

普通高等教育



“十五”

PUTONG
GAODENG JIAOYU
SHIWU
GUIHUA JIAOCAI

规划教材

电工电子技术基础

华红艳 主编



中国电力出版社

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

普通高等教育



“十五”

规划教材

PUTONG

GAODENG JIAOYU

SHIWU

GUIHUA JIAOCAI

电工电子技术基础

主 编 华红艳
编 写 陈 宇 程 琤
王 泳 刘兆瑜
常文平 张海军
许春香
主 审 嵇立成



中国电力出版社

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

内 容 简 介

本书包含电工技术基础与电子技术基础。

电工电子技术是工科的技术基础课。本教材力求基本理论完整、信息量大、实践性强,以提高“电工技术”和“电子技术”课程内容的层次,扩大知识范围。

全书共分十六章,内容包括电工基本理论、电机及其控制、PLC 技术、模拟电子技术、数字电子技术、电力电子技术及家用电器等,基本上每章均有练习与思考、习题。在“电工技术”部分,主要增加了 PLC 控制技术的内容,以便让学生了解电工技术最新的发展和应用。增加家用电器内容的目的是为了扩大学生的视野,使学生认识、体会到电工电子技术应用广泛,在我们日常生活中就有许许多多的应用实例。

本书适用于工科非电类专业本科电工电子课程教学,也可作为电气工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电工电子技术基础/华红艳主编. —北京:中国电力出版社, 2005

普通高等教育“十五”规划教材

ISBN 7-5083-1696-7

I. 电... II. 华... III. ①电工技术-高等学校-教材②电子技术-高等学校-教材 IV. ①TM②TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 009692 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

*

2005 年 3 月第一版 2005 年 3 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 21.25 印张 491 千字

印数 0001—4000 册 定价 33.00 元。

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)

序

由中国电力教育协会组织的普通高等教育“十五”规划教材，经过各方的努力与协作，现在陆续出版发行了。这些教材既是有关高等院校教学改革成果的体现，也是各位专家教授丰富的教学经验的结晶。这些教材的出版，必将对培养和造就我国 21 世纪高级专门人才发挥十分重要的作用。

自 1978 年以来，原水利电力部、原能源部、原电力工业部相继规划了一至四轮统编教材，共计出版了各类教材 1000 余种。这些教材在改革开放以来的社会主义经济建设中，为深化教育教学改革，全面推进素质教育，为培养一批批优秀的专业人才，提供了重要保证。原全国高等学校电力、热动、水电类专业教学指导委员会在此间的教材建设工作中，发挥了极其重要的历史性作用。

特别需要指出的是，“九五”期间出版的很多高等学校教材，经过多年的教学实践检验，现在已经成为广泛使用的精品教材。这批教材的出版，对于高等教育教材建设起到了很好的指导和推动作用。同时，我们也应该看到，现用教材中有不少内容陈旧，未能反映当前科技发展的最新成果，不能满足按新的专业目录修订的教学计划和课程设置的需要，而且一些课程的教材可供选择的品种太少。此外，随着电力体制的改革和电力工业的快速发展，对于高级专门人才的需求格局和素质要求也发生了很大变化，新的学科门类也在不断发展。所有这些，都要求我们的高等教育教材建设必须与时俱进，开拓创新，要求我们尽快出版一批内容新、体系新、方法新、手段新，在内容质量上、出版质量上有突破的高水平教材。

根据教育部《关于“十五”期间普通高等教育教材建设与改革的意见》的精神，“十五”期间普通高等教育教材建设的工作任务就是通过多层次的教材建设，逐步建立起多学科、多类型、多层次、多品种系列配套的教材体系。为此，中国电力教育协会在充分发挥各有关高校学科优势的基础上，组织制订了反映电力行业特点的“十五”教材规划。“十五”规划教材包括修订教材和新编教材。对于原能源部、电力工业部组织原全国高等学校电力、热动、水电类专业教学指导委员会编写出版的第一至四轮全国统编教材、“九五”国家重点教材和其他已出版的各类教材，根据教学需要进行修订。对于新编教材，要求体现电力及相关行业发展对人才素质的要求，反映相关专业科技发展的最新成就和教学内容、课程体系的改革成果，在教材内容和编写体系的选择上不仅要有本学科（专业）的特色，而且注意体现素质教育和创新能力与实践能力的培养，为学生知识、能力、素质协调发展创造条件。考虑到各校办学特色和培养目标不同，同一门课程可以有多本教材供选择使用。上述教材经中国电力教育协会电气工程学科教学委员会、能源动力工程学科教学委员会、电力经济管理学科教学委员会的有关专家评审，推

