



高等学校
电子信息类规划教材

计算机电子电路技术

—— 电路与模拟电子部分

江晓安 杨有瑾 陈生潭 编著



西安电子科技大学出版社

<http://www.xduph.com>

高等学校
电子信息类 规划教材

计算机电子电路技术

——电路与模拟电子部分

江晓安 杨有瑾 陈生潭 编著

西安电子科技大学出版社

1999

内 容 简 介

本书系按电子工业部的《1996—2000年全国电子信息类专业教材编审出版规划》，由全国大专计算机专业教学指导委员会编审、推荐出版。

本书共分两篇：第一篇为电路分析基础，内容包括电路的基本概念和定律、电阻电路分析、动态电路分析和正弦稳态电路分析。第二篇为模拟电子技术，内容包括放大器件、放大器分析基础、负反馈放大器、集成运算放大器、波形产生电路、功率放大器和直流电源。

编写时力求精选内容，深入浅出，图文并茂，便于阅读。每章均配有适量的例题和习题。本书可与《计算机电子电路技术——数字电子部分》配套使用，也可单独使用。

本书可作为高等学校计算机科学及其应用专业的本科生、专科生教材；也可作为其它电子类专业的教材；还可供从事相关专业的工程技术人员和科研人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

计算机电子电路技术：电路与模拟电子部分/江晓安等编著. —西安：西安电子科技大学出版社，1999.12

高等学校电子信息类规划教材

ISBN 7-5606-0775-6

I. 计… II. 江… III. 电子数字计算机-电子电路-高等学校-教材 IV. TP331

中国版本图书馆CIP数据核字(1999)第40445号

责任编辑 杨宗周 叶德福

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)8227828 邮 编 710071

http://www.xduph.com E-mail: xdupfxb@pub.xaonline.com

经 销 新华书店

印 刷 陕西画报社印刷厂

版 次 1999年12月第1版 1999年12月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张: 24, 25

字 数 569千字

印 数 1-6000册

定 价 22.00元

ISBN 7-5606-0775-6/TN·0135

*** 如有印制问题可调换 ***

本书封面贴有西安电子科技大学出版社的激光防伪标志，无标志者不得销售。

出版说明

为做好全国电子信息类专业“九五”教材的规划和出版工作，根据国家教委《关于“九五”期间普通高等教育教材建设与改革的意见》和《普通高等教育“九五”国家级重点教材立项、管理办法》，我们组织各有关高等学校、中等专业学校、出版社，各专业教学指导委员会，在总结前四轮规划教材编审、出版工作的基础上，根据当代电子信息科学技术的发展和面向 21 世纪教学内容与课程体系改革的要求，编制了《1996—2000 年全国电子信息类专业教材编审出版规划》。

本轮规划教材是由个人申报，经各学校、出版社推荐，由各专业教学指导委员会评选，并由我们与各专指委、出版社协商后审核确定的。本轮规划教材的编制，注意了将教学改革力度较大、有创新精神、有特色风格的教材和质量较高、教学适用性较好、需要修订的教材以及教学急需、尚无正式教材的选题优先列入规划。在重点规划本科、专科和中专教材的同时，选择了一批对学科发展具有重要意义，反映学科前沿的选修课、研究生课教材列入规划，以适应高层次专门人才培养的需要。

限于我们的水平和经验，这批教材的编审、出版工作还可能存在不少缺点和不足，希望使用教材的学校、教师、学生和其他广大读者积极提出批评和建议，以不断提高教材的编写、出版质量，共同为电子信息类专业教材建设服务。

电子工业部教材办公室

前 言

本教材系按电子工业部的《1996—2000年全国电子信息类专业教材编审出版规划》，由全国大专计算机专业教学指导委员会编审、推荐出版。本教材由西安电子科技大学江晓安教授担任主编，上海理工大学杨有瑾老师担任副主编，西安电子科技大学徐甲同教授担任主审，责任编委顾藏知。

