

电子线路

杨崇志 陈秉钧 编

吉林大学出版社

内 容 提 要

本书是为综合大学化学专业及相近专业编写的电子线路课教材,也可作为师范院校等有关专业的教材及从事电子线路工作人员的参考书。为此在该书中编写了一些与化学及相近专业有关的电子学内容。

该书大体上是按先分立元件电路后集成电路、先模拟电路后数字电路、先基础后应用的顺序编写的。

全书共分十四章,包括电路分析基础,半导体二极管及其应用、三极管工作原理,放大器分析方法,负反馈放大器、功率放大器、场效应管及其放大电路、集成运算放大器、正弦波振荡器、脉冲电路(包括各种门电路和集成触发器)、数字电路基础、稳压和稳流电源、可控整流电路以及自动温度控制等内容。

电 子 线 路

杨崇志 陈秉钧 编

*

吉林大学出版社出版 吉林省新华书店发行

长春科技印刷厂印刷

*

850×1168 大32开 13印张 插页1 320 000字

1988年5月第1版

1988年5月第1次印刷

印数: 1—3 500册

ISBN 7-5601-0099-6/TN·1

定价: 2.75元



出 版 说 明

根据教学需要，我们出版了这套《吉林大学本科生教材》，这套教材适合高等学校本科生基础课或选修课的教学，由我社逐年陆续出版。

吉林大学出版社

前 言

当今的时代，电子科学已进入各学科及各生产领域。不仅在物理实验中大量使用电子仪器，对各种物理量及物理过程进行测量和监控，而且在化学领域中的化学分析方法也逐步为仪器分析所取代。在各生产领域中生产过程的监测或自动化生产的实现更是与电子学结下了不解之缘。作为现代理科大学学生（不管是物理专业还是化学专业的）都应掌握必要的电子学知识，才能适应现代科学研究及生产的需要。

本书编写中除注意理科教学对电子线路课的一般要求外，还考虑了1980年以来几次全国理科电子线路课教学工作会议上许多同志提出的建议，适当注意了化学专业教学及化学专业学生的特点。

考虑到分立元件是集成电路的基础和集成电路的迅速发展情况，本教材编写原则为先基础后应用、先分立元件电路后集成电路，先模拟电路后数字电路。为了有助于读者学习电子线路课，本书开头写了电路分析基础知识。第二章到第七章分析了由分立元件构成的基本放大电路及负反馈原理。第八章、第十章及第十一章的内容是以集成电路为主的运算放大器及脉冲、数字电路。第九章和第十二章分别叙述了用分立元件和集成电路构成的振荡器及稳压、稳流电源的原理。为了适应实验和生产的需要，本书还编入了可控整流技术及控温技术，并举例分析了自动控温仪的工作原理。

为了适应理科学生学习的特點，在编写该教材时力求使本书既注意理论分析的系统性和连贯性，又注意使分析、计算不至于烦琐和复杂，因而该书也可作为师范院校理科学生的教材。

为了便于对课程内容的理解和便于自学，本书每章之后附有一定数量的思考题和习题。

由于编者水平有限，在语言或内容上一定存在不少错误或不妥之处，请读者给予指正。

此书编写过程中曾得到吉林大学电子科学系孟凡英及化学系曹祥发等同志的热情帮助，谨在这里表示感谢。

编 者

1987年10月于吉林大学

目 录

第一章 电路分析基础知识	1
§ 1. 1 电阻及欧姆定律.....	1
§ 1. 2 电源.....	2
一、电压源.....	3
二、电流源.....	4
三、电压源与电流源的互相转换.....	5
§ 1. 3 克希霍夫定律.....	5
§ 1. 4 求解线性电路的常用定理.....	9
一、迭加定理.....	9
二、代文宁定理.....	11
三、诺顿定理.....	13
§ 1. 5 电容、电感及RC电路暂态特性.....	14
一、电容和电感的特性.....	14
二、RC电路的暂态过程.....	16
§ 1. 6 交流电路的复数解法.....	20
一、复数及其运算法则.....	20
二、电感、电容的交流阻抗.....	22
三、交流电路的复数解法.....	24
§ 1. 7 直流电桥.....	30
习题与思考题.....	32
第二章 半导体二极管和整流电路	36
§ 2. 1 半导体导电特性.....	36
一、本征半导体导电机理.....	37
二、n型半导体和p型半导体.....	41

§ 2. 2	p-n 结的形成及其特性	44
一、	p-n 结的形成	44
二、	p-n 结的整流特性	46
三、	p-n 结反向击穿特性	50
四、	p-n 结电容效应	51
§ 2. 3	半导体二极管及主要参数	53
§ 2. 4	二极管整流电路	55
一、	半波整流电路	55
二、	全波整流电路	57
三、	桥式整流电路	59
§ 2. 5	滤波电路	61
一、	电容滤波	61
二、	Π 型滤波电路	63
§ 2. 6	二极管限幅器	64
一、	二极管限幅器	64
二、	二极管箝位电路	65
习题与思考题		66

