



高等学校教材

电工

电子技术

叶 淬 主编

孙骆生 主审



化学工业出版社
教材出版中心

高等学校教材

电工电子技术

叶 淬 主编
孙骆生 主审

化学工业出版社
教材出版中心
·北 京·

(京)新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

电工电子技术/叶淬主编.孙骆生主审.—北京:化学工业出版社, 2000.8
ISBN 7-5025-2926-8

I. 电… II. 叶… III. ①电工学-高等学校-教材②电子技术-高等学校-教材 IV. TM1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 64445 号

电工电子技术
叶淬 主编
孙骆生 主审
责任编辑: 潘加明
责任校对: 潘加明
封面设计: 田彦良

化学工业出版社 出版发行
教材出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京市彩桥印刷厂印刷

三可市宇新装订厂装订

开本 787×1092 毫米 1/16 印张 17 $\frac{3}{4}$ 字数 432 千字

2000 年 8 月第 1 版 2000 年 8 月北京第 1 次印刷

印 数: 1—4000

ISBN 7-5025-2926-8/G·750

定 价: 27.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前 言

“电工电子技术”是遵照 1995 年国家教委颁发的“电工技术（电工学Ⅰ）”和“电子技术（电工学Ⅱ）”两门课程的教学基本要求，结合目前教学改革新要求和电力、电子技术的新发展，在近三年教改试点班教学实践总结的基础上编写的。是北京市教改立项《探求“电工技术”、“电子技术”课程体系新模式》成果的体现。集中了参编老师多年来的教学心得。主要有以下特色。

1. 更新教学内容

“电工电子技术”是工科非电类专业的技术基础课，本教材紧紧抓住这一特点，突出“电工电子技术”的基础性和实践性，增强先进性和应用性。

本教材轻解题技巧，重基本概念；轻内部结构，重外部特性；轻原理分析，重应用技术。力求基本理论完整、信息量大、实践性强，以提高“电工技术”和“电子技术”课程内容的知识层次，扩大知识范围。

本教材在“电工技术”部分主要增加了 PLC，压缩了交流电路计算分析的内容；在“电子技术”部分主要精简了分立元件电路等非基本内容，加强了集成运放的应用，电力电子技术，特别是扩展和加深了数字电子技术的有关内容，如中规模集成电路、GAL 电路等。以便使学生在有限的学时内受益最大，为继续学习打下良好的基础。

2. 注意学生能力的培养

教材编写注意将培养学生能力的要求贯穿于整个教学之中。本教材通过“思考题”、“习题”、“复习提示”等多种途径帮助学生建立本课程学习的正确思路，引导他们深入地思考问题，锻炼分析问题的能力。

3. 精选内容缩减篇幅，适应少学时高目标的要求

随着教学改革的不断深入，课程结构不断地调整，在对“电工技术”和“电子技术”内容和要求不断提高的同时，却对它的学时进行了精简和压缩。本教材顺应了这一形势，将“电工技术”和“电子技术”合成“电工电子技术”；对课程的内容在选材上注意整体优化教学内容；精心组织内容的结构，对有些内容进行了有机地整合，缩短了篇幅；叙述中注意掌握内容展开的层次，力求简洁明了。全书约 50 万字，适合 90~120 学时的学习。书中标以“*”号的部分供选学。

本书由北京工商大学叶淬（编写第二、九、十章）担任主编。北京工商大学黎明编写第一、三、四、五章，乔继红编写第六、七章，陈岩编写第八、十一章，肖青编写第十二、十三、十四章。

本书由北京工商大学孙骆生教授审定。孙老师提出了许多宝贵意见，在此表示由衷地感谢。本教材的出版得到了北京理工大学刘蕴陶教授、北京化工大学吕砚山教授的帮助和指正；还得到了廊坊管道局职工学院钟圣域副教授、北京服装学院李慧老师和北京工商大学胡秀芳老师的大力帮助，在此深表谢意。该书的顺利出版受到北京工商大学有关领导及化学工业出版社的大力支持，在此一并表示感谢。

由于编者水平有限，书中缺点和错误难免，恳请广大师生提出批评和指正。

叶 淬
于北京工商大学
2000年4月16日

内 容 提 要

“电工电子技术”共分十四章。前七章为“电工技术”部分，包括直流电路、单相和三相交流电路、电路的瞬变过程、磁路与变压器、异步电动机及控制、可编程序控制器。后七章为“电子技术”部分，包括二极管及整流电路、三极管及放大电路、集成运放、电力电子技术和数字电子技术。

