小取决于电流源本身的特性，与电源的端电压无关。而端电压的大小与电流源外部电路有关，由外部负载电阻决定。因此，理想电流源也称之为独立电流源。

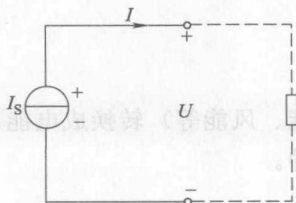


图 1-20 电流源

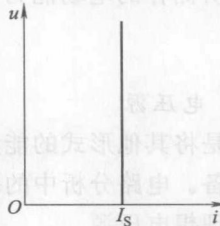


图 1-21 直流电流源的伏安特性曲线