本教材的参考教学时数为80学时左右。全书共分两篇。

第一篇为电路分析基础，主要讲述电路的基本概念、基本定律和基本分析方法，电阻电路，动态电路和正弦稳态交流电路分析。本篇的学习将为学习电子技术及相关课程打下基础。

第二篇为模拟电子技术，主要内容为放大器、放大器分析基础、负反馈放大器、集成运算放大器原理及其应用、波形产生电路、功率放大器、直流电源。

本书编写的指导思想是：突出基本概念、基本原理、基本分析方法和工程应用；精选内容，突出集成电路的应用，编写时力求思路清晰，深入浅出，文字通顺，便于阅读。

本书适用于高等学校计算机科学及其应用专业和电子类的相关专业本科生和专科生。也可供从事相关专业的工程技术人员和科研人员参考。

本教材的第1、2、3、4章由西安电子科技大学陈生潭负责编写；第5、6章由杨有瑾负责编写；第7、8、9、10、11章由江晓安负责编写。

由于编者水平有限，书中难免还存在一些缺点和错误，殷切希望广大读者批评指正。

编 者

1999年10月

符号说明

一、基本符号

q	电荷	L	电感
φ	磁通	C	电容
I, i	电流	M	互感
U, u	电压	Z	阻抗
P, p	功率	X	电抗
W, w	能量	Y	导纳
R, r	电阻	B	电纳
G, g	电导	A	放大倍数

二、电压、电流

小写 $u(i)$ 、小写下标表示交流电压(电流)瞬时值(例如, u_o 表示输出交流电压瞬时值)。

小写 $u(i)$ 、大写下标表示含有直流的电压(电流)瞬时值(例如, u_o 表示含有直流的输出电压瞬时值)。

大写 $U(I)$ 、小写下标表示正弦电压(电流)有效值(例如, U_o 表示输出正弦电压有效值)。

大写 $U(I)$ 、大写下标表示直流电压(电流)(例如, U_o 表示输出直流电压)。

U, I 正弦电压、电流相量(复数量)

U_m, I_m 正弦电压、电流幅值

U_Q, I_Q 电压、电流的静态值

U_f, I_f 反馈电压、电流有效值

U_{CC}, U_{EE} 集电极、发射极直流电源电压

U_{BB} 基极直流电源电压

U_{DD}, U_{SS} 漏极和源极直流电源电压

U_s, I_s 直流电压源、电流源

u_s, i_s 正弦电压源、电流源

U_i 输入电压有效值

u_i 含有直流成分输入电压瞬时值

u_i 输入电压瞬时值

U_o, I_o	输出交流电压、电流有效值
u_o	含有直流成分输出电压的瞬时值
U_R	基准电压、参考电压、二极管最大反向工作电压
I_R	参考电流、二极管反向电流
U_+, I_+	运放同相端输入电压、电流
U_-, I_-	运放反相端输入电压、电流
U_{id}	差模输入电压信号
U_{ic}	共模输入电压信号
U_{oim}	整流或滤波电路输出电压中基波分量的幅值
U_{CEQ}	集电极、发射极间静态压降
U_{OH}	运放输出电压的最高电压
U_{OL}	运放输出电压的最低电压
I_{BQ}	基极静态电流
I_{CQ}	集电极静态电流
ΔU_{CE}	直流变化量
Δi_c	瞬时值变化量

三、电阻

R_s	信号源内阻
r_i	输入电阻
r_o	输出电阻
r_{if}	具有反馈时输入电阻
r_{of}	具有反馈时输出电阻
r_{id}	差模输入电阻
$R_p (R')$	运放输入端的平衡电阻
R_w	电位器(可变电阻器)
R_c	集电极外接电阻
R_b	基极偏置电阻
R_e	发射极外接电阻
R_l	负载电阻

四、放大倍数、增益

A_u	电压放大倍数 $A_u = U_o / U_i$
A_{us}	考虑信号源内阻时电压放大倍数 $A_{us} = U_o / U_s$, 即源电压放大倍数
A_{ud}	差模电压放大倍数
A_{uc}	共模电压放大倍数
A_{od}	开环差模电压放大倍数