荐作为高等学校教材。

在“十五”教材规划的组织实施过程中，得到了教育部、国家经贸委、国家电力公司、中国电力企业联合会、有关高等院校和广大教师的大力支持，在此一并表示衷心的感谢。

教材建设是一项长期而艰巨的任务，不可能一蹴而就，需要不断完善。因此，在教材的使用过程中，请大家随时提出宝贵的意见和建议，以便今后修订或增补。（联系方式：100761 北京市宣武区白广路二条1号综合楼9层 中国电力教育协会教材建设办公室 010-63416237）

中国电力教育协会

二〇〇二年八月

前 言

本书是根据中国电力教育协会关于普通高等教育“十五”规划教材建设的精神和教学需要编写的，它可以作为工科高等院校非电类专业的教材，也可供有关技术人员参考。

电工电子技术是工科的技术基础课。本教材力求基本理论完整、信息量大、实践性强，以提高“电工技术”和“电子技术”课程内容的层次，扩大知识范围。在“电工技术”部分，主要增加了 PLC 控制技术的内容，以便让学生了解电工技术最新的发展和应用。增加家用电器内容的目的是为了扩大学生的视野，使学生认识、体会到电工电子技术应用广泛，在我们日常生活中就有许许多多的应用实例。本教材通过思考题、练习题，帮助学生建立该课程学习的正确思路，引导他们深入地思考问题，锻炼其分析问题的能力。

本书由郑州航空工业管理学院华红艳副教授担任主编，负责全书的组织和定稿，并编写了第七、八章。参加编写的还有郑州航空工业管理学院陈宇（第一、四章），程琤（第二、三章），刘兆瑜（第九、十章），张海军（第十三、十六章）；平顶山学院王泳（第五、六章）；河南机电高等专科学校常文平（第十、第十一、十二章）；中州大学许春香（第十四、十五章）。郑州航空工业管理学院嵇立成副教授为本书主审。

在本书的编写过程中，得到郑州航空工业管理学院、平顶山学院、河南机电高等专科学校、中州大学有关领导和教师的支持和帮助，在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中错误和不妥之处在所难免，殷切希望使用本教材的师生及其他读者给予批评指正。

编 者

2004.12

目 录

序	
前言	
第一章 直流电路	1
1.1 电路的基本概念	1
1.2 电压源、电流源及其等效变换	7
1.3 基尔霍夫定律	10
1.4 支路电流法	13
1.5 节点电压法	14
1.6 叠加原理	15
1.7 戴维南定理	17
1.8 非线性电阻简介	19
第二章 交流电路	22
2.1 正弦交流电路的基本概念	22
2.2 正弦交流电的相量表示法	25
2.3 单一参数的正弦交流电路	28
2.4 多参数正弦交流电路	33
2.5 交流电路的功率	40
第三章 三相交流电路	46
3.1 三相电源	46
3.2 三相负载	49
第四章 电路的瞬变过程	56
4.1 换路定律和初始值的确定	56
4.2 RC 电路的响应	58
4.3 RL 电路响应	62
4.4 一阶线性电路暂态分析的三要素法	64
4.5 微分电路与积分电路	66
第五章 磁路与变压器	69
5.1 磁路概述	69
5.2 变压器的基本结构	71
5.3 变压器的工作原理	72
5.4 变压器的运行特性	76
5.5 三相变压器	77
5.6 变压器的额定值	79
5.7 特殊变压器	81

第六章 异步电动机及其控制	85
6.1 三相异步电动机的结构	85
6.2 三相异步电动机的转动原理	86
6.3 三相异步电动机的电磁转矩与机械特性	91
6.4 三相异步电动机的铭牌和技术数据	94
6.5 三相异步电动机的启动和调速	95
6.6 单相异步电动机	100
6.7 常用低压控制电器	102
6.8 三相异步电动机的继电器控制	105
第七章 可编程序控制器	112
7.1 可编程序控制器组成及工作原理	112
7.2 可编程序控制器的编程	117
7.3 可编程序控制器应用举例	129
第八章 供电与安全用电	137
8.1 电力系统概述	137
8.2 工业供电系统	137
8.3 安全用电技术	139
8.4 雷电及其防护	146
第九章 半导体二极管和直流稳压电源	147
9.1 半导体的导电特性	147
9.2 PN 结和半导体二极管	149
9.3 二极管整流电路	153
9.4 滤波电路	155
9.5 稳压管和稳压电路	158
第十章 半导体三极管和放大电路	163
10.1 半导体三极管	163
10.2 基本放大电路	169
10.3 分压式偏置放大电路	179
10.4 射极输出器	181
10.5 多级放大电路及其级间耦合方式	184
10.6 放大电路中的负反馈	187
10.7 差动放大电路	193
10.8 互补对称功率放大电路	197
10.9 场效应管及其放大电路	201
第十一章 集成运算放大器	207
11.1 集成运算放大器的概述	207
11.2 集成运算放大器在信号运算方面的应用	209
11.3 集成运算放大器在信号测量方面的应用	214
11.4 集成运算放大器的非线性应用	215