本书是北京市教改立项的研究成果，内容精简、篇幅适中，尤其适合教改形势下学时少目标高的要求。本书配有思考题、复习提示、习题，帮助学生深入思考、融会贯通。

本书可作为高等工科院校的教材使用，也可供有关工程技术人员自学和参考。

目 录

第一章 直流电路	1
第一节 电路的基本概念	1
一、电路的组成和作用	1
二、电路模型和理想的电路元件	1
三、电流和电压的方向	2
四、电气设备的额定值和电路的几种状态	3
五、电功率和电能	4
第二节 电压源、电流源及其等效变换	4
一、电压源	4
二、电流源	5
三、电压源及电流源的等效互换	7
第三节 基尔霍夫定律	8
一、基尔霍夫电流定律 (KCL)	8
二、基尔霍夫电压定律 (KVL)	9
第四节 支路电流法	11
第五节 节点电压法	12
第六节 叠加原理	13
第七节 戴维宁定理	16
第八节 非线性电阻简介	18
第二章 单相交流电路	23
第一节 正弦交流电的基本概念	23
一、周期和频率	23
二、瞬时值、幅值、有效值	23
三、初相位、相位、相位差	24
第二节 正弦量的相量表示法	25
一、正弦量和复数的关系	25
二、正弦量的相量表示法	25
三、正弦量的相量运算	26
第三节 单一参数的正弦交流电路	27
一、电阻元件电路	27
二、电感元件电路	28
三、电容元件电路	29
第四节 正弦交流电路的分析	31
一、欧姆定律的相量形式和阻抗	31
二、阻抗的串并联	31

三、交流电路计算的原则	32
四、电压和电流相位差角 φ	34
第五节 正弦交流电路中的功率	34
一、瞬时功率	34
二、有功功率	35
三、无功功率	35
四、视在功率	36
第六节 提高功率因数	36
一、提高功率因数的意义	37
二、提高功率因数的方法	37
第七节 电路中的串联谐振	39
一、串联谐振条件	39
二、串联谐振的特点	39
三、串联谐振曲线	40
第八节 非正弦周期电流电路	40
一、非正弦周期量的分解	41
二、非正弦周期电流线性电路的分析计算	41
三、非正弦周期电流电路中有效值及平均功率的计算	43
第三章 三相电路	48
第一节 三相电源	48
一、三相电动势的产生	48
二、对称三相电源	49
三、三相电源的连接方式	50
第二节 三相电路的计算	51
一、概述	51
二、三相负载的星形接法	52
三、三相负载的三角形接法	56
第三节 三相负载的功率	58
第四节 安全用电常识	59
一、触电	59
二、电器设备的接地与接零保护	59
三、静电防护	61
四、防火与防爆	62
第四章 电路的瞬变过程	64
第一节 电路瞬变过程的概述	64
一、瞬变过程	64
二、换路定律及瞬变过程的初始值	64
第二节 RC 电路的瞬变过程	66
一、 RC 电路瞬变过程	66
二、瞬变过程的三种类型	68

第三节 一阶电路瞬变过程的一般求解方法	70
第四节 RL 电路的瞬变过程	70
一、 RL 电路的瞬变过程	70
二、 RL 电路的“放电”	73
第五节 微分和积分电路	74
一、微分电路	74
二、积分电路	75
第五章 磁路与变压器	78
第一节 磁路概述	78
一、磁场的基本物理量	78
二、磁路的基本定律	78
三、直流磁路的工作特点	79
四、交流磁路的工作特点	79
第二节 变压器的基本结构	80
一、铁心	80
二、绕组	81
第三节 变压器工作原理	82
一、空载运行	82
二、负载运行	83
三、阻抗变换	84
第四节 变压器绕组的极性	85
一、绕组的极性与正确接线	85
二、同名端的测定方法	86
第五节 三相变压器	86
第六节 变压器的额定值	87
一、额定电压 U_{1N} 和 U_{2N}	87
二、额定电流 I_{1N} 和 I_{2N}	87
三、额定容量 S_N	87
四、额定频率 f_N	87
第七节 自耦变压器	87
第八节 仪用互感器	88
一、电压互感器	88
二、电流互感器	88
第六章 异步电动机及其控制	91
第一节 三相异步电动机的结构	91
一、定子	91
二、转子	91
第二节 三相异步电动机的转动原理	92
一、旋转磁场	92
二、三相异步电动机的转动原理	94