A_{usm}	中频电压放大倍数
A_{usl}	低频电压放大倍数
A_{ush}	高频电压放大倍数
A_f	闭环放大倍数
A_{uf}	具有负反馈的电压放大倍数，即闭环电压放大倍数
A_i	开环电流放大倍数
A_{if}	闭环电流放大倍数
A_r	开环互阻放大倍数
A_{rf}	闭环互阻放大倍数
A_g	开环互导放大倍数
A_{gf}	闭环互导放大倍数
F	反馈系数
A_p	功率放大倍数

五、功率

p	瞬时功率
P	平均功率(有功功率)
Q	无功功率
\tilde{S}	复功率
S	视在功率
λ	功率因数
P_o	输出信号功率
P_c	集电极损耗功率
P_E, P_s	直流电源供给功率

六、频率

f	频率通用符号
ω	角频率通用符号
f_H	放大电路的上限截止频率。此时放大电路的放大倍数为 $A_{ush} = 0.707A_{usm}$
f_L	放大电路的下限截止频率。此时， $A_{usl} = 0.707A_{usm}$
f_{BW}	通频带(带宽) $f_{BW} = f_H - f_L$
f_{Hf}	具有负反馈时放大电路的上限截止频率
f_{Lf}	具有负反馈时放大电路的下限截止频率
f_{BWf}	具有负反馈时的通频带
f_α	共基极接法时三极管电流放大系数的上限截止频率
f_β	共射极接法时三极管电流放大系数的上限截止频率
f_T	三极管的特征频率

ω_0 谐振角频率、振荡角频率
 f_0 振荡频率

七、器件参数

V_D 二极管
 U_T 温度电压当量 $U_T = kT/q$ 、增强型场效应管的开启电压
 I_D 二极管电流、漏极电流
 I_S 反向饱和电流、源极电流
 I_F 最大整流电流
 U_{on} 二极管开启电压
 U_B PN 结击穿电压、基极直流电压
 V_{D_z} 稳压二极管
 U_z 稳压管稳定电压值
 I_z 稳压管工作电流
 $I_{z\max}$ 最大稳定电流
 r_z 稳压管的微变电阻
b 基极
c 集电极
e 发射极
 I_{CBO} 发射极开路，集—基间反向饱和电流
 I_{CEO} 基极开路、集—射间穿透电流
 I_{CM} 集电极最大允许电流
P 空穴型半导体
N 电子型半导体
 n 电子浓度
 p 空穴浓度
 $r_{bb'}$ 基区体电阻
 $r_{b'e}$ 发射结的微变等效电阻
 r_{be} 共射接法下，基射极间的微变电阻
 r_{ce} 共射接法下，集射极之间的微变电阻
 α 共基接法下，集电极电流的变化量与发射极电流的变化量之比，即 $\alpha = \Delta I_C / \Delta I_E$
 $\bar{\alpha}$ 从发射极到达集电极的载流子的百分数，或 $\bar{\alpha} = I_C / I_E$
 β 共射接法下，集电极电流的变化量与基极电流的变化量之比，即 $\beta = \Delta I_C / \Delta I_E$
 β 共射接法时，不考虑穿透电流时， I_C 与 I_B 的比值
 g_m 跨导

BU_{EBO}	集电极开路时, e - b 间的击穿电压
BU_{CEO}	集极开路时, c - e 间的击穿电压
$U_{\text{IO}}、I_{\text{IO}}$	集成运放输入失调电压、失调电流
I_{IB}	集成运放输入偏置电流
V	三极管
S_{R}	集成运放的转换速率
D	场效应管漏极
G	场效应管栅极
S	场效应管源极、整流电路的脉动系数
U_{P}	场效应管夹断电压
r_{DS}	场效应管漏源间的等效电阻
I_{DSS}	结型、耗尽型场效应管 $U_{\text{GS}}=0$ 时的 I_{D} 值
CMRR	共模抑制比
CMR	用分贝表示的共模抑制比, 即 $20 \lg \text{CMRR}$
Q	静态工作点、LC 回路的品质因数
τ	时间常数
η	效率
$\varphi(\theta)$	相角
φ_{r}	反馈网络的相移

