



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

电子线路

第五版

主 编 梁明理

副主编 朱 俊 孙尽尧



高等教育出版社
Higher Education Press

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

电子线路

第五版

主编 梁明理

副主编 朱俊 孙尽尧

高等教育出版社

内容简介

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材。

随着科学技术的迅猛发展,各类专业设置的课程有所增加,电子线路课程的学时有所减少的趋势。为适应这种形势,本书力争修订成一本更加简明的教材,经过弃粗取精、突出重点,在第四版共 11 章的基础上,修订为新版的 10 章。

本书主要内容包括:基本半导体器件、放大电路基础、集成运算放大电路、反馈放大电路、波形发生电路、直流稳压电源、数字电路基础、组合逻辑电路、触发器和时序逻辑电路、脉冲电路及模数转换。

本书由华中科技大学陈大钦教授审稿。

本书可作为高等学校理科物理专业电子线路课程的教材,也适用于高等院校电子线路课时较少的各类专业教学使用,还可供从事电子线路工作的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电子线路/梁明理主编.—5 版.—北京:高等教育出版社,2008.12

ISBN 978-7-04-024929-3

I. 电... II. 梁... III. 电子电路-高等学校-教材 IV. TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 176657 号

| | | | | | |
|------|-----|------|-----|------|-----|
| 策划编辑 | 吴陈滨 | 责任编辑 | 吴陈滨 | 封面设计 | 于文燕 |
| 责任绘图 | 尹莉 | 版式设计 | 余杨 | 责任校对 | 姜国萍 |
| 责任印制 | 朱学忠 | | | | |

出版发行 高等教育出版社
社址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100120
总机 010-58581000

经销 蓝色畅想图书发行有限公司
印刷 北京鑫海金澳胶印有限公司

开本 787×960 1/16
印张 29
字数 540 000

购书热线 010-58581118
免费咨询 800-810-0598
网址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版次 1979 年 2 月第 1 版
2008 年 12 月第 5 版
印次 2008 年 12 月第 1 次印刷
定价 33.10 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 24929-00

第五版前言

《电子线路》(第五版)是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,新版是在第四版的基础上,通过教学实践、总结提高修订而成的。

理科是实验科学的学科,学生在实践中需要很多电子技术知识,因而要求电子线路课程应给学生打好一个有一定深度和广度的基础,但由于理科的课程很多,一般只能给电子线路课程安排72~90学时。随着科学的日益发展,理科教学计划安排的课程有所增加,电子线路课程的学时数有被压缩的趋势,而在新的形势下,电子技术领域的内容,将更加丰富。因此要求本书要进一步抓住重点,精选内容,删繁就简,修订成一本更加简明的教材。为了达到这一要求,本书修订时着重作了下述两点安排:

1. 压缩模拟电路,将第四版中共7章的模拟电路修订为新版的6章,削减了理科可不作要求的反馈若干分析、模拟乘法器和有源滤波等内容。

2. 加强数字电路,对这部分内容,仅删弃了数字电压表等少量内容。由于模拟电路压缩较多,相对地加强了数字电路。

本版1、2、3、4章由朱俊修订,第5、6、7章由梁明理修订,第8、9、10章由孙尽尧修订。梁明理为主编,负责全书编写的策划、组织和定稿,朱俊、孙尽尧为副主编,协助主编工作。

本书由华中科技大学陈大钦教授审稿。陈教授以十分严谨的科学态度,认真细致地审阅了全书,提出了许多宝贵的意见,为提高本书的质量作出了很大的贡献,在此谨表衷心的感谢!同时,也向给本书前版提出意见和建议的读者和教师表示衷心的感谢!

由于编者学术水平的限制以及编写工作的疏漏,新版书中必有错误和不妥之处,恳请读者批评指正。

编者

于武汉大学物理科学与技术学院

2008年6月

第一版前言

本书是根据1977年10月全国高等学校理科物理教材会议为物理专业拟订的《电子线路》大纲编写的。全书分上、下两册。上册有线性电路基础、半导体二极管和晶体管、放大器的基本分析方法、负反馈放大器和常用放大器等五章；下册有正弦振荡与非线性变换、脉冲电路、数字集成电路和直流电源等四章。书中加*号的部分为参考资料，可不列入教学内容。本书与我组所编《电子线路实验》一书配套，组成电子线路理论课和实验课的教材。