11.5	非正弦信号产生电路	217
11.6	正弦信号产生电路	219
第十二章	电力电子技术及应用	225
12.1	晶闸管的工作原理及参数	225
12.2	单相可控整流电路	228
12.3	新型电力电子器件	232
第十三章	组合逻辑电路	235
13.1	集成基本门电路	235
13.2	集成复合门电路	238
13.3	组合逻辑电路的分析	241
13.4	组合逻辑电路的设计	244
13.5	编码器	247
13.6	译码器	248
13.7	数据分配器和数据选择器	251
第十四章	触发器和时序逻辑电路	255
14.1	触发器	255
14.2	时序逻辑电路分析和设计	273
14.3	计数器	280
14.4	寄存器	291
14.5	集成 555 定时器	294
第十五章	数/模、模/数转换电路	307
15.1	概述	307
15.2	D/A 转换器	308
15.3	A/D 转换器	313
第十六章	家用电器	321
16.1	电熨斗	321
16.2	电饭锅	322
16.3	微波炉	324
16.4	电冰箱	326
16.5	空调器	327
参考文献		329

第一章 直流电路

本章是学习后面各章的基础。电路的基本理论与基本分析方法对于分析电机电路、控制测量电路及电子电路具有普遍意义。

本章着重讨论电流和电压的参考方向,电源的三种工作状态,电路的两种约束,两种电源及其互换以及支路电流法、节点电压法、叠加原理、戴维南定理等电路的基本概念及基本分析方法。在讲述这些内容时,力求避免与中学物理的内容重复,即使有些重复,也是从工程技术角度考虑,为了加强理论的系统性和满足电工技术分析的必要性出发的。

1.1 电路的基本概念

1.1.1 电路的组成及作用

电路是电流的通路,它是由各种元器件或设备为完成某种功能连接而成的。实际生活中我们最常见的电路有手电筒电路、照明电路、收音机电路、电视机电路等等。尽管电路的结构形式和所完成的功能不尽相同,但归纳起来由三部分组成:电源、负载和中间环节,如图1-1所示。

(1) 电源是将其他形式的能量转换为电能的装置,例如蓄电池是将化学能转换为电能,发电机是将机械能转换为电能等。发电机和蓄电池就是电源。



图1-1 电路组成示意图

(2) 负载是将电能转换为其他形式能量的装置,例如电动机将电能转换为机械能,电灯将电能转换为光能和热能,电动机、电灯等用电装置就是负载。通常所说的负载的大小是指负载电流的大小或负载消耗功率的大小,而不是指负载电阻阻值的大小。

(3) 中间环节是电源和负载之间的部分,包括输电导线、变压器、控制和保护电器等,它们的作用就是实现电能的输送变换、控制及信号的处理等。

电路的作用可以归纳为两个方面:在电力系统电路中,主要是实现电能的生产、传输、控制、转换和分配;而在电子线路中则主要是对信号的产生、传递、处理和接收。

1.1.2 电路模型

1. 理想的电路元件

实际电路中的元器件品种繁多,有的元器件主要是消耗电能,如各种电阻器、电灯、电烙铁等;有的元器件主要是储存磁场能量,如各种电感线圈;有的元器件主要是储存电场能量,如各种类型电容器;有的元器件主要是提供电能,如电池、发电机等。

对某一个元器件而言,其电磁性能却并不是单一的。例如,实验室用的滑线电阻器,它

由导线绕制而成,主要具有消耗电能的性质,即具有电阻的性质;其次由于电压和电流会产生电场和磁场,它又具有储存电场能量和磁场能量的性质,即具有电容和电感的性质。上述性质总是交织在一起的,当电压、电流的性质不同时,其表现程度也不一样。