第三节 三相异步电动机的电磁转矩和机械特性	95
一、电磁转矩	95
二、机械特性	96
第四节 三相异步电动机的铭牌和技术数据	98
一、型号	98
二、额定功率 P_N	98
三、额定电压 U_N	98
四、额定电流 I_N	98
五、额定转速 n_N	98
六、绝缘等级	98
七、工作方式	99
八、功率因数	99
九、效率	99
第五节 三相异步电动机的起动和调速	99
一、三相异步电动机的起动	99
二、三相异步电动机的调速	101
第六节 单相异步电动机	102
一、电容分相式异步电动机	102
二、罩极式异步电动机	102
第七节 常用低压控制电器	103
一、闸刀开关	103
二、自动空气断路器	103
三、交流接触器	104
四、按钮	104
五、热继电器	104
六、时间继电器	105
七、行程开关	106
八、熔断器	106
第八节 三相异步电动机的继电器接触器控制	107
一、三相异步电动机的直接起动控制电路	107
二、三相异步电动机的正反转控制	108
三、三相异步电动机的 Y- Δ 起动控制电路	108
四、顺序控制电路	109
五、行程控制电路	109
第七章 可编程序控制器	112
第一节 PC 的特点与基本结构	112
一、PC 的特点	112
二、PC 控制系统的组成	112
三、可编程序控制器的组成	113
第二节 可编程序控制器的工作原理	115

一、输入采样阶段·····	116
二、程序执行阶段·····	116
三、输出刷新阶段·····	116
第三节 PC 的编程语言·····	116
一、两种常用的编程语言·····	116
二、PC 的基本指令·····	117
第四节 可编程序控制器的应用举例·····	120
一、三相异步电动机直接起动控制·····	120
二、异步电动机的正反转控制·····	120
三、异步电动机的Y- Δ 起动控制·····	121
第八章 半导体二极管及整流电路·····	124
第一节 半导体导电特性及PN结·····	124
一、半导体的导电特性·····	124
二、PN结及其单向导电性·····	125
三、半导体二极管·····	126
第二节 二极管整流电路·····	129
一、单相整流电路·····	129
* 二、三相桥式整流电路·····	132
第三节 滤波电路·····	135
一、电容滤波·····	135
二、复式滤波·····	137
第四节 稳压管及稳压电路·····	138
一、稳压管·····	138
二、稳压管的简单稳压电路·····	139
三、其他稳压电路·····	140
第九章 半导体三极管和放大电路·····	145
第一节 半导体三极管·····	145
一、三极管的结构·····	145
二、三极管的电流控制作用·····	146
三、三极管的特性曲线·····	146
四、三极管的主要参数·····	147
第二节 交流放大电路·····	148
一、直流偏置电路·····	148
二、交流通道及放大原理·····	150
第三节 微变等效电路分析法·····	153
一、三极管的微变等效电路·····	153
二、分压式偏置电路的微变等效电路·····	154
三、分压式偏置电路的性能指标·····	154
第四节 射极输出器·····	156
一、电路的构成·····	156

二、电路的分析·····	156
三、射极跟随器的应用·····	158
第五节 放大电路中的负反馈·····	160
一、放大电路中的负反馈·····	160
二、负反馈类型·····	161
三、反馈电路举例分析·····	162
四、负反馈对放大电路工作性能的影响·····	162
第六节 功率放大电路·····	165
一、功率放大电路的概述·····	165
二、互补对称功率放大电路·····	166
三、功率放大电路中的复合管·····	166
第七节 差动放大电路·····	167
一、什么叫零点漂移·····	167
二、差动放大电路抑制零点漂移的原理·····	168
三、差动放大电路的工作原理·····	168
四、差动放大电路的输入输出方式·····	169
第十章 集成运算放大器 ·····	175
第一节 集成运算放大器的概述·····	175
一、集成运放的组成·····	175
二、集成运算放大器的主要参数·····	176
三、理想集成运算放大器·····	177
第二节 集成运算放大器的输入方式·····	178
一、反相输入·····	178
二、同相输入·····	178
三、差动输入·····	179
第三节 集成运算放大器在信号运算方面的应用·····	181
一、比例运算·····	181
二、加法运算·····	181
三、减法运算·····	181
四、积分运算·····	181
五、微分运算·····	182
第四节 集成运放在信号测量方面的应用·····	183
一、电压测量·····	183
二、微电流的测量·····	183
三、测量放大器·····	183
第五节 集成运放的非线性应用·····	184
一、单限电压比较器·····	184
二、迟滞电压比较器·····	185
第六节 集成运放在信号产生方面的应用·····	187
一、正弦信号发生器·····	187