本书经《电子线路》教材审稿会审订。参加审稿会的单位有厦门大学(主审单位)等十三个院校。参加审稿会的同志和我校物理系、空间物理系审阅本书的同志，提出了不少宝贵的意见，在此一并致以衷心的感谢。

本书第一、七、八章和上册附录由卢孝先编写，第二、三、六、九章和下册附录由梁明理编写，第四、五章由廖孟扬编写。

由于我们水平有限，编写时间仓促，书中必有错误和不妥之处，希望读者批评指正。

武汉大学《电子线路》教材编写组

1978年12月

第二版前言

本书是参照1980年6月教育部制订的“综合大学物理学专业电子线路教学大纲”，在武汉大学电子线路教材编写组编《电子线路》第一版的基础上经过改编写成的。它适用于72学时(打*号内容不列入教学计划)至90学时的教学计划，可作为理科电子线路课程的教材。

本书大体上按照“器件-模拟-数字”的体系编排。第二章为器件部分，第三至七章、十一章为模拟电路，第八至十章为数字电路。第一章简述了本课将涉及的几个线性电路和信号的问题，以弥补学生在学习本课之前电路方面知识的不足。

为了与80年代电子技术的发展相适应，本版加强了线性集成电路和数字集成电路的内容。相应削减了分立元件的功率放大、多级放大、稳压电源、脉冲电路、门电路和触发器等内容。

本书在编写过程中，注意精选内容，避免浓缩和烦琐，在内容的编排上，注意由浅入深，加强基本概念的阐述和习题的合理安排，以使学生学习完本课以后，具有较强的分析问题和解决问题的能力。

为了提高电子线路的教学效果，建议教师采用本书作教材时，注意加强各教学环节的配合。有些内容(如单级RC放大器的设计等)可放到习题课去讲。本书还有某些没有讲过的内容(如功率放大、脉冲电路等)，可在实验课的原理电路中补充。有些亦属重要的内容，如逻辑代数等，让学生充分预习，课堂上扼要讲解，可提高教学效率；还有一些必须了解的内容(目录中打△号)，可布置学生自学。为了获得更好的教学效果，最好有挂图或幻灯相配合。我系魏慧如、张蕴、宋蹇、周建平、许后香、吴令熙等同志审阅了本书初稿并做了很多具体工作；许后香、张蕴和周建平同志协助演算了全部习题；梁红同志描绘了大部分图稿。华中工学院康华光老师对本书的大纲和内容处理等方面提出了许多带方向性的宝贵意见。

1983年4月在武汉开了审稿会。会议由编委兰州大学席先觉同志和主审单位吉林大学杨崇志同志主持，暨南大学、广西大学、山西大学、贵州大学等校的代表参加了会议。代表们指出了初稿中的错误和不妥之处，提出了许多改进的宝贵意见。

第三版前言

本书自1979年第一版问世和1984年第二版诞生以来,在兄弟院校师生和广大读者的关注下,两版共印14次,累计印数超过25万套。随着电子技术迅猛的发展和教学改革不断深入,使我们认识到新版的修订势在必行,于是第三版现在和广大读者见面了。

新版是在第二版的基础上,通过教学实践、总结提高和修改增删而成的。新版力求仍然保持简明教程和便于教学的特色,仍是一本用于学时数较少的电子线路课程的教材,它适用于72学时(不包括目录中打*号部分)至90学时的教学计划。为了适应电子技术的不断发展和教学改革的需要,在修订本版时着重考虑了下述几点:

1. 体现适合国情的先进性。为此对新版的体系作了较大的调整;在论述最基本的放大器时,以直耦放大器取代了阻容耦合放大器;将运放内容提前,使反馈放大器及后续各章能以模拟集成电路为对象进行讨论;在数字电路中则由小规模集成电路入门,继而向中、大规模集成电路深入。这就形成了以集成电路为主干的体系,保证了教材内容的先进性。

2. 具有教学上的灵活性。新版仍按“器件-模拟-数字”的体系编排,但又具有先数字后模拟的教学顺序的可行性。为此把RC电路的暂态特性放在第一章,第二章增加了各种器件的简单电路。讲过第二章以后,就可以讲授数字电路了。

3. 适当增加选讲内容,以适应因材施教和各类专业的教学需要。

4. 联系实际、加深学生的理解。其措施是较多地给出器件的主要参数,增加例题,并使例题、习题与正文相互补充,增加电路实例和读图练习。对集成电路内部结构的介绍,不仅能使学生熟悉其内部结构和整体功能,以便运用得更为准确,而且又是读图的练习。