为了便于对电路进行分析和计算,将实际元器件近似化、理想化,使每一种元器件只集中表现一种主要的电或磁的性能,这种理想化元器件就是实际元器件的模型。理想化元器件简称电路元件。

实际元器件可用一种或几种电路元件的组合来近似地表示。例如,上面提到的滑线电阻器可用电阻元件来表示;若考虑磁场的作用,则可用电阻元件和电感元件的组合来表示。同时,对电磁性能相近的元器件,也可用同一种电路元件近似地表示。例如,各种电阻器、电灯、电烙铁等,都可用电阻元件来近似表示。

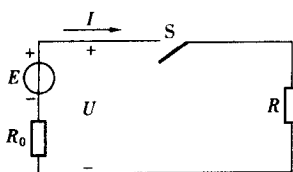


图 1-2 纯阻性电路模型

2. 电路模型

由理想化电路元器件构成的电路,称为电路模型,简称电路。理想电路元件用国标规定的图形符号及文字符号表示。今后本书中未加特殊说明时,我们所研究的电路均为电路模型。例如常用的手电筒,其实际电路有干电池、电珠、开关和筒体,电路模型如图 1-2 所示。

电珠是电阻元件,其参数为电阻 R ;干电池是电源元件,其参数为电动势和内阻 R_0 ;筒体(包括开关)是连接干电池与电珠的中间环节,其电阻忽略不计,认为是一无电阻的理想导体。

1.1.3 电流电压的参考方向

在图 1-2 中, E 是电源的电动势, R_0 是电源的内阻, R 是负载电阻, U 是电源的端电压,当开关 S 合上时,则有电流 I ,图 1-2 中标出了 I 、 U 、 E 的实际方向或极性。 I 的实际方向规定为正电荷运动的方向或负电荷运动的反方向。在电源内部是从低电位端(负极)流向高电位端(正极),在外电路则是由高电位流向低电位。电流一般用箭头标出,箭头方向即电流方向,或用双下标标出,例如 I_{ab} 表示电流由 a 流向 b 。电动势用极性标出,正极用“+”,负极用“-”,也可用箭头标出,从负极指向正极。电压可以有三种表示方法,用“+”和“-”极性标出,“+”表示高电位端,“-”表示低电位端;用箭头标出,从高电位端指向低电位端;用双下标标出,表示两点间的电压,例如 U_{ab} 表示 a 、 b 两点间的电压。在分析电路图时,必须先标出电流、电压的方向,才能正确列出电路的方程。

但是,在分析较复杂的直流电路时,往往事先难以确定电流实际方向,对交流而言,其方向随时而变,电路图上也无法标出它们的实际方向。为此,我们在分析和计算电路时,可以预先任意选定一方向作为电流的参考方向,或称正方向。列方程时按电流正方向来列,计算结果为正表示正方向与实际方向一致,为负则表示相反。正方向原则上是任意假定的,但如果能够确定实际方向,则参考方向尽量与实际方向选为一致。

电压的正方向或极性,原则上也可任意假设,但通常将电流和电压的正方向取为一致,即电流从电压的“+”极性端流进,从“-”极性端流出。

本书电路图上标出的电流、电动势和电压的方向,都是指正方向。

电流的单位是安培 (A), 计量微小电流时用毫安 (mA) 或微安 (μA)。 $1\text{A} = 10^3\text{mA}$, $1\text{mA} = 10^3\mu\text{A}$, 计量大电流可以用千安 (kA)。

电压和电动势的单位都是伏特 (V), 计量高电压可以用千伏 (kV), $1\text{kV} = 10^3\text{V}$, 计量较小电压可以用毫伏 (mV) 或微伏 (μV)。

1.1.4 电路的工作状态

电路有通路、开路、短路三种不同的状态。

1. 通路

通路就是电路构成闭合回路。在图 1-2 中, 合上开关 S, 就将电源与负载接通, 构成了通路, 此时回路中电流为

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

考虑到 $U = RI$, 式 (1-1) 可写成

$$U = E - R_0 I \quad (1-2)$$

式 (1-1)、式 (1-2) 两边同乘以 I , 得功率平衡式

$$UI = EI - I^2 R_0 \quad (1-3)$$

$$P = P_E - \Delta P \quad (1-4)$$

式中: $P = UI$ 是负载取用的功率, 也是电源输出的功率; $P_E = EI$ 是电源产生的功率; $\Delta P = I^2 R_0$ 是内阻上消耗的功率。功率的单位是瓦特 (W) 或千瓦 (kW)。