目 录

第一篇 电路分析基础

第 1 章 电路基本概念和定律	1	2.5.1 戴维南定理	37
1.1 电路模型	1	2.5.2 诺顿定理	38
1.1.1 实际电路及其功能	1	2.5.3 最大功率传输条件	40
1.1.2 电路模型	2	2.6 受控源	42
1.2 电路变量	2	2.7 简单非线性电阻电路计算	45
1.2.1 电流	2	习题 2	48
1.2.2 电压	3	第 3 章 动态电路分析	53
1.2.3 能量和功率	5	3.1 动态元件	53
1.3 电阻元件	6	3.1.1 电容元件	53
1.3.1 线性电阻	7	3.1.2 电感元件	55
1.3.2 欧姆定律	7	3.1.3 电容、电感的串联和并联	57
1.3.3 电阻元件的吸收功率	8	3.2 电路变量初始值的计算	60
1.4 电源元件	9	3.2.1 换路定律	60
1.4.1 电压源	9	3.2.2 变量初始值的计算	60
1.4.2 电流源	10	3.3 一阶电路的零输入响应	62
1.5 基尔霍夫定律	10	3.3.1 一阶 RC 电路的零输入响应	62
1.5.1 基尔霍夫电流定律	11	3.3.2 一阶 RL 电路的零输入响应	64
1.5.2 基尔霍夫电压定律	13	3.4 一阶电路的零状态响应	66
1.6 电阻的串联和并联	15	3.4.1 一阶 RC 电路的零状态响应	66
1.6.1 电阻的串联	15	3.4.2 一阶 RL 电路的零状态响应	67
1.6.2 电阻的并联	16	3.5 一阶电路的完全响应	68
1.7 实际电源模型	18	习题 3	72
习题 1	22	第 4 章 正弦稳态电路分析	76
第 2 章 电阻电路分析	27	4.1 正弦信号的基本概念	76
2.1 支路电流法	27	4.1.1 正弦信号的三要素	76
2.2 节点电压法	29	4.1.2 相位差	77
2.3 网孔电流法	32	4.1.3 有效值	78
2.4 叠加定理	35	4.2 正弦信号的相量表示	79
2.5 等效电源定理	37	4.2.1 复数及其运算	79

4.2.2 正弦信号的相量表示	80	4.6 正弦稳态电路的功率	98
4.3 基本元件 VAR 和基尔霍夫定律 的相量形式	84	4.6.1 单口电路的功率	98
4.3.1 基本元件 VAR 的相量形式	84	4.6.2 最大功率传输条件	102
4.3.2 KCL、KVL 的相量形式	87	4.7 谐振电路	103
4.4 相量模型	88	4.7.1 串联谐振电路	104
4.4.1 阻抗与导纳	88	4.7.2 并联谐振电路	107
4.4.2 正弦电源相量模型	91	4.8 三相电路	110
4.4.3 正弦稳态电路相量模型	91	4.8.1 三相电源	110
4.4.4 阻抗和导纳的串、并联	92	4.8.2 三相电路的计算	112
4.5 相量法分析	95	习题 4	115