5. 为了介绍中、大规模集成电路并为计算机课程的学习打基础,新增了半导体存储器一章。

6. 使用本书的课程,通常是一门既无先行课又无后续课的比较孤立的课程,学时较少但又要求有一定的深度和广度,为了解决这一矛盾,新版注意精选内容,控制合适的深度和广度,并注意由浅入深,加强基本概念,提高教学效率。

7. 重新精选和补充思考题和习题,并与正文密切配合,以巩固正文的内容和补充正文的不足。

8. 为了方便学生学习,新版增设章末小结,书末增设习题答案。

本书完稿后先印作讲义,在武汉大学物理系试用过一届。本书第一、十二章由梁明理编写,第二、三、四、六章由周建平编写,第五、七、九章由邓仁清编写;第八、十、十一、十三章由张蕴编写。梁明理为主编,负责全书的定稿和编写组织工作。

清华大学尹达衡教授审阅了本书全稿,提出了许多宝贵的修改意见。本版修订大纲拟订后,征求了部分兄弟院校的意见。吉林大学、南开大学、中山大学等15所院校的有关老师对修订大纲提出了许多宝贵的意见。这些意见对本书的修订帮助很大,在此谨向他们致以衷心的感谢。

本版教材虽然有所改进,但与不断发展的电子技术和不断深入的教学改革的要求相比,仍有很大的差距,恳请读者对书中的错误和不妥之处予以批评指正。

编 者

于武汉大学物理系

1991.12

第四版前言

在本书与读者见面的时候,迎来了百年一遇的 21 世纪。新的历史纪元,是一个信息与网络的时代,知识型经济是这时代的领头羊。本书力争能够满足和反映这一新时代的状况和要求。

新版是在第三版的基础上,通过教学实践、总结提高和修改编成的。由于理科的电子线路课必须及时反映电子技术在各应用领域的飞速发展,而该课的教学计划仅有 72~90 学时,这就要求本书必须是一本简明教材,并且确保有较高的教学效率。为了适应信息与网络的时代要求和教学改革的需要,在修订本版时着重考虑了下述几点:

1. 具有以集成电路为主干的体系,保证教材内容有适合国情的先进性。
2. 为了保持本书具有完整的而又十分自然的体系,不再把线性电路简介设立为一章,而把其中必须学习的内容,作为附录安排在有关章节之中。
3. 为保持教材的简明性,删弃了上一版中阐述比较肤浅的半导体存储器一章。这部分的知识,学生在后续计算机课程中,将会更加全面和系统地学到。
4. 为便于教学,本版仍设置有较多的例题和习题,章末编入小结,书末给出习题解答。

本书第一、二、三、五章由董尚斌编写,第七、九、十、十一章由苏利编写,第四、六、八章由邓仁清编写。梁明理为主编,负责全书体系的确定和编写组织工作,邓仁清为副主编,负责全稿的审读和定稿工作。

本书由清华大学诸昌清教授审稿。诸教授认真细致地审阅后,提出了很多宝贵的意见,为书稿的修改和质量的提高给予了很大的帮助,在此谨表衷心的感谢。

事物总是变化发展的,新版教材虽比上版有所改进,但与高速发展的信息时代和不断深化的教学改革的要求相比,仍有很大的差距,恳请读者对书中不足和不妥之处予以批评指正。

编者

2000 年 2 月 于武汉大学物理与信息学院

常用符号表

一、基本符号

| | |
|--------------|---------|
| A | 放大倍数 |
| C | 电容 |
| f | 频率 |
| I, i | 电流, 源电流 |
| L | 电感 |
| P, p | 功率 |
| R, r | 电阻 |
| t, T | 时间, 温度 |
| V, v | 电压, 源电压 |
| $Z = R + jX$ | 阻抗 |

