

普通高等教育“十二五”规划教材

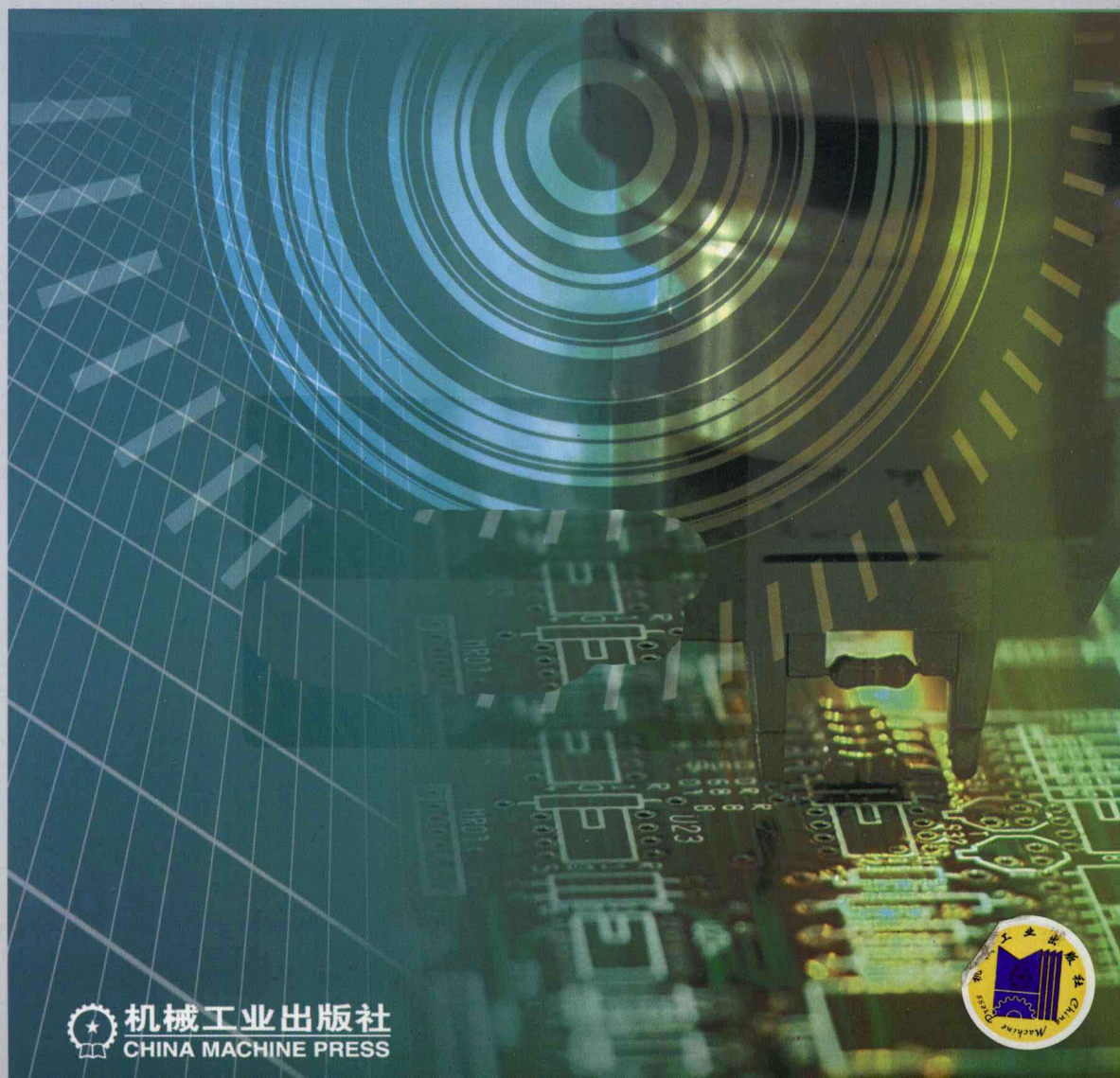
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIERWU GUIHUA JIAOCAI

电工电子技术

DIANGONG DIANZI JISHU

上册

韩华 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



本书为普通高等教育“十二五”规划教材,是作者参照教育部高等学校电子电气基础课程教学指导分委员会制订的“电工技术”、“电子技术”课程的教学基本要求,结合教学型综合性大学实际情况和多年教学经验及教学改革成果编写而成的。本套教材的特色是删去了部分陈旧内容,重新编排了章节顺序和精选了例题、习题,并降低了难度,加强了理论和实际应用的结合,还对电路仿真和单片机硬件电路做了抛砖引玉的介绍,扩大了学生视野及与后续课程的联系。全书分上、下两册。本册为上册,主要内容有:电路模型与电路仿真简介、电路的基本定律、电路的分析方法、暂态电路、正弦交流电路、三相交流电路、磁路与变压器、交流异步电动机、电气控制系统、安全用电与电工测量。本书可作为普通高等院校工科非电类本科专业学生电工技术课程的教材,亦可供相关专业和领域的工程技术人员学习参考。

本书配有电子课件,欢迎选用本书作教材的老师登录 www.cmpedu.com 注册下载。

图书在版编目(CIP)数据

电工电子技术.上册/韩华主编. —北京:
机械工业出版社, 2011.7
普通高等教育“十二五”规划教材
ISBN 978 - 7 - 111 - 34143 - 7

I. ①电… II. ①韩… III. ①电工技术 - 高等学校 - 教材②电子技术 - 高等学校 - 教材 IV. ① TM② TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 078317 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 贡克勤 责任编辑: 贡克勤 王小东