第二篇 模拟电子技术

第 5 章 半导体器件	122	6.3.1 图解法分析动态特性	165
5.1 半导体的基本知识	122	6.3.2 放大电路的非线性失真	167
5.1.1 半导体的导电特性	122	6.3.3 简化微变等效电路分析法	170
5.1.2 PN 结及其单向导电特性	124	6.4 工作点稳定的典型电路—— 射极偏置电路	177
5.2 半导体二极管	128	6.4.1 温度对工作点的影响	177
5.2.1 半导体二极管的结构与分类	128	6.4.2 射极偏置电路	177
5.2.2 二极管的伏安特性曲线	129	6.4.3 具有电流负反馈的共射极电路	181
5.2.3 二极管的主要参数	129	6.5 共集电极电路——射极输出器	182
5.2.4 二极管应用举例	132	6.5.1 电路结构	182
5.2.5 稳压管	133	6.5.2 电路分析	182
5.3 半导体三极管	136	6.5.3 电路的特点	185
5.3.1 BJT 的放大原理和电流关系	136	6.5.4 射极输出器的应用	185
5.3.2 BJT 的特性曲线	139	6.6 共基极电路	186
5.3.3 BJT 的三个工作区域	140	6.6.1 电路结构	186
5.3.4 BJT 的主要参数	142	6.6.2 电路分析	186
5.4 场效应晶体管	145	6.6.3 三种基本组态的比较	190
5.4.1 概述	145	6.7 场效应管放大电路	190
5.4.2 结型场效应管	145	6.7.1 共源极放大电路	190
5.4.3 绝缘栅场效应管	150	6.7.2 共漏极放大电路——源极 输出器	196
习题 5	156	6.8 多级放大器	198
第 6 章 放大电路分析基础	160	6.8.1 概述	198
6.1 放大电路工作原理	160	6.8.2 动态参数的计算	199
6.1.1 放大电路的组成原理	160	6.9 放大电路的频率特性	202
6.1.2 直流通路和交流通路	161	6.9.1 频率特性的基本概念	202
6.2 放大电路的直流工作状态	162	6.9.2 三极管的频率参数	204
6.2.1 解析法确定静态工作点	162	6.9.3 对数频率特性	206
6.2.2 图解法确定静态工作点	163	6.9.4 多级放大电路的频率特性	210
6.2.3 电路参数对静态工作点的影响	164		
6.3 放大电路的动态分析	165		

习题 6	211	8.4.1 偏置电路	262
第 7 章 负反馈放大电路	222	8.4.2 输入级	263
7.1 反馈的基本概念	222	8.4.3 中间级	263
7.1.1 反馈的定义	222	8.4.4 输出级和过载保护	263
7.1.2 反馈的分类及判断	222	8.5 集成运放的性能指标	264
7.2 负反馈的四种组态	224	8.6 集成运放应用基础	268
7.2.1 反馈的一般表达式	224	8.6.1 低频等效电路	268
7.2.2 串联电压负反馈	225	8.6.2 理想集成运算放大电路	268
7.2.3 串联电流负反馈	226	8.6.3 集成运放工作在线性区	269
7.2.4 并联电压负反馈	227	8.6.4 集成运放工作在线性区	270
7.2.5 并联电流负反馈	228	8.7 运算电路	270
7.3 负反馈对放大电路性能的影响	229	8.7.1 比例运算电路	270
7.3.1 提高放大倍数的稳定性	229	8.7.2 和、差电路	272
7.3.2 减小非线性失真和抑制干扰、 噪声	230	8.7.3 积分电路和微分电路	275
7.3.3 扩展频带	231	8.7.4 对数和指数运算电路	276
7.3.4 负反馈对输入电阻的影响	232	8.8 有源滤波器	278
7.3.5 负反馈对输出电阻的影响	234	8.8.1 低通滤波电路	280
7.4 负反馈放大电路的计算	235	8.8.2 高通滤波电路	282
7.4.1 深负反馈放大电路电压放大倍数 的近似估算	236	8.8.3 带通滤波电路和带阻滤波电路	284
7.4.2 串联电压负反馈	237	8.9 电压比较器	285
7.4.3 串联电流负反馈	237	8.9.1 简单电压比较器	285
7.4.4 并联电压负反馈	238	8.9.2 滞回比较器	287
7.4.5 并联电流负反馈	239	8.10 集成运放应用举例	289
7.5 负反馈放大电路的自激振荡	240	8.11 集成运算放大器实际使用中 的一些问题	292
7.5.1 产生自激振荡的原因及条件	240	8.11.1 集成运放参数的测试	292
7.5.2 消除自激振荡的常用方法	240	8.11.2 异常现象的分析和排除	292
习题 7	241	8.11.3 集成运放的保护	293
第 8 章 集成运算放大器	245	习题 8	295
8.1 零点漂移	246	第 9 章 波形产生电路	304
8.2 差动放大电路	246	9.1 非正弦波产生电路	304
8.2.1 基本形式	246	9.1.1 单运放非正弦波产生电路	305
8.2.2 长尾式差动放大电路	248	9.1.2 双运放非正弦波产生电路	307
8.2.3 恒流源差动放大电路	252	9.1.3 锯齿波产生电路	309
8.2.4 差动放大电路的 4 种接法	253	9.2 集成函数发生器 ICL8038 简介	310
8.3 电流源电路	258	9.3 正弦波产生电路	314
8.3.1 镜像电流源电路	258	9.3.1 正弦波产生振荡的条件	314
8.3.2 威尔逊电流源	258	9.3.2 正弦波振荡器的电路组成	315
8.3.3 微电流源	259	9.3.3 RC 正弦波振荡电路	315
8.3.4 多路偏置电流源	260	9.3.4 LC 正弦波振荡电路	318
8.3.5 作为有源负载的电流源电路	261	习题 9	325
8.4 集成运算放大器介绍	261	第 10 章 功率放大器	329
		10.1 概述	329