第三章 晶体管工作原理及特性

§ 3. 1	晶体管结构和工作原理	69
一、	晶体管的结构	69
二、	晶体管工作原理	71
§ 3. 2	晶体管共射极特性曲线	75
一、	输入特性曲线	75
二、	输出特性曲线	78
§ 3. 3	晶体管的主要参数	81
一、	直流参数	81
二、	极限参数	82
习题与思考题		84

第四章 基本放大器分析	87
§ 4. 1 单管放大器的工作原理.....	87
一、直流负载线.....	88
二、交流信号的放大过程.....	90
三、交流负载线.....	93
§ 4. 2 直流工作点的设置及偏置电路.....	95
一、工作点对失真的影响.....	95
二、定基流偏置电路.....	96
三、温度对工作点的影响.....	98
四、射极反馈式偏置电路.....	99
§ 4. 3 等效电路法分析放大器.....	102
一、晶体管 h 参数等效电路.....	102
二、放大器交流等效电路.....	103
三、用等效电路分析放大器特性.....	104
* 放大倍数的分贝表示法.....	108
§ 4. 4 射极跟随器.....	109
一、射极跟随器的工作原理.....	109
二、共射极放大器、共集电极放大器和共基极放大器 比较.....	113
§ 4. 5 放大器的频率特性.....	115
§ 4. 7 多级阻容耦合放大器.....	118
§ 4. 7 谐振放大器.....	121
一、LC并联谐振回路的特性.....	121
二、谐振放大器的分析.....	130
习题与思考题.....	133
第五章 负反馈放大器	139
§ 5. 1 反馈的基本概念.....	139
一、什么是反馈.....	139

二、负反馈和正反馈·····	140
§ 5. 2 负反馈放大器分类及判别方法·····	142
一、负反馈放大器的分类·····	142
二、负反馈类型判别举例·····	143
三、基本放大器和反馈系数的确定方法·····	147
§ 5. 3 负反馈对放大器性能的影响·····	149
一、负反馈能提高放大器的稳定性·····	149
二、负反馈对放大器输入阻抗的影响·····	150
三、负反馈对放大器输出阻抗的影响·····	151
§ 5. 4 负反馈放大器的分析·····	151
一、电流串联负反馈放大器的分析·····	151
二、电压并联负反馈放大器的分析·····	154
三、电压串联负反馈放大器的分析·····	156
习题与思考题·····	157

第六章 功率放大器····· 162

§ 6. 1 功率放大器的分类·····	162
§ 6. 2 互补推挽功率放大器·····	164
一、OCL互补推挽功率放大器的工作原理·····	164
二、实用OCL推挽放大器·····	170
三、OTL互补推挽放大器·····	173
§ 6. 3 变压器耦合推挽电路·····	174
习题与思考题·····	176

第七章 场效应晶体管及其放大器····· 178

§ 7. 1 结型场效应晶体管(JFET)的结构和工作原理··	178
一、结构·····	178
二、工作原理·····	179
三、特性曲线·····	180

§ 7. 2 绝缘栅场效应管的工作原理	183
一、结构	183
二、工作原理	184
三、特性曲线	185
§ 7. 3 场效应管的主要参数及交流等效电路	186
一、结型场效应管的主要参数	186
二、场效应管的跨导 g_m	186
三、场效应管小信号交流等效电路	187
§ 7. 4 场效应管放大器	188
一、场效应管的偏置电路	188
二、等效电路法分析放大器	190
习题与思考题	192
第八章 集成运算放大器及其应用	194
§ 8. 1 直流放大器与零点漂移	194
§ 8. 2 差分放大器	198
一、放大原理	199
二、对零点漂移的抑制作用	201
三、差分放大器的输入阻抗	203
四、对差分放大器的改进	203
§ 8. 3 集成运算放大器结构及特性	205
一、集成运算放大器内部结构	205
二、集成运算放大器的特性	209
§ 8. 4 信号放大电路	210
一、反相运算放大器	210
二、同相运算放大器	212
三、差动运算放大器	214
§ 8. 5 信号运算电路	215
§ 8. 6 电压比较器	217