版式设计: 张世琴 责任校对: 程俊巧

封面设计: 马精明 责任印制: 李妍

唐山丰电印务有限公司印刷

2011 年 7 月第 1 版·第 1 次印刷

184mm × 260mm · 11 印张 · 267 千字

标准书号: ISBN 978 - 7 - 111 - 34143 - 7

定价: 24.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心: (010) 88361066

门户网: <http://www.cmpbook.com>

销售一部: (010) 68326294

销售二部: (010) 88379649

教材网: <http://www.cmpedu.com>

读者购书热线: (010) 88379203

封面防伪标均为盗版

前 言

本书为普通高等教育“十二五”规划教材，编写过程中，作者首先参照教育部高等学校电子电气基础课程教学指导分委员会制订的“电工技术”、“电子技术”课程的教学基本要求，结合教学型综合性大学的实际情况、作者多年的电工学课程教学经验、教学建设和改革成果等对编写教材进行了规划，然后组织电工学课程组人员对各种优秀教材进行广泛学习和研究，最后确定了本书的编写大纲及目录，并进行细致的人员分工和任务落实。历经两年多的时间，本书终于和大家见面，希望能与读者不断交流，达到作者的心愿。本书的特色是：删去部分陈旧的内容；重新编排了章节顺序和精选了例题、习题，并降低了难度；加强了理论与实际应用的结合，还对电路仿真、单片机硬件电路做了抛砖引玉的介绍，扩大了学生视野及与后续课程的联系。全书分上、下两册，内容包括：电路模型与电路仿真简介、电路的基本定律、电路的分析方法、暂态电路、正弦交流电路、三相交流电路、磁路与变压器、交流异步电动机、电气控制系统、安全用电与电工测量；常用半导体器件、放大电路组成与分析方法、放大电路的应用、集成运算放大器与应用、电子电路中的反馈、直流稳压电源、数字电路基础、组合逻辑电路与时序逻辑电路、存储器与可编程逻辑器件、单片机硬件系统。本书适于作为普通高等院校工科非电类专业的电工电子基础课程教材，亦可供相关领域工程技术人员参考。

本套教材主要由佳木斯大学信息电子技术学院电工学课程组编写，徐州工程学院部分教师也参与了编写工作。全书由韩华主编，负责全书的组织、统稿和改稿工作。王全、张玉峰两位教授分别担任上册和下册的主审，提出了很多宝贵修改意见；所有参加编写的老师，对待编写工作求真务实，精益求精；审稿的老师更是严格把关指导，这些因素极大地提升了教材出版质量，在此，编者对他们深表感谢！教材编写具体分工如下：韩华编写第16、17、18章；黄金侠编写第2、3、5章；崔虹云编写第1、7、8章；于泳红编写第4、6、10章；包宇编写第9章、上册附录；宋国义编写第11、12、13章；王树臣、姜德晶（徐州工程学院）共同编写第14、15、20章；张良编写第19章及下册附录。

由于本书编者水平有限，编写时间仓促，书中疏漏和错误在所难免，敬请各位老师和读者及时给予批评指正。

编 者

目 录

前言

第1章 电路模型与电路仿真简介 1

1.1 电路模型 1

1.1.1 电路的作用与组成 1

1.1.2 电路模型 1

1.1.3 电路的物理量与参考方向 1

1.2 电路元件 3

1.2.1 无源元件 3

1.2.2 有源元件 5

1.3 电路的状态 8

1.3.1 电路有载工作状态 8

1.3.2 开路 9

1.3.3 短路 9

1.4 电路仿真软件简介 10

1.4.1 Orcad9.2 软件简介 10

1.4.2 Orcad9.2 软件及使用 10

本章小结 15

习题1 15

第2章 电路的基本定律 18

2.1 欧姆定律 18

2.2 基尔霍夫定律 19

2.2.1 电路结构 19

2.2.2 基尔霍夫定律 19

2.3 电位的概念与计算 22

本章小结 23

习题2 24

第3章 电路的分析方法 27

3.1 等效变换法 27

3.1.1 电阻等效变换 27

3.1.2 电源等效变换 28

3.2 支路电流法 31

3.3 节点电压法 32

3.4 叠加原理 33

3.5 戴维南定理与诺顿定理 35

3.5.1 戴维南定理 35

3.5.2 诺顿定理 38

3.6 非线性电阻电路 39

本章小结 41

习题3 42

第4章 暂态电路 46

4.1 换路定则 46

4.1.1 换路的概念 46

4.1.2 换路定则及应用 46

4.2 一阶线性电路响应 48

4.2.1 RC 电路的零输入响应 48

4.2.2 RC 电路零状态响应 50

4.2.3 RC 电路全响应 51

4.2.4 RL 电路的响应 53

4.3 一阶线性暂态电路分析的三要素法 54

4.4 微分与积分电路 56

4.4.1 微分电路 57

4.4.2 积分电路 58

本章小结 59

习题4 59

第5章 正弦交流电路 63

5.1 正弦交流电压与电流 63

5.1.1 正弦交流电的基本要素 63

5.1.2 正弦量的相量表示 65

5.2 单一参数的交流电路 67

5.2.1 电阻元件的交流电路 67

5.2.2 电感元件的交流电路 69

5.2.3 电容元件的交流电路 71

5.3 电阻、电感与电容串联的交流电路 73

5.3.1 电压与电流的关系 73

5.3.2 交流功率 74

5.4 功率因数的提高 76

5.5 交流电路的频率特性 77

5.5.1 RC 滤波电路 77

5.5.2 谐振电路 80

5.6 非正弦周期电压和电流 84

本章小结 86

习题5 87

第6章 三相交流电路 91

6.1 三相交流电源 91

6.1.1 三相电动势的产生	91	8.2 单相交流异步电动机	127
6.1.2 三相电源的联结方式及三相 电压	92	8.2.1 电容分相式单相异步电动机	127
6.2 三相交流电路的分析	93	8.2.2 罩极式单相异步电动机	128
6.2.1 三相电路电压、电流的计算	93	本章小结	129
6.2.2 三相功率的计算	97	习题 8	129
本章小结	98	第 9 章 继电器接触器控制系统与可编 程序控制器	131
习题 6	99	9.1 继电器接触器控制系统	131
第 7 章 磁路与变压器	101	9.1.1 电磁式继电器的基本结构与工作 原理	131
7.1 磁路及其分析方法	101	9.1.2 常用低压控制电器	132
7.1.1 磁场的基本物理量	101	9.1.3 继电器接触器控制系统	137
7.1.2 磁路的基本定律	102	9.2 可编程序控制器及其应用	139
7.1.3 常用铁磁材料及磁性能	103	9.2.1 可编程序控制器的工作原理	140
7.1.4 直流磁路计算	104	9.2.2 可编程序控制器的用户程序及 编制	141
7.2 交流铁心线圈电路	106	9.2.3 可编程序控制器的应用	143
7.2.1 电磁关系	107	本章小结	145
7.2.2 电压与电流的关系	107	习题 9	145
7.2.3 功率损耗	108	第 10 章 安全用电与电工测量	147
7.3 变压器	109	10.1 安全用电	147
7.3.1 变压器的工作原理	109	10.1.1 电流对人体的危害及触电 方式	147
7.3.2 变压器的结构与额定值	110	10.1.2 接地和接零	149
本章小结	112	10.2 节约用电	152
习题 7	112	10.3 电工仪表与测量	152
第 8 章 交流异步电动机	114	10.3.1 电工仪表的分类	153
8.1 三相交流异步电动机	114	10.3.2 电压、电流的测量	154
8.1.1 三相交流异步电动机的基本 结构	114	10.3.3 功率的测量	156
8.1.2 三相交流异步电动机的转动 原理	116	本章小结	157
8.1.3 三相交流异步电动机的电磁 转矩与机械特性	119	习题 10	157
8.1.4 三相交流异步电动机的起动	121	附录	159
8.1.5 三相交流异步电动机的调速	123	附录 A 部分习题答案	159
8.1.6 三相交流异步电动机的制动	124	附录 B 常用导电材料的电阻率	165
8.1.7 三相交流异步电动机的选择及 使用	125	附录 C 常用电阻、电容和电感元件的 标称方法	165
8.1.8 三相交流异步电动机的铭牌 数据	126	参考文献	168