10.1.1 功率放大器的特点	329	11.2.2 其它形式的滤波电路	353
10.1.2 提高输出功率的方法	330	11.3 倍压整流	355
10.1.3 提高效率的方法	330	11.3.1 二倍压整流电路	355
10.2 互补对称功率放大电路	332	11.3.2 多倍压整流电路	355
10.2.1 双电源互补对称电路 (OCL 电路)	332	11.4 稳压电路	356
10.2.2 单电源互补对称电路 (OTL 电路)	338	11.4.1 稳压电路的主要指标	356
10.2.3 实际功率放大电路举例	338	11.4.2 硅稳压管稳压电路	356
10.3 集成功率放大器	339	11.4.3 串联型稳压电路	359
10.3.1 内部电路组成简介	340	11.5 集成稳压电路	363
10.3.2 DG4100 集成功放的 典型接线法	341	11.5.1 基本应用电路	363
习题 10	342	11.5.2 扩大输出电流的电路	363
第 11 章 直流电源	345	11.5.3 扩大输出电压的电路	363
11.1 单相整流电路	345	11.5.4 输出电压可调的电路	364
11.1.1 单相半波整流电路	345	11.6 开关稳压电路	364
11.1.2 单相全波整流电路	347	11.6.1 串联型开关稳压电源	365
11.1.3 单相桥式整流电路	349	11.6.2 工作原理和稳压过程	366
11.2 滤波电路	350	11.6.3 采用集成控制器的开关直流 稳压电源	367
11.2.1 电容滤波电路	350	11.6.4 并联型开关稳压电源	368
		习题 11	370
		参考文献	374

第一篇

电路分析基础

第 1 章 电路基本概念和定律

1.1 电路模型

1.1.1 实际电路及其功能

一个实际电路，它是由电气器件构成，并具有一定功能的连接整体。

组成实际电路的电气器件种类繁多、性能各异。常用的有电池、信号产生器、电阻器、电容器、电感器、开关、晶体管等。其中电池可以提供电能，信号产生器可以输出多种标准信号，电阻器可以消耗电能，电感器可以存储磁场能等等。

图 1.1(a)是一个简单的照明电路，由电池、开关、连接导线、灯泡组成。其作用是把由电池提供的电能传送给灯泡并转换成光能。图 1.1(b)是计算机电路组成的简化框图，它的基本功能是通过处理输入信号实现数值计算。人们在键盘上输入计算数据和步骤，编码器将输入信号表示成二进制数码，经运算、存储、控制部件处理得到计算结果，然后在显示器上输出。