二、方波信号发生器	188
三、三角波信号发生器	189
第十一章 电力电子技术及应用	195
第一节 晶闸管的工作原理及参数	195
一、普通晶闸管的结构与工作原理	195
二、普通晶闸管的特性与参数	196
三、普通晶闸管的触发电路	198
四、可关断晶闸管 (GTO)	198
第二节 晶闸管的应用举例	199
一、相控整流电路	199
二、单相桥式逆变器	200
* 第三节 新型电力电子开关器件	201
一、功率 MOSFET	201
二、绝缘栅双极晶体管	203
第十二章 逻辑门和常用组合逻辑电路	205
第一节 数字电路的基本单元——逻辑门	205
一、与运算和与门	205
二、或运算和或门	205
三、非运算和非门	205
四、其他逻辑运算和复合门	206
第二节 集成门电路	207
一、TTL 与非门电路	207
二、三态输出门电路	209
三、CMOS 集成逻辑门	209
第三节 逻辑代数及其化简	211
一、逻辑代数的基本定律	211
二、利用布尔代数化简逻辑函数	212
第四节 组合逻辑	214
一、组合逻辑的分析	214
二、组合逻辑的设计	214
三、常用组合逻辑电路	216
第十三章 触发器、时序电路及其他集成器件	227
第一节 双稳态触发器	227
一、双稳态触发器的基本性能	227
二、基本 RS 触发器	227
三、钟控 RS 触发器	228
四、边沿触发器	229
五、触发器逻辑功能的转换	230
第二节 寄存器与移位寄存器	231
一、寄存器	231

二、移位寄存器·····	231
第三节 计数器·····	232
一、同步计数器·····	232
二、中规模集成计数器·····	234
第四节 集成 555 定时器的原理及应用·····	237
一、集成 555 定时器·····	237
二、用 555 定时器构成施密特触发器·····	238
三、用 555 定时器构成单稳态触发器·····	239
四、用 555 定时器构成多谐振荡器·····	240
五、555 定时器的应用举例·····	241
* 第五节 可编程逻辑器件 (PLD)·····	242
一、概述·····	242
二、PLD 的两种基本类型·····	243
三、PLD 器件的应用举例·····	246
第十四章 数模、模数转换电路·····	254
第一节 数模转换电路·····	254
一、DAC 的电路形式和工作原理·····	254
二、集成 DAC 及主要参数·····	255
第二节 模数转换电路·····	256
一、集成 ADC 的电路形式和工作原理·····	257
二、逐次渐近型 A/D 转换器·····	257
三、集成 ADC 及主要参数·····	258
附录·····	260
部分习题答案·····	265
主要参考文献·····	270

第一章 直流电路

本章主要介绍电路的基本概念、电压源与电流源及其等效变换、基尔霍夫定律、支路法、节点电压法、叠加原理、戴维宁定理。

直流电路中的很多概念、定理及解题方法也适用于正弦交流电路及其他各种线性电路。故本章的内容是学习电工学课程的重要基础。

第一节 电路的基本概念

一、电路的组成和作用

电路是为了实现某种功能，由各种电气设备和器件按一定方式联接为电流提供通路的整体。为不同目的而设计的实际电路种类繁多，但其作用主要可以分为两大类：其一为电能的传输和转换，如发电、供电系统、电力拖动、电气照明等；其二为传递和处理信号，如各种电信号的产生、放大、整形、数字信号的运算、存储等。一般而言，第二类电路中也伴随着能量的传输和转换，但数量及能耗相对较小。