第 1 章 电路模型与电路仿真简介

内容提要：本章将讨论电路模型、电路中的物理量及其参考方向、常用电路元器件及性质、电路的三种状态，并介绍常用电路仿真软件 Orcad9.2，这些内容都是电路分析与计算的基础和实用工具。

1.1 电路模型

1.1.1 电路的作用与组成

人们在生产和生活中常会用到很多电路，利用电路可实现电能传输、信号处理、电子测量、自动控制等任务。有些电路简单，由几个元器件组成，有些电路则非常复杂，但所有电路组成可划分为三部分：即电源（激励）部分、中间环节部分及负载（响应）部分。电源或激励是将其他形式的能量转换为电能的设备，如电池、发电机、传感器等；负载是将电能转换成其他形式能量的设备，如白炽灯、电动机、扬声器等；中间环节指连接电源和负载的元器件或设备，如导线、熔断器、放大器等。

1.1.2 电路模型

为了便于对实际电路进行分析和描述，需要对电路的电磁特性科学概括，一般要将实际电路元件用一些理想电路元件来替代。所谓理想电路元件是具有确定电磁性质的假想元件，主要有电阻元件、电感元件、电容元件和电源元件。所谓电路模型，即在一定条件下考虑实际电路的主要因素，忽略次要因素，

转化为由理想电路元件构成的电路，并由电路符号组成电路图。例如，手电筒实际电路构成如图 1-1a 所示，其中将干电池用理想电压源 E 和理想电阻元件 R_0 的串联组合表示，灯泡用理想元件电阻 R 表示，连接电池与灯泡的开关 S 和金属导线看成没有电阻的理想开关和导线，则可获得

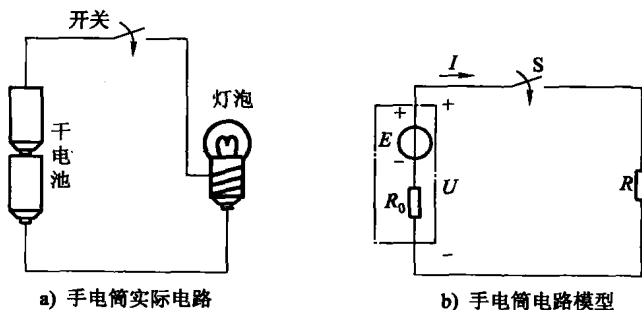


图 1-1 手电筒实际电路与电路模型

与之对应的电路模型如图 1-1b 所示。电路模型只反映实际电路的作用及其相互连接方式，不反映实际电路的内部结构、几何形状及相互位置。

1.1.3 电路的物理量与参考方向

1. 电流及其参考方向

电荷在电场力作用下，做有规则的定向运动就是电流。把单位时间内通过导体横截面的

电荷量定义为电流（旧称电流强度），即

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

电流的大小和方向不随时间变化，即 $dq/dt = \text{常数}$ ，这种电流称为直流电流，用大写字母 I 表示。大小和方向随时间变化的电流称为交变电流，用小写字母 i 表示。

分析电路时，除了要计算电流的大小外，同时还要确定它的实际方向。电流的实际方向，在简单情况下是可以直接确定的，例如可以从电源给定的正负极性判断出电流的方向。但在复杂的电路中，往往难以凭直观判断电流实际方向，还有在交变电路中，电流的方向还随时间交变，无法标出它的实际方向。为此，可引入参考方向来解决此问题。

所谓参考方向（又称正方向）是指在分析电路时先设定一个电流（电压或电动势）的方向作参考，并按规定标记出来。在设定参考方向后，电流就可以用一个代数量表示，即它不仅数值，而且包含了正、负号。如图 1-2 所示，实线箭头代表参考方向，虚线箭头代表实际方向，若按参考方向分析计算的电流为正值（ $i > 0$ ），表明电流的参考方向与实际方向相同，如图 1-2a 所示；反之，若电流为负值（ $i < 0$ ），则表明电流的参考方向与实际方向相反，如图 1-2b 所示，即只有参考方向选定之后，电流之值才有正负之分。

电流的参考方向标记方法有两种：一种是在电路中，画一个实线箭头，并标出电流名称；另一种是用双下标表示，如 i_{ab} 表示电流由 a 流向 b。

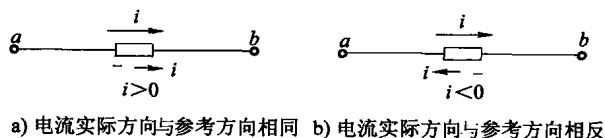


图 1-2 电流参考方向与实际方向

2. 电压及其参考方向

电压又称电动势差或电位差，a、b 两点的电压是指电场力把单位正电荷从 a 点移到 b 点所做的功，用 u_{ab} 表示。电压的实际方向规定由高电位到低电位，即电位降低的方向。大小和方向不随时间变化的电压，称为直流电压，用大写字母 U 表示；大小和方向随时间变化的电压称为交变电压，用小写字母 u 表示。

同电流一样，电压也要设定参考方向。如图 1-3 所示，实线箭头代表参考方向，虚线箭头代表实际方向。按照所设定的参考方向分析电路，得出的电压为正值（ $u > 0$ ），表明电压的实际方向与参考方向一致，如图 1-3a 所示；反之，若得出的电压为负值（ $u < 0$ ），则表明电压的实际方向与参考方向相反，如图 1-3b 所示。

电路中电压的参考方向除了用箭头和双下标表示之外，还可以用极性“+”、“-”符号表示。例如 a、b 两点间的电压 u_{ab} ，它的参考方向是由 a 指向 b；用极性“+”、“-”符号表示，如

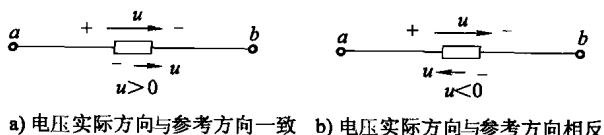


图 1-3 电压的参考方向与实际方向

果 a 点标“+”，b 点标“-”，则参考方向也是由 a 指向 b。

3. 电动势及其参考方向

电动势在数值上等于非电场力把单位正电荷由负极经电源内部移到正极所做的功。通常规定电动势的实际方向是由电源的负极指向电源的正极。同电流和电压一样，在电路中所标出的电动势的方向也是它的参考方向，但一般情况下，电动势的参考方向设定与电动势实际方向相同。