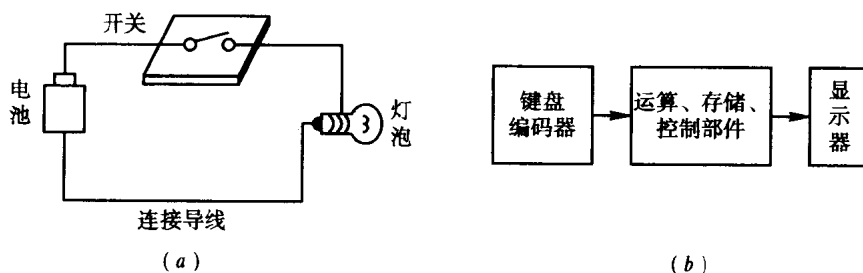


图 1.1 实际电路

电路的基本功能是：(1) 实现电能的产生、传输、分配和转换；(2) 完成电信号的产生、传输、变换和处理。

在电路理论中，常把提供电能或信号的器件、装置称为电源，使用电能或电信号的设备称为负载。显然，对于图 1.1 电路，电池和键盘、编码器是电源，灯泡和显示器是负载。

1.1.2 电路模型

电路理论主要研究电路中发生的各种电磁现象,包括电能的消耗现象和电磁能的存储现象。一般这些现象交织在一起,同时发生在整个电路中。为了简化分析,对实际电路采用“模型化”方法处理。首先,针对一些基本电磁现象(如电磁能消耗、电场能存储、磁场能存储等)建立相应的模型,称为理想元件或元件,并用统一符号标记。理想元件在物理上描述了基本电磁现象,在数学上也有严格的定义。例如,电阻元件就是描述电磁能消耗现象,电流电压关系满足代数方程的一种理想电路元件。电容、电感元件分别是描述电场能、磁场能存储现象的理想元件,其电流、电压满足微分或积分关系。接着,对实际器件,在一定条件下,忽略其次要性质,用理想元件或其组合表征它的主要特性。该理想元件或其组合构成实际器件的模型,称为器件模型。建立器件模型时应注意下面两点:(1)在一定条件下,不同器件可以具有同一种模型。比如,电阻器、灯泡、电炉等,这些器件在电路中的主要特性都是消耗电能,因此都可用理想电阻元件作为它们的模型。(2)对于同一器件,在不同应用条件下,往往采用不同形式的模型。例如,一个线圈在工作频率较低时,用理想电感元件作为模型;在需要考虑能量损耗时,使用理想电阻和电感元件串联电路作为模型;而在工作频率较高时,则应进一步考虑线圈绕线之间相对位置的影响,这时模型中还应包含理想电容元件。最后,把实际电路中的器件用相应的器件模型代替,得到实际电路的模型,称为电路模型。这种用模型符号画出的电路连接图称为电原理图,简称电路图或电路。由于理想元件在数学上有明确定义,因此结合电路连接规律,就可采用数学方法解决电路问题。在一定精度范围内,分析结果反映了实际电路的物理特性。

图 1.1(a)照明电路的电路模型如图 1.2 所示。图中电池用电压源 U_s 和内阻 R_s 表示,负载用电阻 R_L 表示。S 为开关,连接导线的电阻值很小,一般忽略不计,用理想导线表示。

但是必须指出,允许进行上述模型化处理的前提条件是:假设电路中的基本电磁现象可以分别研究,并且相应的电磁过程都集中在各理想元件内部进行。这就是电路理论中所谓的集中化假设。满足集中化假设的理想元件称为集中(参数)元件,由这类元件构成的电路称为集中(参数)电路。

在工程应用中,为了保证集中参数电路能有效地描述实际电路,获得有意义的分析结果,要求实际电路的几何尺寸应远小于工作电磁波的波长。如果不是这样,它就不能采用集中参数电路模型来描述。本书只讨论集中参数电路。