可见, 要想电源输出大的功率, 就必须有大的电流和高的电压, 而实际上任何一个电源的电流和电压都有一定的限制, 而作为负载的任何电气设备, 对其所施加的电流或电压也有一个限制, 即对负载的功率有一个限制, 这个限制就是额定电流、额定电压和额定功率, 分别用 I_N 、 U_N 、 P_N 表示。额定负载是指对负载施加额定电流或额定电压, 电路允许在额定负载下长期工作。额定负载也叫满载。各种电气设备铭牌上标出的数值都是额定值。负载电流小于额定电流称为轻载或欠载, 轻载可以长期工作, 但很不经济。负载电流大于额定电流称为过载, 在一定条件下短时过载是允许的, 长期过载是绝对不允许的。

2. 开路

开路就是电路未构成闭合回路, 可以有两种情况: 一是对电源开路, 如图 1-2 中 S 未合上, 此时电路中电流为零, 电源的端电压 U 就等于电源的电动势, 电路不消耗功率; 二是局部电路被断开。电源开路亦称电源空载, 空载时的端电压也称开路电压, 常用 U_{oc} 表示。在图 1-2 中, $U_{oc} = E$ 。开路可以因维修需要而人为将部分或全部电路与电源断开, 例如在图 1-2 中将 S

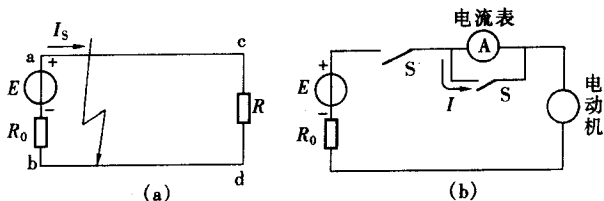


图 1-3 电源短路及局部短路示意图

(a) 电源短路; (b) 局部短路

打开,也可以是因故障造成部分或全部电路与电源断开,例如电流过大造成熔断器熔断。因故障造成的开路则要尽快排除故障,将断路处复原。

3. 短路

短路分为电源短路和局部短路。电源短路是指电源未经负载而直接由导线接通成闭合回路,如图 1-3 (a) 所示。图中折线处为短路点。电源短路时短路点电阻等于零,闭合电路中只有很小的电源内阻 R_0 , 此时电流很大,称为短路电流 I_S , 在数值上等于电动势除以 R_0 , 电源被短路是一种严重故障,必须尽力避免。电路局部短路多数也是故障,但有时也有因实际需要而人为短路的,例如在监测电动机工作电流的电流表两端并联一个动合开关或动合触点,启动时短路电流表,以防冲击电流损坏电流表,如图 1-3 (b) 所示。

【例 1-1】 一个额定值为 4W 的 100Ω 线绕电阻在使用时,电流和电压值不得超过多少?

解 根据功率和电阻值求出额定电流

$$I_N = \sqrt{\frac{P}{R}} = \sqrt{\frac{4}{100}} = 0.2\text{A}$$

在使用时电压不得超过

$$U = I_N R = 0.2 \times 100 = 20\text{V}$$

【例 1-2】 已知某电源开路电压 $U_0 = 24\text{V}$, 短路电流 $I_S = 50\text{A}$, 求该电源的电动势 E 和内阻 R_0

解 电源的电动势

$$E = U_0 = 24\text{V}$$

电源的内阻

$$R_0 = \frac{E}{I_S} = \frac{24}{50} = 0.48\Omega$$

1.1.5 电功率和电能

1. 电能 W

在一段时间内电场力所做的功称电能。用符号 W 表示,单位为焦耳 (J)。

如图 1-4 (a) 所示, u 、 i 参考方向相同,元件的端电压为 u ,若在 dt 时间内,由电压的正极移到负极的电荷量为 dq ,则电场力移动正电荷所作的功为

$$dw = udq$$

上式表示,在 dt 时间内元件吸收或元件发出的电能为 dw 。

若电场力将正电荷由高电位移到低电位,电场力移动正电荷作功,元件吸收(取用)电能;若外力克服电场力作功,将正电荷由低电位移到高电位,元件发出(供应)电能。

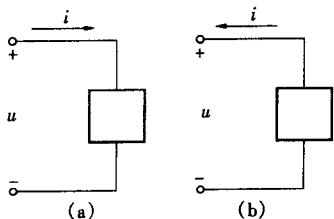


图 1-4

(a) 关联参考方向; (b) 非关联参考方向

2. 电功率

单位时间内电场力所做的功就是电功率,简称功率。用符号 P 或 p 表示。在国际单位制中,功率单位为瓦特 (W),大功率用千瓦 (kW),功率是电路分析中常用的复合物理量。