二、电路模型和理想的电路元件

功能各异的实际电路，需要的元件及器件各不相同。电源、变压器、电动机、电灯、半导体器件、电阻、电感、电容等均为电路中常见的器件，如图 1-1 (a) 所示手电筒电路和图 1-1 (b) 所示 H 型日光灯电路。对于某一具体器件来说，其电磁性质可能较为复杂。就以最简单的白炽灯为例，它通电后能将电能转化为光能和热能，这种消耗电能的性质可看作具有电阻的性质，与此同时由于有电流的通过，在其周围还会产生电场和磁场，储存电场能和磁场能，所以还具有电容和电感的性质，但在所有这些性质中占主导地位的是电阻性质，其他性质对电路研究影响甚微，由此可认为白炽灯是一电阻元件。

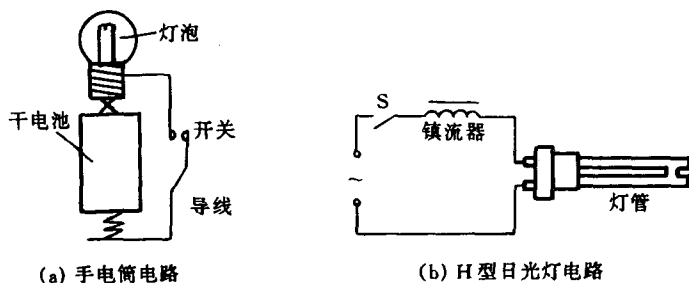


图 1-1 电路举例

在实际电路分析中必须抓住其主要电磁特性，忽略其次要因素，这样才能避免将问题复杂化，使电路分析切实可行。首先需将实际元件理想化（或称模型化），例如将白炽灯看作理想电阻，将含有内阻的干电池看作由理想的直流电压源和一理想电阻 R_0 的串联，将低频下的电感看作理想电感与电阻的串联。将实际电路理想化后用一些理想电路元件等效替代各

实际电路元件，由此而产生的电路称为**电路模型**。对图 1-1 所示电路，其电路模型如图 1-2 所示。今后所画的电路图都是电路模型。

后面所讲的电路元件均指理想电路元件，简称**电路元件**。常用的电路元件有电压源、电流源、电阻元件、电感元件和电容元件。前两种元件是电路中提供电能的元件，故称为**有源元件**；后三种均不产生电能，故称为**无源元件**。无源元件中又分为**耗能元件**和**储能元件**两类。前者如电阻器，后者如电感元件和电容元件，这两种元件分别可将电能转化为磁场能和电场能储存起来。常用电路元件符号如图 1-3 所示。在直流电路中，电路达稳态时，电感元件上的感应电动势为零，电容元件的充电电流为零，因此只涉及电阻元件。

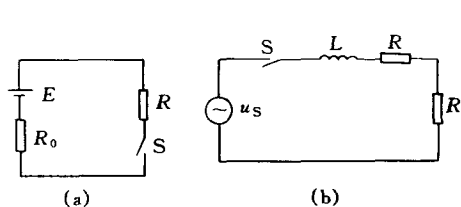


图 1-2 图 1-1 的电路模型

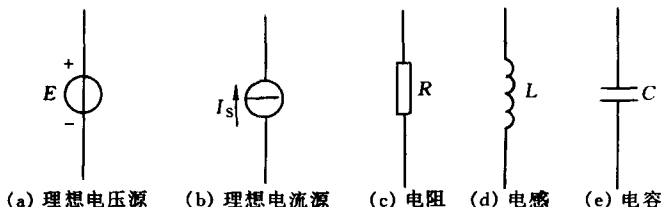


图 1-3 理想电路元件

三、电流和电压的方向

1. 电流

习惯上规定以正电荷移动的方向，即负电荷（电子）移动的相反方向为电流的方向（实际方向），对于比较复杂的直流电路，往往事先不能确定电流的实际方向；对于交流电，其电流的实际方向是随时间交变的，也无法用一个箭标来表示其实际方向。为分析方便，总是任意选择一个方向作为电流的**参考方向**（在电路图中用箭标表示）。注意，电流的参考方向是人为任意规定的，在分析和计算电路时，参考方向一旦选定，就不再更动。而参考方向有可能与实际方向一致，也可能与实际方向相反，于是今后电流用代数量表示。若电流的实际方向和所选的电流参考方向一致，则此电流为正值；若与所选电流参考方向相反，则电流为负值。