二、电流、电压 (以基极电流、电压为例)

| | |
|-------------|---|
| i_b | 小写 i 、小写下标 b 表示基极电流瞬时值 |
| i_B | 小写 i 、大写下标 B 表示基极电流总瞬时值 (直流分量与交流分量之和) |
| I_b | 大写 I 、小写下标 b 表示正弦基极电流有效值 |
| I_B | 大写 I 、大写下标 B 表示基极电流静态值、直流电流 |
| \dot{I} | 大写 I 上打点表示正弦电流相量 |
| \dot{I}_b | 正弦基极电流有效值相量 |
| I_m | 正弦电流振幅值, 脉冲电流幅值 |
| I_{bm} | 正弦基极电流幅值 |
| I_s | 信号源的源电流有效值 |
| I_{CC} | 直流电源 V_{CC} 的输出电流 |
| V_m | 正弦电压振幅值 |
| V_i | 正弦输入电压有效值 |
| V_B | 基极电压静态值 |

| | |
|------------------------|---------------|
| v_B | 基极电压总瞬时值 |
| V_b | 正弦基极电压有效值 |
| v_b | 正弦基极电压瞬时值 |
| \dot{V}_b | 正弦基极电压有效值相量 |
| v_i | 任意波形的输入电压总瞬时值 |
| V_o | 正弦输出电压有效值 |
| v_o | 任意波形的输出电压总瞬时值 |
| V_s | 信号源的源电压有效值 |
| $V_{CC}、V_{EE}、V_{DD}$ | 直流电源电压 |

三、电阻、电容

| | |
|-------|--------------|
| R | 电阻, 直流电阻 |
| r | 微变电阻, 器件内部电阻 |
| R_i | 输入电阻 |
| R_o | 输出电阻 |
| R_L | 负载电阻 |
| R_s | 信号源内阻 |
| C_i | 输入电容 |
| C_o | 输出电容 |
| C_L | 负载电容 |

四、增益或放大倍数、反馈系数

| | |
|----------|--------------|
| A | 增益或放大倍数的通用符号 |
| A_V | 电压放大倍数 |
| A_{VS} | 源电压放大倍数 |
| A_{VL} | 低频电压放大倍数 |
| A_{VM} | 中频电压放大倍数 |
| A_{VH} | 高频电压放大倍数 |
| A_{VC} | 共模电压放大倍数 |
| A_{VD} | 差模电压放大倍数 |
| A_F | 反馈放大器的放大倍数 |
| F | 反馈系数的通用符号 |

五、频率

| | |
|------|-----|
| BW | 通频带 |
|------|-----|

| | |
|----------|-------------------|
| F | 非正弦信号的重复频率 |
| f_H | 放大器的上限(-3 dB)频率 |
| f_L | 放大器的下限(-3 dB)频率 |
| f_{HF} | 反馈放大器的上限(-3 dB)频率 |
| f_{LF} | 反馈放大器的下限(-3 dB)频率 |
| f_0 | 振荡频率、谐振频率 |

六、功率

| | |
|----------|-----------|
| P | 功率的通用符号 |
| P_o | 输出交变功率 |
| P_{om} | 输出交变功率最大值 |
| P_{CC} | 直流电源提供的功率 |

七、时间

| | |
|-----------|----------|
| t_d | 延迟时间 |
| t_f | 下降时间 |
| t_{on} | 开通时间 |
| t_{off} | 关闭时间 |
| t_{pd} | 平均传输延迟时间 |
| t_r | 上升时间 |
| t_s | 存储时间 |
| t_w | 脉冲宽度 |

八、数字电路

| | |
|-----------|-----------|
| P_{ON} | 空载导通功耗 |
| I_{IS} | 输入短路电流 |
| I_{IH} | 输入漏电流 |
| V_{OH} | 输出高电平 |
| V_{OL} | 输出低电平 |
| V_{ON} | 开门电平 |
| V_{NH} | 高电平噪声容限电压 |
| V_{NL} | 低电平噪声容限电压 |
| V_{OFF} | 关门电平 |
| N_o | 扇出系数 |
| BCD | 二-十进制码 |

| | |
|----------|---------------|
| CP | 时钟脉冲 |
| CR | 清零 |
| D | D 触发器输入, 数据 |
| E | 使能控制端 |
| FF | 触发器 |
| G | 逻辑门 |
| $J、K$ | $J-K$ 触发器输入 |
| L | 逻辑函数 |
| m | 最小项 |
| Q | 触发器输出 |
| T | 周期, T 触发器输入 |
| \times | 无关项 |

九、器件参数符号

1. 半导体二极管

| | |
|----------|--------------|
| D | 二极管的符号 |
| D_z | 稳压二极管的符号 |
| f_M | 最高工作频率 |
| I_{FM} | 二极管的最大正向直流电流 |
| I_R | 反向直流电流 |
| I_Z | 稳压二极管的稳定电流 |
| V_Z | 稳压二极管的稳定电压 |
| V_{RM} | 反向峰值电压 |