一、单限比较器·····	217
二、双限比较器·····	219
§ 8. 7 集成运算放大器使用注意事项·····	220
一、集成运算放大器的主要参数·····	220
二、使用方法及注意事项·····	222
习题与思考题·····	223
第九章 正弦波反馈振荡器 ·····	229
§ 9. 1 反馈振荡器自激条件·····	229
§ 9. 2 LC振荡器 ·····	233
一、变压器反馈式LC振荡器 ·····	234
二、三点式振荡器·····	236
三、LC振荡器的能量关系 ·····	238
§ 9. 3 晶体振荡器·····	239
§ 9. 4 RC振荡器 ·····	242
一、串并联RC选频电路特性 ·····	242
二、文氏桥振荡器·····	244
习题与思考题·····	246
第十章 脉冲电路 ·····	250
§ 10.1 脉冲波形及其主要参数·····	250
§ 10.2 晶体管开关特性·····	252
一、开关元件的一般特性·····	252
二、三极管的开关特性·····	253
§ 10.3 逻辑电路·····	257
一、基本逻辑关系及电路·····	258
二、TTL “与非” 门电路·····	262
§ 10.4 双稳态触发器·····	265
一、基本双稳触发器的工作原理·····	265

二、主从 J-K 触发器	268
§ 10.5 单稳态触发器	274
一、TTL 与非门单稳态触发器	275
二、晶体管单稳态触发器	277
§ 10.6 自激多谐振荡器	278
一、晶体管自激多谐振荡器	278
二、TTL 与非门 RC 环形多谐振荡器	279
§ 10.7 晶体管间歇振荡器	281
一、脉冲变压器	282
二、间歇振荡器的工作过程	283
习题与思考题	288
第十一章 数字电路基础	293
§ 11.1 逻辑函数及其化简	294
一、逻辑代数的基本定律	294
二、逻辑函数的建立	296
三、用逻辑代数化简逻辑函数	298
四、用卡诺图化简逻辑函数	299
§ 11.2 数字在电路中的表示	303
一、二进制数	303
二、编码器	305
三、译码器	307
§ 11.3 加法器	312
一、半加器	313
二、全加器	314
§ 11.4 寄存器	316
一、数码寄存器	316
二、移位寄存器	317
§ 11.5 计数器	319

一、二进制计数器·····	319
二、同步十进制计数器·····	323
§ 11.6 模-数和数-模转换器·····	325
一、单斜式模-数转换器 ·····	325
二、权电阻数-模转换器 ·····	327
习题与思考题·····	330
第十二章 直流稳压、稳流电路·····	334
§ 12.1 二极管稳压电路·····	334
一、硅稳压二极管的特性·····	334
二、二极管稳压电路工作原理·····	335
§ 12.2 晶体管串联型稳压电路·····	337
一、串联型稳压电路及工作原理·····	337
二、稳压电路中元件的选取·····	338
三、提高稳压器性能的几个措施·····	340
四、集成稳压电路·····	343
§ 12.3 直流稳流电源·····	344
习题与思考题·····	348
第十三章 可控调压电路·····	350
§ 13.1 单结晶体管·····	350
一、单结晶体管工作原理及特性·····	350
二、单结晶体管张弛振荡器·····	352
§ 13.2 可控硅的结构及工作原理·····	354
§ 13.3 单相可控整流电路·····	358
§ 13.4 可控硅交流调压电路·····	362
习题与思考题·····	364
第十四章 自动控温电路·····	365

§ 14.1 温度自动控制的基本原理·····	365
一、自动控制系统的基本结构·····	365
二、简易自动控温电路·····	367
§ 14.2 比例、积分、微分控制原理·····	369
一、比例控制·····	369
二、积分控制·····	371
三、微分控制·····	372
四、P·I·D控制作用 ·····	373
§ 14.3 DWT-702 温度自动控制仪 ·····	376
一、电路图及方框图·····	377
二、毫伏定值器·····	377
三、调制式直流放大器·····	381
四、P·I·D调节器·····	387
五、功率执行部分·····	391
习题与思考题·····	392
附录 半导体器件命名法 ·····	394
一、我国半导体器件命名法·····	394
二、日本和美国半导体器件命名法·····	394

第一章 电路分析基础知识

电子线路是由电阻、电容、电感、电源及晶体管、集成电路等构成的，而晶体管、集成电路在一定条件下可以等效为一些电阻、电容、电源等元件的组合。因此对电子线路的分析往往可归结为对电阻、电容、电感及电源电路的分析。所以电路分析乃是分析电子线路的基础。