4. 电功率和电能

电流在单位时间内做的功, 称为电功率。元件上的瞬时功率表达式为

$$p(t) = u(t)i(t) \quad (1-2)$$

电功率的单位为 W (瓦), 大的单位为 kW (千瓦)。

由于电功率为电压与电流的乘积, 当电压与电流实际方向相同时, p 是元件吸收的功率; 当电压与电流实际方向相反时, p 是元件发出的功率。在电路分析时, 可引入电压和电流参考方向进行计算和判断。

若元件上电压和电流的参考方向相同, 则把电压和电流的这种参考方向称为关联参考方向, 如图 1-4a 所示; 否则, 称为非关联参考方向, 如图 1-4b 所示。

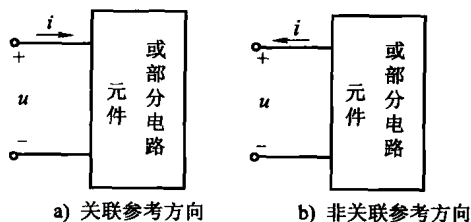


图 1-4 电流和电压关联及非关联框图

在电压和电流关联参考方向下 $p = u(t)i(t)$; 在电压和电流非关联参考方向下 $p = -u(t)i(t)$, 如果计算结果 $p > 0$, 表示电压与电流的实际方向相同, 元件吸收功率; 反之, 若计算结果为 $p < 0$, 表示电压与电流实际方向相反, 元件发出功率。电能是电功率的时间积累, 可表示为

$$w = \int_0^t p(t) dt$$

能量的单位为 J (焦耳), 可推导出电能的单位为 W · s (瓦秒), 电能比较大的单位为 kW · h (千瓦时)。

1.2 电路元件

1.2.1 无源元件

1. 电阻元件

电阻元件的特性常用元件两端的电压与通过的电流之间的关系曲线 $u = f(i)$ 或 $i = f(u)$ 表示, 这种曲线称为伏安特性, 如图 1-5 所示。电阻值不随电压、电流变化而变化的电阻称为线性电阻, 线性电阻的电阻值是常数, 伏安特性曲线是通过坐标原点的一条直线, 如图 1-5a 所示。电阻值随电压、电流变化而变化的电阻则称为非线性电阻, 非线性电阻的电阻值不是常数, 可通过实验的方法测得其伏安特性曲线。如图 1-5b 所示为非线性电阻半导体二极管的伏安特性曲线。

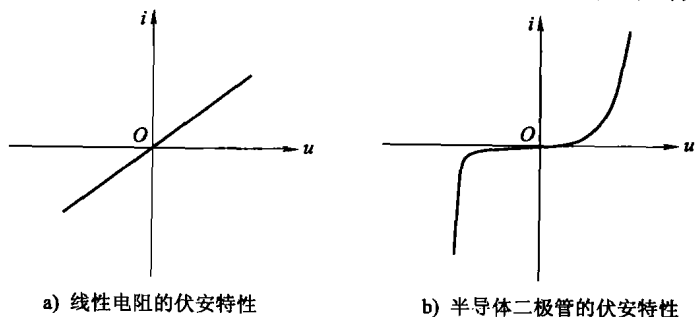


图 1-5 电阻元件的伏安特性

线性电阻元件在电路中的图形符号如图 1-6a 所示, 非线性电阻元件在电路中的图形符

号如图 1-6b 所示。

2. 电感元件

由导线绕制而成的线圈能够产生比较集中的磁场, 在忽略很小的导线电阻及线圈匝与匝之间的电容时, 可看成是一个理想电感元件。电感线圈及其电路图形符号如图 1-7 所示。当线圈两端加上电压 u , 便有电流 i 通过, 将产生磁通 Φ , 它通过每匝线圈。如果线圈有 N 匝, 则电感元件的参数

$$L = \frac{N\Phi}{i} \quad (1-3)$$

称为电感或自感, L 为常数时, 称线性电感; 不为常数时, 称非线性电感, 下面主要讨论线性电感。

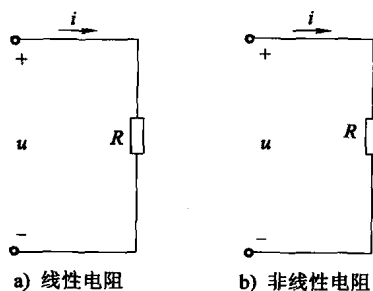


图 1-6 两种电阻元件的
电路图形符号

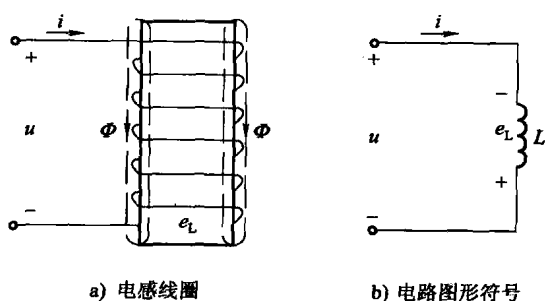


图 1-7 电感线圈及其电路
图形符号

线圈的匝数 N 愈多, 其电感愈大; 线圈中单位电流产生的磁通愈大, 电感也愈大。当电感元件中磁通 Φ 或电流 i 发生变化时, 根据电磁感应定律, 则在电感元件中产生的感应电动势为

$$e_L = -N \frac{d\Phi}{dt} = -L \frac{di}{dt}$$

由图 1-7b 可知

$$u = -e_L = N \frac{d\Phi}{dt} = L \frac{di}{dt} \quad (1-4)$$

当线圈中通过的电流为恒值时, 其上的电压 u 为零, 所以电感元件对直流相当于短路。将式 (1-4) 两边乘以 i , 并积分得

$$\int_0^t u i dt = \int_0^t L i di = \frac{1}{2} L i^2 \quad (1-5)$$

式 (1-5) 表明: 当电感元件中的电流增大时, 磁场能量增大; 在此过程中电能转换为磁能, 即电感元件从电源取用能量。 $\frac{1}{2} L i^2$ 就是电感元件中的磁场能量。当电流减小时, 磁场能量减小, 磁能转换为电能, 即电感元件向电源放还能量。可见电感元件不消耗能量, 是储能元件。