2. 双极型晶体管

| | |
|-------------------|----------------------|
| T | 晶体三极管符号 |
| $C_{b'c}$ | 基极 - 集电极本征电容 |
| $C_{b'e}$ | 基极 - 发射极本征电容 |
| f_α | 共基极截止频率 |
| f_β | 共射极截止频率 |
| f_T | 特征频率 |
| $h_{fe}、\beta$ | 共射接法输出交流短路时的电流放大系数 |
| $h_{fb}、\alpha$ | 共基接法输出交流短路时的电流放大系数 |
| $h_{ie}、r_{be}$ | 共射接法输出交流短路时的输入电阻 |
| $h_{oe}、1/r_{ce}$ | 共射接法输入交流开路时的输出电导 |
| h_{re} | 共射接法输入交流开路时的反向电压传输系数 |

| | |
|---------------|----------------------|
| I_{CBO} | 发射极开路时 C - B 结反向截止电流 |
| I_{CEO} | 基极开路时 C - E 结反向截止电流 |
| I_{CM} | 集电极最大允许电流 |
| P_{CM} | 集电极最大允许耗散功率 |
| $V_{(BR)CEO}$ | 基极开路时 C - E 间的反向击穿电压 |
| $V_{(BR)EBO}$ | 集电极开路时 E - B 间击穿电压 |

3. 场效应管

| | |
|---------------|-----------------------|
| T | 场效应管符号 |
| g_m | 跨导 |
| $I_{DS(sat)}$ | $v_{GS} = 0$ 时的饱和漏源电流 |
| P_{DSM} | 漏极最大允许耗散功率 |
| R_{GS} | 直流输入电阻 |
| r_{ds} | 漏源电阻 |
| $V_{(BR)DS}$ | 漏源间的击穿电压 |
| $V_{GS(off)}$ | 夹断电压 |
| $V_{GS(th)}$ | 开启电压 |

4. 运算放大器

| | |
|-----------|-------------|
| A | 运算放大器符号 |
| A_{VO} | 开环差模电压放大倍数 |
| I_{IO} | 输入失调电流 |
| I_{IB} | 输入偏置电流 |
| K_{CMR} | 共模抑制比 |
| P_D | 静态功耗 |
| r_{id} | 差模输入电阻 |
| r_o | 输出电阻 |
| S_R | 转换速率 |
| v_P | 运放同相端电压总瞬时值 |
| v_N | 运放反相端电压总瞬时值 |
| v_{ic} | 共模输入电压瞬时值 |
| v_{id} | 差模输入电压瞬时值 |
| V_{ICM} | 最大共模输入电压 |
| V_{IDM} | 最大差模输入电压 |
| V_{IO} | 输入失调电压 |

十、其他符号

| | |
|---|---------|
| D | 非线性失真系数 |
|---|---------|

| | |
|------------------|-------------|
| n | 取样比 |
| Q | 静态工作点, 品质因数 |
| Tr | 变压器 |
| γ | 稳压系数 |
| η | 效率 |
| θ | 角度 |
| τ | 时间常数 |
| ω, Ω | 角频率 |

目 录

| | |
|----------------------------|----|
| 第1章 基本半导体器件 | 1 |
| 引言 | 1 |
| 1.1 PN结 | 1 |
| 1.1.1 本征半导体 | 1 |
| 1.1.2 杂质半导体 | 2 |
| 1.1.3 PN结的形成 | 4 |
| 1.1.4 PN结的特性 | 5 |
| 1.2 二极管 | 7 |
| 1.2.1 二极管的结构及符号 | 7 |
| 1.2.2 二极管的伏安特性 | 8 |
| 1.2.3 二极管的主要参数 | 11 |
| 1.2.4 二极管应用举例 | 12 |
| 1.3 双极型晶体管 | 14 |
| 1.3.1 晶体管的结构及符号 | 14 |
| 1.3.2 晶体管的电流放大作用 | 15 |
| 1.3.3 晶体管的共射组态特性曲线 | 19 |
| 1.3.4 晶体管的主要参数 | 21 |
| 1.4 场效应管 | 25 |
| 1.4.1 结型场效应管 | 25 |
| 1.4.2 绝缘栅场效应管 | 30 |
| 1.4.3 场效应管的主要参数 | 34 |
| 1.4.4 场效应管使用注意事项 | 35 |
| 1.4.5 场效应管与双极型晶体管的比较 | 35 |
| 附录 1.1 半导体器件的命名方法 | 36 |
| 小结 | 36 |
| 习题与思考题 | 37 |