功率的计算要与 u 、 i 的参考方向相配合,关联参考方向如图 1-4 (a) 所示, $p = ui$ 或 $P = UI$; 非关联参考方向如图 1-4 (b) 所示 $p = -ui$ 或 $P = -UI$

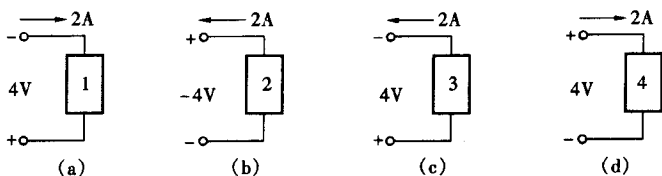


图 1-5 [例 1-3] 的电路

根据功率值的正负,判断元件的工作状态。当参考方向为关联参考方向时,用公式计算 P 值为正,即 $P > 0$,则说明该元件吸收(消耗)功率,是负载。若计算值为负,即 $P < 0$,则说明该元件发出(提供)功率,是电源。

【例 1-3】 试判断图 1-5 所示四个元件的工作状态,说明它们是电源(发出功率)还是负载(吸收功率)。

解 (1) 根据 UI 参考方向确定 P 的计算公式。

(2) 根据 P 值正负判断其工作状态:

1) $P = -UI = -(4 \times 2) = -8\text{W} < 0$, 负载发出功率;

2) $P = -UI = -(-4 \times 2) = 8\text{W} > 0$, 负载吸收功率;

3) $P = UI = 4 \times 2 = 8\text{W} > 0$, 负载吸收功率;

4) $P = UI = 4 \times 2 = 8\text{W} > 0$, 负载吸收功率。

电路中任一瞬间,各元件吸收功率之和等于各元件发出功率之和,这一规律称为电路的功率平衡。功率平衡关系可用公式表示为

$$P_{(\text{吸收})} + P_{(\text{发出})} = 0$$

利用功率平衡关系式,可验证电路计算结果。

3. 额定值

为使电气设备安全、经济运行和保证一定的使用期限,生产部门要对产品的电压、电流、功率等值的使用范围做一定的限制,额定值就是制造厂对产品使用参数的规定。

额定值通常标注在设备的铭牌上(机壳上的一块小金属牌),所以额定值又称铭牌数据。

额定值一般用带下标 N 的符号表示,额定电压 U_N 、额定电流 I_N 、额定功率 P_N 。如灯泡的铭牌数据为 220V/60W,说明额定值 $U_N = 220\text{V}$, $P_N = 60\text{W}$,使用时应将其接在 220V 电源上,此时灯泡消耗的功率是 60W;若将其接在 110V 电源上,灯泡就很暗;若接在 380V 电源上,灯泡就会损坏。一般情况下应按铭牌数据的规定范围使用设备。

1.1.6 电路中的电位计算

电位在分析电子电路中是一个非常重要的概念。由前述已知,两点间的电压就是两点的电位差,但它只能说明两点电位相对高低及其差值,而不能说明两点电位的具体大小。如图 1-6 (a) 中,我们极易算出

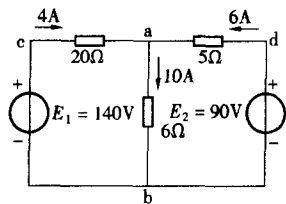
$$U_{ab} = 6 \times 10 = 60V$$

$$U_{cb} = 140V$$

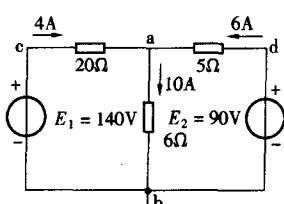
$$U_{ca} = 4 \times 20 = 80V$$

$$U_{db} = 90V$$

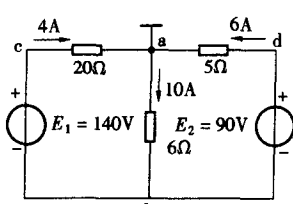
$$U_{da} = 6 \times 5 = 30V$$



(a)



(b)



(c)