3. 电容元件

两块平行金属板在中间充以绝缘介质, 可构成一个平行板电容器, 如忽略很小的漏电损

失, 可以认为是一理想电容元件, 其结构与电路图形符号如图 1-8 所示。当电容器两端加上电压 u 后, 它的两块金属板上就会聚集起等量异号的电荷 q , 在介质中建立电场, 储存电场能量, 取电容器储存的电荷量与电压的比值, 即为电容 C , 可表示为

$$C = \frac{q}{u} \quad (1-6)$$

C 为常数时, 称线性电容; 不为常数时, 称非线性电容; 随时间变化的叫时变电容, 不随时间变化的叫时不变电容。下面主要讨论线性时不变电容。

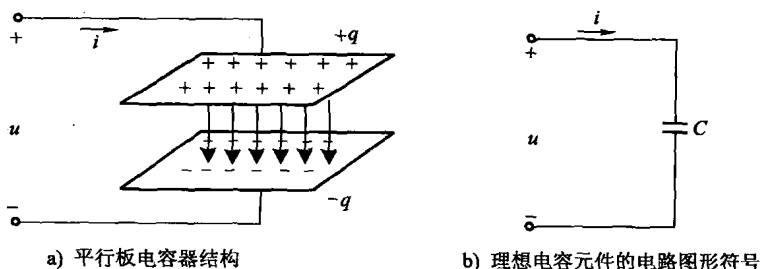


图 1-8 平行板电容器结构与电路图形符号

当电容元件上的电荷量 q 或电压 u 发生变化时, 则在电路中产生电流, 即

$$i = \frac{dq}{dt} = C \frac{du}{dt} \quad (1-7)$$

若电容两端电压为恒压时, 式 (1-7) 中电流为零, 所以电容元件对于直流相当于开路。将式 (1-7) 两边同乘以 u 并积分得

$$\int_0^t u i dt = \int_0^u C u du = \frac{1}{2} C u^2 \quad (1-8)$$

式 (1-8) 表明: 当电容元件上的电压增高时, 电场能量增大; 在此过程中电容元件从电源取用能量 (充电), $\frac{1}{2} C u^2$ 就是电容元件中的电场能量。当电压降低时, 电场能量减小, 电容元件向电源放还能量 (放电), 可见电容元件是储能元件。

1.2.2 有源元件

电源是将非电能转换为电能的元件或装置, 它的作用是给外电路提供电能或电信号。任何一个电源可以用两种不同的电路模型来表示: 一种是用电压的形式来表示, 称为电压源; 一种是用电流的形式来表示, 称为电流源。

1. 电压源

电压源是实际电源的一种电路模型, 如电池、发电机等, 由电动势 E 和内阻 R_0 串联组成, 电压源的图形符号如图 1-9a 所示。

电压源接负载电阻的电路如图 1-9b 所示, U 是电源端接上负载后的电压, R_L 是负载电阻, I 是负载电流, 可得

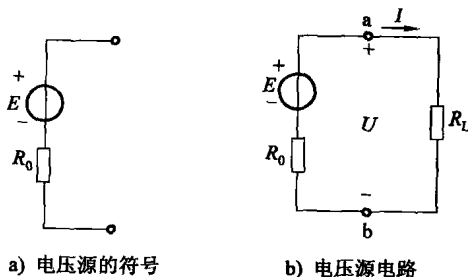


图 1-9 电压源符号及接负载电路

$$U = E - IR_0 \quad (1-9)$$

式(1-9)方程对应的曲线称为电源外特性,如图1-10所示。由此可得:

1) 当电压源开路时, $I=0$, $U=U_0=E$, U_0 称开路电压。

2) 当电压源短路时, $U=0$, $I=I_s=\frac{E}{R_0}$, I_s 称为短路电流。

3) 当电压源有载时, $U < E$, 其差值是内阻上的电压降 IR_0 。

当负载电流增加时, 输出电压 U 将下降。 R_0 愈小, 输出电压 U 随负载电流增加而降低的愈小, 则外特性曲线愈平, 电源带负载能力愈强。

当 $R_0=0$ 时, $U=E$, 称为理想电压源或恒压源, 其电路如图1-11所示。如果一个电压源的内阻远小于负载电阻, 即 $R_0 \ll R_L$, 则内阻上的电压降 $IR_0 \ll U$, 于是 $U \approx E$, 基本上恒定, 可以看成是理想电压源。

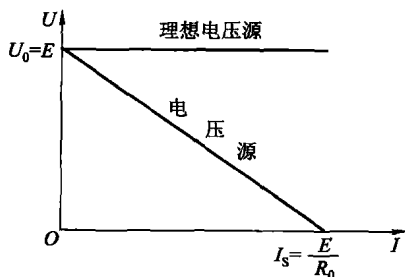


图 1-10 电压源和理想电压源的外特性曲线

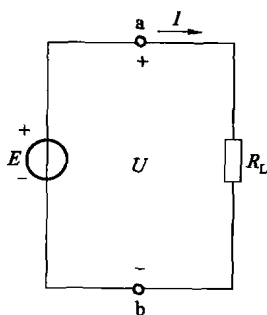


图 1-11 理想电压源电路

2. 电流源

电流源是实际电源的另一种电路模型, 如光电池等, 它是由电流 I_s 和 R_0 并联组成。电流源的图形符号如图1-12a所示。

电流源接负载的电路如图1-12b所示, I_s 是电流源发出的电流, U 是电源接负载后的电压, R_L 是负载电阻, I 是负载电流, 可得

$$I_s = \frac{U}{R_0} + I \quad (1-10)$$

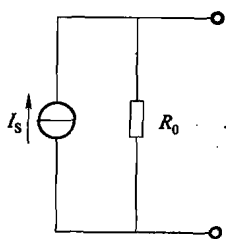
式(1-10)称电流源的外特性方程, 对应的曲线称电流源外特性曲线, 如图1-13所示, 可得

1) 当电流源开路时, $I=0$, $U=U_0=I_s R_0$ 。

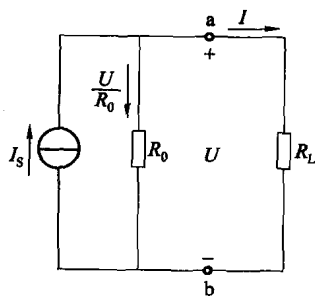
2) 当电流源短路时, $U=0$, $I=I_s$ 。内阻 R_0 愈大, 则直线愈陡。