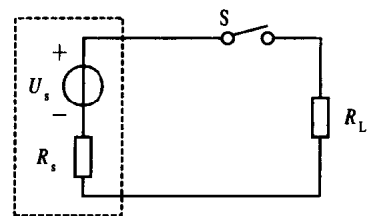


图 1.2 电路模型

1.2 电路变量

电路变量是描述电路特性的物理量,常用的变量是电流、电压和功率。

1.2.1 电流

电荷有规则的定向运动形成电流。计量电流大小的物理量是电流强度,简称电流,记

为 $i(t)$ 或 i 。电流强度的定义是：单位时间内通过路径中导体横截面的电荷量，即

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

式中 q 是沿指定方向通过导体横截面 S 的正电荷 q_+ 与反方向通过该截面负电荷 q_- 的绝对值之和。电荷单位为库仑(C)，时间单位为秒(s)时，电流单位为安培(A)。在电力系统中，通过设备的电流较大，采用安或千安(kA)作单位。而电子电路中的电流则较小，常用毫安(mA)或微安(μ A)作单位，其换算关系是

$$\begin{aligned} 1 \text{ kA} &= 10^3 \text{ A} \\ 1 \text{ A} &= 10^3 \text{ mA} = 10^6 \mu\text{A} \end{aligned}$$

电流除了大小外，还需考虑方向。习惯上规定正电荷运动方向为电流的实际方向。然而在具体问题中，电流实际方向往往难以直接确定。考虑到集中元件中的电流，如果存在，则其方向只有两种可能，表明电流是一种代数量。因此分析电路时，可任意指定一种方向作为计算时的参考，称为电流的参考方向。同时规定，如果参考方向与实际方向一致，电流记为正值；如果两者方向相反，则记为负值。这样，在指定参考方向前提下，结合电流的正负值就能够判定出它的实际方向。

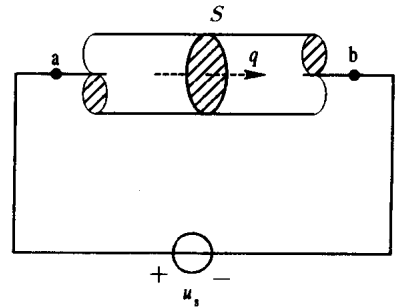


图 1.3 电流强度

电流的参考方向，一般用箭头符号直接标记在电流通过的路径上。有时也采用双下标标记法，如 i_{ab} 表示其参考方向由 a 指向 b。通常，电路图中仅标出电流的参考方向。

1.2.2 电压

图 1.1(a) 中，电流使灯丝发光是电场力对电荷做功的结果。为了计量电场力做功的能力，引入电压物理量，记为 $u(t)$ 或 u 。其定义是：电路中 a、b 两点间的电压，在数值上等于单位正电荷从 a 点沿电路约束的路径移至 b 点时电场力所作的功。用公式表示为

$$u(t) = \frac{d\omega(t)}{dq(t)} \quad (1-2)$$

式中电荷单位为库仑(C)，功的单位是焦耳(J)，电压的单位是伏特(V)。实际应用中，电压也常用千伏(kV)、毫伏(mV)或微伏(μ V)作单位。

电压也可用电位差表示，即

$$u = u_a - u_b \quad (1-3)$$

式中， u_a 和 u_b 分别为 a、b 两点的电位。电位是描述电路中电位能分布的物理量。电路中某点的电位定义为将单位正电荷从该点移至参考点时电场力做功的大小。参考点是电路中任意选定的一个点，规定其电位为零，用符号“ \perp ”表示。由此可见，电路中任一点与参考点之间的电压值就是该点的电位。

规定电位真正降低的方向为电压的实际方向，其高电位端，用“+”标记，称为正极性端；低电位端，用“-”标记，称为负极性端。也可采用双下标方法，如 u_{ab} 表示 a、b 端分别为正、负极性端。电压实际方向表示如图 1.4 所示。

根据定义，电压也是代数量。与电流类似，分析计算时，需要指定一个参考方向(也称