图 1-6 电位举例的电路图

但不能算出某点的具体电位值。为了计算电位，必须先选定电路中某一点作为参考点，该点的电位通常为零，而各点电位均与它比较，比它高的为正，比它低的为负。参考点在电路图中标以“接地”符号，此处的“接地”并非与大地直接相接，一般是指若干条支路的公共接点。

在图 1-6 (b) 中，设 b 点为参考点，即 $V_b = 0$ 则可算出各点电位为

$$V_a = U_{ab} = +60V$$

$$V_c = U_{cb} = +140V$$

$$V_d = U_{db} = +90V$$

在图 1-6 (c) 中， $V_a = 0$ ，故

$$V_b = U_{ba} = -10 \times 6 = -60V$$

$$V_c = U_{ca} = 4 \times 20 = 80V$$

$$V_d = U_{da} = 6 \times 5 = 30V$$

在计算电位时还可通过不同的路径，例如在图 1-6 (b) 计算 V_a 可以通过路径 abc $V_a = U_{ac} + U_{cb} = -4 \times 20 + 140 = +60V$ 与走路径 ab 算出的结果是一样的

由以上分析计算可得出如下结论：

- (1) 电路中某点的电位等于该点与参考点间的电压。
- (2) 电位与参考点的选择有关，而与所走路径无关，参考点选择不同，各点电位就不同。
- (3) 两点间的电压与参考点选择无关。

图 1-6 (b) 的电路，习惯上不画出电源，各端标以电位值，如图 1-7 所示。

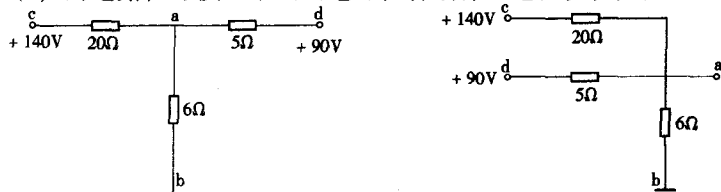


图 1-7 图 1-6 (b) 的习惯画法

练习与思考

1-1-1 在图 1-8 (a) 中, $U_{ab} = -3V$, 试问 a, b 两点哪点电位高?

1-1-2 在图 1-8 (b) 中, $U_1 = -4V$, $U_2 = 3V$, 试问 U_{ab} 等于多少伏?

1-1-3 U_{ab} 是否表示 a 端的电位高于 b 端的电位?

1-1-4 有一台发电机, 铭牌上标注数据 40kW、230V、174A 它们的含义是什么? 请说出发电机空载、满载、欠载和过载运行时负载电流与额定电流的关系。

1-1-5 判断图 1-9 所示的四个二端网络的工作状态, 说明它们是发出功率 (是电源) 还是吸收功率 (是负载)。

1-1-6 电路如图 1-10 (a) 所示, $I_{ab} = 2A$, 求该元件的功率。图 1-10 (b) 中, 如元件发出功率为 5W, 试求电流 I_{ab} 。

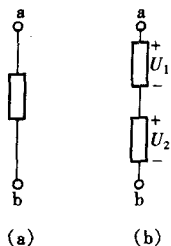


图 1-8 练习与思考 1-1-1 的图

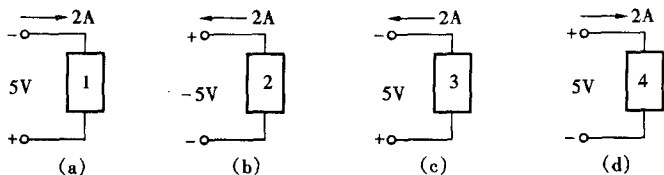


图 1-9 练习与思考 1-1-5 的图

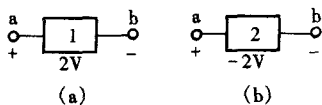


图 1-10 练习与思考 1-1-6 的图

1.2 电压源、电流源及其等效变换

一个电源可以用两种不同的电路模型来表示, 用电压形式来表示的称电压源模型, 用电流形式来表示的称电流源模型。电压源、电流源等效变换可以简化电路, 是电路分析和计算的一种方法。

1. 电压源

电压源的模型如图 1-11 (a) 所示, U 是电源端电压, E 是电动势, R_0 是内阻, R_L 是负载电阻, I 是负载电流。由图 1-11 (a) 可得出

$$U = E - R_0 I$$

据此可作出它的外特性曲线如图 1-11 (b) 所示。电压源开路时 $I = 0$, $U = U_0 = E$ 称为开路电压, 电压源短路时 $U = 0$, $I = I_s = \frac{E}{R_0}$ 称为短路电流。由曲线可知, R_0 愈小, 直线愈平。