3) 当电流源有载工作时, 负载电阻增加时, 负载分得的电流减少, 输出电压将随之增大。 R_0 愈大, 外特性曲线愈陡, 带负载能力愈强。

由式(1-10)可知, 当 $R_0=\infty$ 时, 电流 I 恒等于 I_s , 而其两端的电压是任意的, 由负载



a) 电流源的符号



b) 电流源电路

图 1-12 电流源及接负载电路

电阻 R_L 的大小确定, 称为理想电流源或恒流源, 其电路如图 1-14 所示。如果电流源的内阻远大于负载电阻, 即 $R_0 \gg R_L$, 则输出电流 $I \approx I_s$, 基本上恒定, 可以看成是理想电流源。

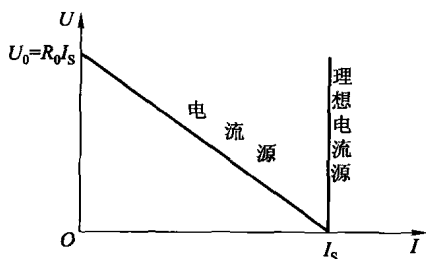


图 1-13 电流源和理想电流源的外特性曲线

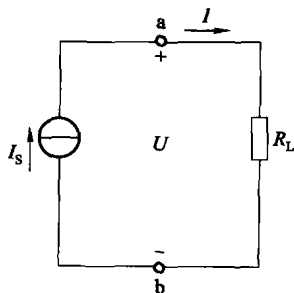


图 1-14 理想电流源电路

例 1-1 电路如图 1-15 所示, 已知 I_{s1} 、 I_{s2} 和 U_s 均为正值, 且 $I_{s2} > I_{s1}$, 试判断图中哪个元件是电源? 哪个元件是负载?

解 I_{s1} 、 I_{s2} 和 U_s 之间并联, 所以 I_{s1} 、 I_{s2} 所承受的电压的实际方向是上正下负。由于 $I_{s2} > I_{s1}$, 所以流过 U_s 的电流方向由上到下。 I_{s1} 、 U_s 的电流和电压是关联参考方向, 而 I_{s2} 电压和电流是非关联参考方向, 即

$$P_{s1} = U_s I_{s1} > 0 \quad P_s = U_s (I_{s2} - I_{s1}) > 0$$

$$P_{s2} = -U_s I_{s2} < 0$$

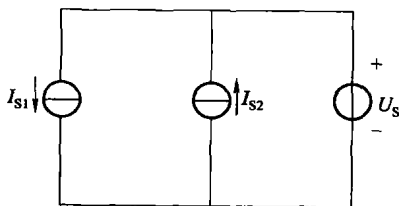


图 1-15 例 1-1 的图

因 P_{s1} 和 P_s 都大于零, 故电压与电流的实际方向相同, 元件吸收功率, I_{s1} 和 U_s 是负载。由于 P_{s2} 小于零, 故电压与电流实际方向相反, 元件发出功率, I_{s2} 是电源。

3. 受控电源

所谓独立电源, 就是电压源的电压或电流源的电流不受外电路的控制而独立存在。我们常常遇到另外一种类型的电源, 即电压源的电压或电流源的电流是受电路中某支路电流或电压的控制, 当控制电压或电流消失或等于零时, 受控电源的电压或电流也将为零, 这种电源称为受控电源。

根据受控电源是电压源还是电流源, 以及受电压控制还是受电流控制, 受控电源可分为电压控制电压源 (VCVS)、电流控制电压源 (CCVS)、电压控制电流源 (VCCS) 和电流控制电流源 (CCCS) 共 4 种类型。受控电源分 4 种类型, 在电路中的符号如图 1-16 所示, 受控电源用菱形表示, 以便与独立电源符号相区别。

如果控制端 (输入端) 和受控端 (输出端) 都是理想的, 在控制端, 对电压控制的受控电源, 其输入端电阻为无穷大 ($I_1 = 0$); 对电流控制的受控电源, 其输入端电阻为零 ($U_1 = 0$)。在受控端, 对受控电压源, 其输出端电阻为零, 输出电压恒定; 对受控电流源, 其输出端电阻为无穷大, 输出电流恒定。

4 种理想的受控源的伏安关系为

$$\text{VCVS: } U_2 = \mu U_1$$

$$\text{CCVS: } U_2 = r I_1$$

$$\text{VCCS: } I_2 = g U_1$$

$$\text{CCCS: } I_2 = \beta I_1$$

式中, μ 、 g 、 r 和 β 统称为控制系数, 其中 μ 、 β 无量纲, μ 称为电压放大系数, β 称为电流放大系数; g 具有电导的量纲, 称为转移电导; r 具有电阻的量纲, 称为转移电阻。当这些控制系数为常数时, 被控制量与控制量成正比, 该类受控源称为线性受控源。

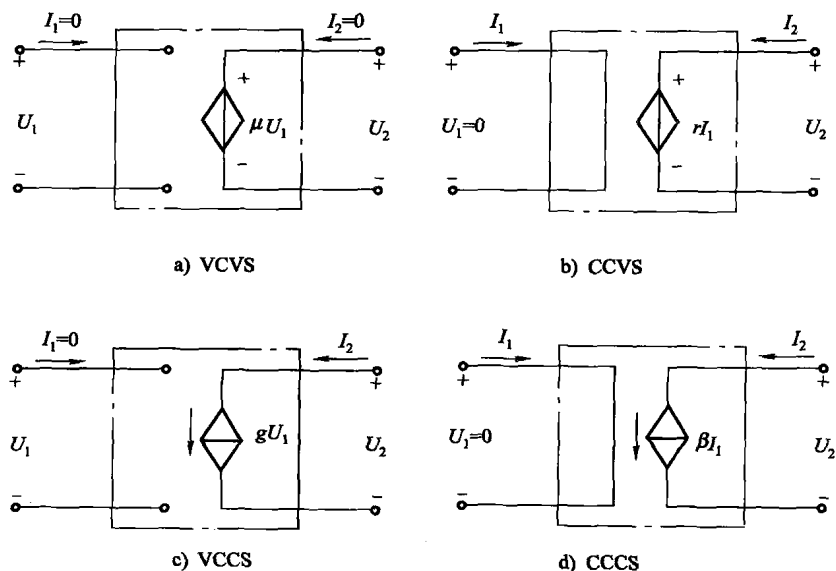


图 1-16 理想受控电源的 4 种类型及符号

1.3 电路的状态

电路的状态共有三种: 有载工作状态、开路状态和短路状态。

1.3.1 电路有载工作状态

如图 1-17 所示, 将开关 S 合上, 接通电源与负载, 则电路中的电流

$$I = \frac{E}{R_0 + R_L} \quad (1-11)$$

负载电阻两端的电压

$$U = E - R_0 I \quad (1-12)$$

式 (1-12) 表明电源端电压 U 与负载电流 I 之间的关系, 用坐标曲线表示如图 1-18 所示, 称为电源的外特性。一般情况下, 电源内阻很小, 当 $R_0 \ll R$ 时, 则

$$U \approx E$$

将式 (1-12) 各项乘以电流 I , 则得功率平衡式

$$UI = EI - R_0 I^2$$

即

$$P = P_E - \Delta P \quad (1-13)$$

式中, P_E 为电源产生的功率, $P_E = EI$; ΔP 为电源内阻上消耗的功率, $\Delta P = R_0 I^2$; P 为电源输出的功率, $P = UI$ 。