§ 1.1 电阻及欧姆定律

任何物体都具有传导电流和阻碍电流运动的双重性质。描写其传导电流能力的参数为电导，常用字母 G （或 g ）表示，而描写其阻碍电流传导能力的参数为电阻，常用字母 R （或 r ）表示。如果一个物体导电性能好，那么其电阻就小；反之，如果导电性能不好，那么电阻就大。一个物体的电阻和电导是互为倒数的，即

$$R = \frac{1}{G} \quad 1-1$$

一个物体的电阻 R 等于其两端电压 V 与流过它的电流 I 之比，即

$$R = \frac{V}{I}$$

或者说，一个电阻两端的电压 V 等于流过它的电流 I 与其阻值 R 的乘积，即

$$V = R \cdot I \quad 1-2$$

这就是欧姆定律。

公式中电流 I 用安培（A）作单位，电压 V 用伏特（V）

作单位，电阻 R 以欧姆 (Ω) 作单位。当一个电阻两端电压为 1 V ，且流过它的电流为 1 A 时，那么该电阻的阻值为 $1\ \Omega$ 。当阻值为 $1000\ \Omega$ 时可简称为 $1\text{ k}\Omega$ ，而 $1000\text{ k}\Omega$ 又可简写为 $1\text{ M}\Omega$ 。

电导的单位是西门子 (S)、 $1\text{ S} = \frac{1\text{ A}}{1\text{ V}}$ 。注意，从前电导的单位用姆欧 (σ) 表示。

这里应说明两点：

(1) 严格地说任何物体的电阻 R 都不是常数，而是随流过它的电流或加于它两端的电压的变化有一定变化，所以是非线性的。但是在一定条件下，许多电阻(例如常用的金属膜电阻、碳膜电阻、线绕电阻等)，随电流或电压的变化是很微小的，可以近似地认为它们的阻值 R 是不随电流或电压而变的，也不随时间而变，是个常数，被称为线性电阻。对于线性电阻，流过它的电流不论是直流电流还是交流电流，公式 1-2 在任意时刻都是成立的，也就是说，电流和电压之间具有同位相的关系。

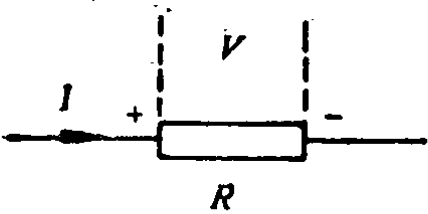


图 1-1

今后凡不特别说明，我们所说的电阻都是线性电阻。

(2) 电阻中电流的方向规定为从高电位流向低电位，即电阻中电流方向为其两端的电压降方向，如图 1-1 所示。

§ 1.2 电 源

我们知道，电阻、电容及电感都是不能产生电能的元件，因此统称为无源元件。在电路中除大量使用无源元件外，还必须要有能向电路提供电能的有源元件——电源。例如，提供直流电能的干电池、提供交流电能或交流信号的装置，都是电源。这些电源，由于它们的参数完全由它们的自身特性决定，所以相

对于外电路而言被称为“独立源”。以后我们会看到，有些电源的存在及其参数是与外电路有关的，它们是“非独立源”，或称为“受控源”。

这一节我们仅讨论独立源。

一个电源与一个负载电阻 R_L 相接后，它将向这个电阻提供一定的电压和电流。因此若用电压参数来描写该电源，则可把该电源说成是电压源；如果用电流参数描写该电源，则可说该电源为电流源。由于两种描写都是针对同一电源的，所以两种电源之间是有一定关系的。

一、电压源

如果一个电源向负载电阻 R_L 输出的电压 V_0 不随负载变化而变化，即不随流过该电源的电流变化而变化，那么它被称为“电压源”（这里说的不变，不是指电压不随时间而变。比如，交流电源当输出电压的振幅不随负载变化时，也是电压源）。

但是，任何实际电源给予负载电阻 R_L 的电压 V_0 总是与电阻 R_L 的大小有关的。 R_L 值越小，电压 V_0 则越小； R_L 越大， V_0 则越大。造成这种现象的原因是任何实际电源总是有一定内电阻（简称内阻）存在。一个电源总可以用这个内阻（通常用 R_s 或 r_s 表示）与一个电压源串联来表示。如图 1-2 所示。左图代表实际直流电压源，而右图代表一般实际电压源，如交流或直流电压源。都统称为实际电压源。

显然，电压源电压 V_s 等于该电源开路（即 $R_L = \infty$ ）时的端电压。

当把电阻 R_L 接到具有内阻 R_s 的电源上时，由于负载电流 I 同时也流过电源之内阻 R_s ，形成压降 $R_s \cdot I$ ，所以电源的端电压 V_0 不再是电压源电压 V_s ，而是

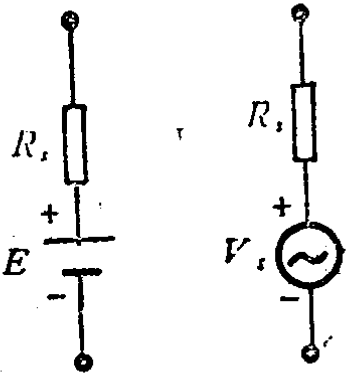


图 1-2