例如在图 1-4 所示导体 ab 中，每秒钟有 1C（库仑）正电荷由 a 移到 b，如选实箭标所示方向为参考方向，则 $I = 1\text{A}$ ；如选定虚箭标所示方向为参考方向，则 $I' = -1\text{A}$ 。本书中电路图上所标的电流方向均为参考方向。根据电流 I 的参考方向及其数值的正负可确定电流的实际方向。如果电路中没有给定电流的参考方向，同学们在解题时可自行任意给定电流参考方向，并标明在电路图中。只有在标明电流 I 的参考方向后，电流 I 的代数值才有意义。

2. 电压

习惯上规定电压的实际方向是从高电位点指向低电位点，是电位降的方向。

同电流一样，在分析计算电路时，通常人为地对电压规定一方向，这种人为规定的电压方向称为电压**参考方向**。其方向可以是任意的，因此参考方向可能与实际方向相同，也可能相反。当实际方向与参考方向一致时，电压值为正，当实际方向与参考方向相反时，其值为负。只有在标明电压参考方向的前提下才可能根据电压值的正负确定电压的实际方向。

在电路中，电压的参考方向通常用正（+）、负（-）极性来表示，称为参考极性。代表着参考方向的箭头从正（+）极性端指向负（-）极性端。例如图 1-5 所示，电压的参考极性为 B（+），A（-）， $U = 3\text{V}$ 说明电压的实际方向与参考方向一致，大小为 3V；如

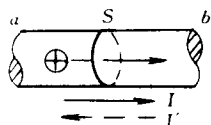


图 1-4 导体中的电流

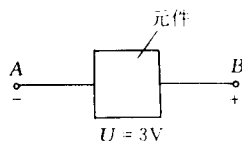


图 1-5 电压及其参考方向

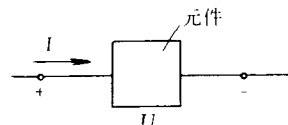


图 1-6 电压和电流的关联参考方向

$U = -3\text{V}$ 则说明电压的实际方向与参考方向相反（即实际是 A 为 +，B 为 -），大小为 3V 。

此外电压的参考方向还可以用双下标表示，如 U_{AB} 表示 A 和 B 之间的电压的参考方向由 A 指向 B。

3. 关联参考方向

对一段电路或一个元件而言，其电压的参考方向和电流的参考方向可以各自独立地加以任意规定。而对电源以外的电路，一般电流从高电位流向低电位。

如果在规定电压、电流参考方向时遵循这一习惯，规定电流的参考方向从标以电压“+”极性的一端流向标以“-”极性的一端，即电流的参考方向与电压的参考方向一致，则把电流和电压的这种参考方向称为**关联参考方向**（如图 1-6 所示），否则称为**非关联参考方向**（如图 1-7 所示）。在关联参考方向下，欧姆定律可写为 $U = RI$ ；而在非关联参考方向下欧姆定律应写为 $U = -RI$ 。

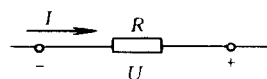


图 1-7 电压和电流的非关联参考方向

四、电气设备的额定值和电路的几种状态

1. 额定值

接在电路中的电气设备及元件，其工作电流、电压和功率等都有一个规定的限额值，这个数值称为**额定值**。按照额定值使用电气设备及元件可以保证安全可靠，充分发挥其效能，并且保证正常的使用寿命。额定值通常用 I_N 、 U_N 、 P_N 等表示，这些额定值常标记在设备的铭牌上。电气设备和器件应尽量工作在额定状态，这种状态称为**满载**。当电流和功率低于额定值的工作状态叫**轻载**；高于额定值的工作状态叫**过载**。

2. 有载工作状态

将图 1-8 所示电路中的开关 S 闭合，电源与负载接通，电路中有电流流过，这种工作状态叫**有载工作状态**。电流大小为

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

R 愈小， I 愈大。值得注意的是，负载大小指的是电流 I 的大小，并不是电阻的大小。如当 $I < I_N$ 时为轻载， $I > I_N$ 时为过载。

3. 开路

当图 1-8 所示电路中的开关 S 断开时，电路处于开路状态，电路中无电流流过 $I = 0$ 。这种状态又叫**空载**。开路时可认为外电路电阻为无穷大。

4. 短路状态

在图 1-9 中，如将 cd 间用一导线连接，因导线电阻极小，可忽略不计，所以 cd 等电位。电流 I 全部从导线流过 I_R 为 0，这种情况称为 cd 处短路。此时 $I = \frac{E}{R_0}$ ，由于电源内阻 R_0 很小，故 I 很大，这会引起电源或导线绝缘的损坏。