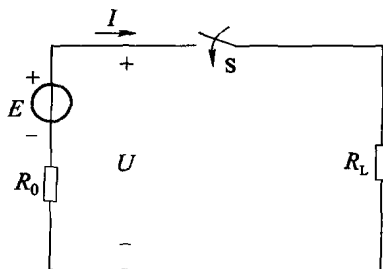


图 1-17 电源有载工作

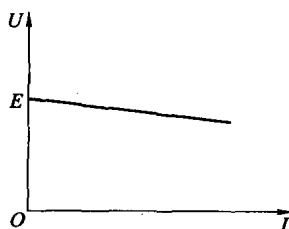


图 1-18 电源的外特性

电源有载工作时，电源产生的电功率等于负载和内阻消耗的电功率之和，功率是平衡的。

为了保证电器设备和器件（包括电线、电缆）安全、可靠和经济地工作，每种设备、器件在设计时，都规定了工作时电流、电压及功率等方面的正常允许值，称为额定值，分别用 I_N 、 U_N 和 P_N 表示。在使用电气设备时，电压、电流和功率的实际值不一定等于额定值。例如电源额定电压为 220V，但电源电压经常波动，这样，额定值为 220V、40W 的电灯接入电源以后实际功率不一定等于 40W。因此，应该尽量保证电器在额定电压或电流下使用，以避免造成负载或电源损坏。

1.3.2 开路

如图 1-19 所示的电路中，当开关断开时，电源则处于开路（空载）状态，由于开路电路中电流为零，即： $I=0$ ，此时电源的端电压（称开路电压或空载电压 U_0 ）等于电源电动势，电源不输出电功率，即： $U=U_0=E$ ， $P=0$ 。

1.3.3 短路

在图 1-20 所示的电路中，当电源的两端或负载两端被短路线连接时，称为短路。短路造成电源和负载两端的电压为零，即： $U=0$ ，电源内部形成较大短路电流，即： $I=I_s=E/R_0$ ，电源发出功率为： $P_E=\Delta P=R_0 I^2$ 全部消耗在内阻上，负载上功率为 0，即： $P=0$ 。短路是一种严重事故，应该尽力预防。产生短路的原因往往是由于绝缘损坏或接线不慎，因此经常检查电气设备和线路的绝缘情况是一项很重要的安全措施。为防止短路发生事故，通常在电路中接入熔断器或自动断路器，即发生短路时，能迅速将电源断开。

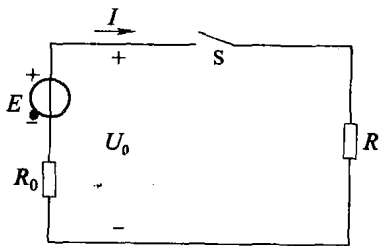


图 1-19 电源开路

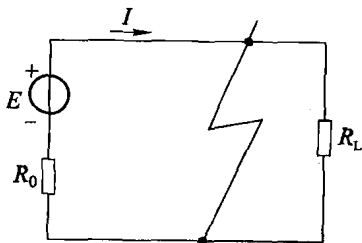


图 1-20 电源短路

例 1-2 电路如图 1-21 所示, 有一直流电源, 其额定功率 $P_N = 100\text{W}$, 额定电压 $U_N = 50\text{V}$, 内阻 $R_0 = 0.4\Omega$, 负载电阻为可以调节的电阻。试求: (1) 额定工作状态下的电流及负载电阻; (2) 开路状态下的电源端电压; (3) 电源短路状态下的电流。

解 (1) 额定电流 $I_N = \frac{P_N}{U_N} = \frac{100}{50}\text{A} = 2\text{A}$

负载电阻 $R = \frac{U_N}{I_N} = \frac{50}{2}\Omega = 25\Omega$

(2) 开路状态下的电源端电压

$$U = E = U_N + I_N R_0 = (50 + 2 \times 0.4)\text{V} = 50.8\text{V}$$

(3) 电源短路状态下的电流

$$I_s = \frac{E}{R_0} = \frac{50.8}{0.4}\text{A} = 127\text{A}$$

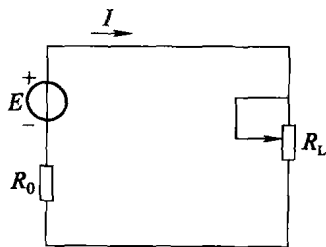


图 1-21 例 1-2 的图

1.4 电路仿真软件简介

电子设计自动化 (EDA) 相关软件, 已经成为电子领域不可缺少的重要设计工具, 电类与非电类学生了解和学习使用 EDA 工具软件具有重要意义。首先通过对软件性能及特点、操作步骤的了解, 接触到一门实践新技术, 其次随着电路理论的学习深入和课程设计需要, 软件的作用越来越大, 它能帮助我们快速有效地完成设计项目。

1.4.1 Orcad9.2 软件简介

Orcad9.2 是 EDA 工具软件中最受欢迎的软件工具之一, 它是 Orcad 公司 2000 年 5 月推出的产品。主要包括三个模块: 即原理图输入与器件信息管理系统 (Orcad Capture CIS 9.2)、模拟数字混合电路分析与设计 (Orcad PSpice 9.2)、印制电路板电路设计 (Orcad Layout 9.2) 模块。它不仅可以进行多种电路原理图的设计, 模拟电路、数字电路的基本性能仿真分析, 还可以进行傅里叶、蒙特卡洛等特殊性能分析。另外, 它还在优化设计、印制电路板布线、可编程逻辑器件设计等方面有很多优势。

1.4.2 Orcad9.2 软件及使用

本书只介绍作为 PSpice 的原理图输入功能和简单的 PSpice 仿真步骤。

1. 安装 Orcad Family Release 9.2 Lite Edition

插入安装光盘, 单击 setup.exe, 出现如图 1-22 所示的对话框, 按 next 提示操作, 直到最后程序安装完毕。

2. 进入原理图输入界面

进入原理图输入界面 (Capture Lite Edition) 的程序为: 按开始→所有程序→Orcad Family Release 9.2 Lite Edition→Capture Lite Edition (单击), 其主界面如图 1-23 所示。