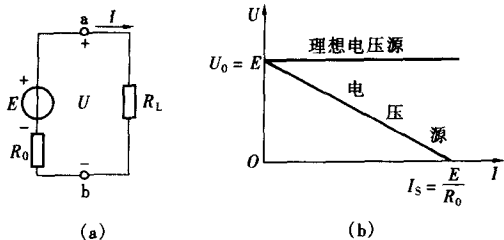


图 1-11 电压源及其外特性

(a) 电压源模型; (b) 电压源外特性曲线

当 $R_0 = 0$ 时, U 恒等于 E , 称为理想电压源或叫恒压源 (或者是电压幅值不变的按一定规律变化的随时间变化的函数)。理想电压源的电流 I 是任意的,

由负载电阻 R_L 和端电压 U 确定。理想电压源可以串联，串联后可以用一个等效理想电压源代替，其值是各理想电压源电动势的代数和，与等效理想电压源极性相同的取正，相反的取负。不等值的理想电压源不能并联。理想电压源不能短路。

理想电压源实际上是不存在的。但如果一个电压源的内阻远小于负载电阻，即 $R_0 \ll R_L$ ，则 $U \approx E$ 基本恒定，可视为理想电压源，通常使用的稳压电源，可视为理想电压源。

2. 电流源

电流源的模型如图 1-12 (a) 所示，由图 1-12 (a) 可得

$$I_S = \frac{U}{R_0} + I \quad (1-5)$$

可作出电流源外特性曲线如图 1-12 (b) 所示。当开路时， $I = 0$ ， $U = R_0 I_S = U_0$ ；当短路时， $U = 0$ ， $I = I_S$ ，由曲线可知，内阻愈大则直线愈陡。

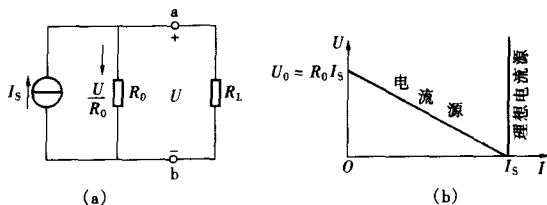


图 1-12 电流源及其外特性

(a) 电流源模型；(b) 电流源外特性曲线

当 $R_0 = \infty$ 时（即并联支路 R_0 断开），电流 I 恒等于 I_S 为一定值，这样的电源称为理想电流源或恒流源（或是电流幅值恒定的按一定规律变化的随时间变化的函数）。理想电流源的端电压 U 则是任意的，由负载电阻 R_L 和电流值 I_S 确定。理想电流源可以并联，并联后可用一个等效理想电流源代替，等效电源的电流值为各并联电流值的代数和。与

等效电流源方向一致的取正，相反的取负。不等值的理想电流源不能串联。理想电流源不能开路。

3. 电压源与电流源的等效变换

既然一个电源可以用两种模型表示，那么如果两种电源模型对负载能提供相同的电流和电压，则这两种电源对外电路是等效的，即二者可作等效变换。

比较两种电源模型的外特性及式 (1-1) 和式 (1-2) 可知，等效的条件是 $E = R_0 I_S$ 或 $I_S = \frac{E}{R_0}$ ，内阻 R_0 不变。如图 1-13 所示。

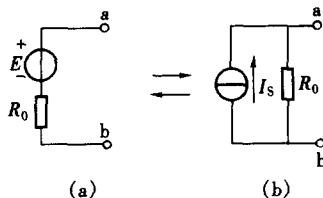


图 1-13 电源等效变换

(a) 电压源等效变换；(b) 电流源等效变换

虽然上面的分析是以实际电压源和实际电流源模型进行的，但在分析实际问题时， R_0

不限于是内阻，只要是理想电压源串联一个电阻都可以等效为一个理想电流源与一个电阻并联的电路。用等效变换法可以分析求解电路。

需要说明的是，等效只是对外电路而言，对电源内部是不等效的。例如，当电压源和电流源开路时，电压源不消耗功率而电流源消耗功率 ($P = I_S^2 R_0$)；当

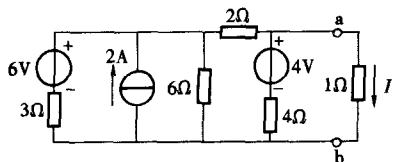


图 1-14 [例 1-4] 的电路