3. 新建设计项目

点选 Capture 主界面 File/New/Project 或单击 , 出现对话框, 如图 1-24 所示。

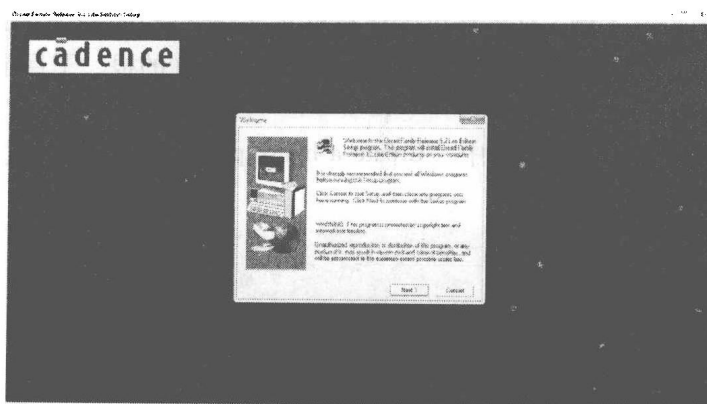


图 1-22 Orcad9.2 安装界面

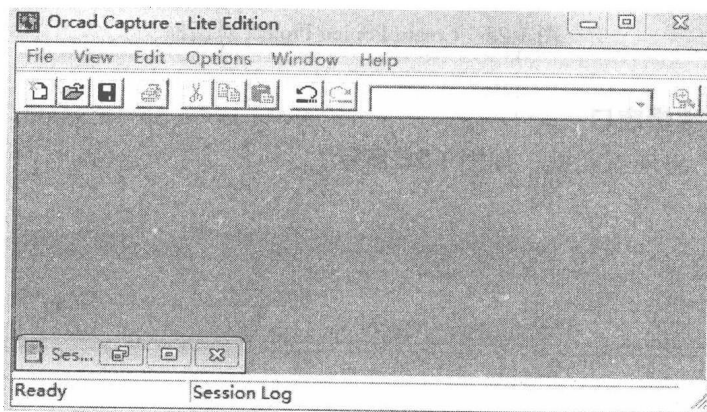


图 1-23 Capture 主界面

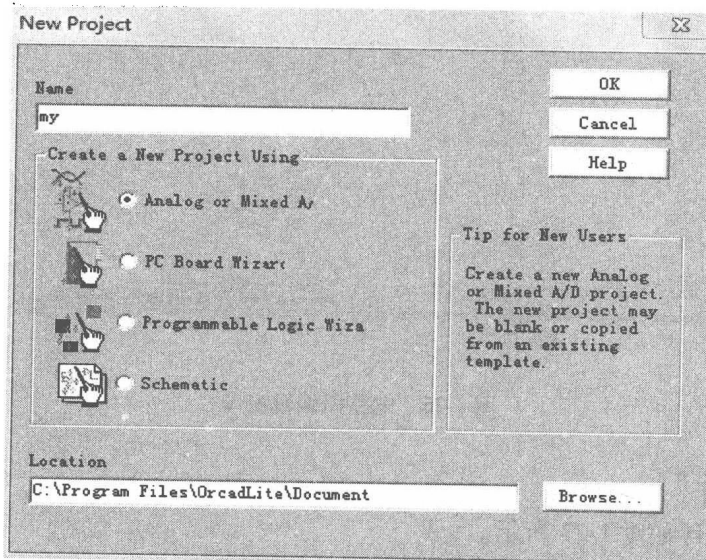


图 1-24 New Project 对话框

键入任务名 my (my 本例, 任务名可由任意英文字母组合), 选上 Analog or Mixed (模拟或混合电路分析), 选择保存目录 (注意: 必须保存在英文的根、子目录下)。

4. 创建 PSpice 项目

单击  , 出现对话框, 选中 “Create a blank pro”, 如图 1-25 所示。

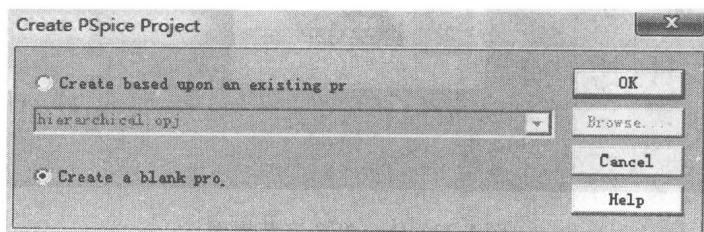


图 1-25 Create PSpice Project 对话框

5. 进入电路图编辑窗口

单击  , 出现对话框, 如图 1-26 所示。

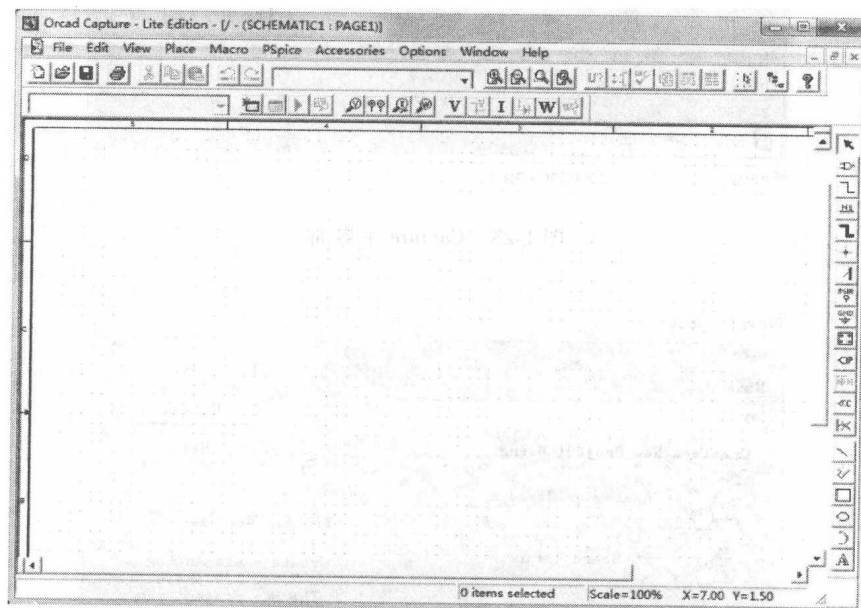


图 1-26 电路图编辑窗口

6. 绘制电路图

添加库放置元件如图 1-27 所示。

- 1) 添加元件库、放置元件, 如图 1-28、图 1-29 所示。
- 2) 修改参数及连线, 如图 1-29 所示。