

高等学校工程专科教材

低频电子线路

金宝琴 史习宏 编

金宝琴 主编

高等教育出版社



高等学校工程专科教材

低频电子线路

金宝琴 史习宏 编
金宝琴 主编

高等教育出版社

(京)112号

内 容 简 介

本书是根据1990年国家教育委员会批准公布的高等学校工程专科《电子线路(I)、(II)课程教学基本要求》编写而成。全书由半导体二极管和三极管的基本特性、放大电路基础、场效应管及其基本放大电路、放大电路中的负反馈、集成线性组件、集成运算放大器基本应用电路、低频功率放大器和直流电源八章组成。各章后附有习题。

本书可作为高等专科学校电子、通信类专业“低频电子线路”或“线性电子线路”课程的教材,也可供从事电子技术工作的工程技术人员参考。

本书经国家教委高等学校工程专科电子线路课程编审组委托,由集美航海学院陈厚迭副教授主审。

图书在版编目(CIP)数据

低频电子线路/金宝琴,史可宏著. — 北京:高等教育出版社,1995

ISBN 7-04-000005-9

I. 低… II. ①金… ②史… III. 低频—电子电路 IV. T N710

中国版本图书馆CIP数据核字(94)第00759号

高等教育出版社出版
新华书店总店北京发行所发行
国防工业出版社印刷厂印刷

*

开本 850×1168 1/32 印张 17.375 字数 450 000

1995年4月第1版 1995年4月第1次印刷

印数 0001—2 242

定价 9.80 元

前 言

《电子线路(I)(II)课程教学基本要求》由国家教育委员会高等学校工程专科电子线路课程编审组审订通过,经国家教委批准已正式公布。这个文件规定了电子、通信类专业专科学生必须达到的合格要求,它是制订教学计划和教学大纲的依据,也是编写本教材的依据。

按照大纲的基本要求,以培养适应大专层次高级应用型人才为目标,以加强基础理论、基本知识和基本技能训练为原则,掌握“以必须和够用为度”、“以应用为主”,认真精选、合理安排与组织教材内容,以利于循序渐进、由易到难、由浅入深、由简到繁、便于学生的学习和掌握。书中还列举了一定数量的例题,用于巩固和加深对学习内容的理解。

本教材的内容可分为器件和低频电路两大部分。器件部分在讲清楚各种常用器件基本工作原理的基础上,突出器件的特点、外特性以及它们的参数,目的在于应用。低频电路部分由于集成电路的使用越来越广,因此,我们以集成电路中使用较多的典型电路作为分析各类单元电路的重点。着重阐述它们的工作原理、分析估算方法以及它们的性能、特点,以便于分析各种常用集成电路的实际应用。

电子线路是一门实践性较强的技术基础课,应以突出应用为主,因此,工程上常用近似估算法。此外,必须高度重视实验环节,坚持理论联系实际。为强化实践,在110~120学时的总学时中,理论教学为70学时,实验教学为40~50学时。

本书由金宝琴副教授主编,史习宏副教授参编。通过广泛的调查研究,共同确定了本书的编写大纲,其中第一到第六章由金宝

琴编写，第七与第八章由史习宏编写。

本书由厦门集美航海学院陈厚迭副教授主审，他提出了许多宝贵的修改意见，这些意见对本书的编写帮助很大，在此向陈厚迭副教授致以衷心的感谢。

在编写过程中，扬州工学院钱晓勤、钱晓英两位老师对书稿提出了宝贵意见，并给予很多的帮助，在此谨向他们表示感谢。

限于水平，本教材难免有不妥之处，恳请广大读者给予批评指正。

编 者

1993年5月

常用符号表

一、基本符号

I, i	电流
V, v	电压
P, p	功率
R, r	电阻
G, g	电导
X, x	电抗
Z, z	阻抗
L	电感
C	电容
A	增益
t	时间, 摄氏温度
T	热力学温度
f, F	频率
ω, Ω	角频率
$s = \sigma + j\omega$	复频率
BW	带宽
NF	噪声系数

二、电压、电流

小写 $v(i)$ 、小写下标: 表示交流电压(电流)瞬时值。

大写 $V(I)$ 、大写下标: 表示直流电压(电流)。

小写 $v(i)$ 、大写下标: 表示电压(电流)总瞬时值。

大写 $V(I)$ 、小写下标: 表示正弦电压(电流)有效值。

V_Q	静态工作点电压
v_i	输入交流电压瞬时值
v_o	输出交流电压瞬时值
v_g	交流信号源电压瞬时值
$\dot{V} = V(j\omega) = V(\omega)e^{j\varphi(\omega)}$	正弦电压复数值
$V(\omega), \varphi(\omega)$	电压的模值和相角
$V(s)$	电压的拉普拉斯变换
V_{CC}, V_{BB}	集电极和基极直流电源电压
V_{DD}, V_{GG}	漏极和栅极直流电源电压
V_f	反馈电压有效值
V_{REF}	基准电压
V_R, I_R	参考电压、参考电流
V_{IO}, I_{IO}	输入失调电压、输入失调电流
V_{id}, V_{ic}	差模输入电压、共模输入电压

三、阻抗

R_g	信号源内阻
R_L	负载电阻
R_i	输入电阻
R_o	输出电阻
$Z(\omega), \varphi_Z(\omega)$	阻抗的模值和辐角

四、增益

$A(s)$	增益的拉普拉斯变换
$\dot{A} = A(j\omega) = A(\omega)e^{j\varphi_A(\omega)}$	增益复数值
$A(\omega), \varphi_A(\omega)$	增益的幅值和相角
A_v, A_{v_g}	电压增益和源电压增益
A_i, A_{i_g}	电流增益和源电流增益

A_r, A_{rg}	互阻增益和源互阻增益
A_g, A_{gg}	互导增益和源互导增益
A_{vd}, A_{vc}	差分放大器的差模电压增益和共模电压增益
A_{vfg}	反馈放大器的源电压增益
A_i	中频增益
G_p	功率增益

五、功率

P_o	输出信号功率
P_C	集电极耗散功率
P_D	直流电源供给功率
P_L	输出负载功率

六、频率

f_L	3dB 下限频率
f_H	3dB 上限频率
f_{Hf}	反馈放大器的 3dB 上限频率
$BW_{0.7}$	3dB 通频带
BW_G	单位增益带宽
f_0	回路的谐振频率

七、器件参数

1. 晶体二极管

V_B	内建电位差, 势垒电压
$V_{D(on)}$	导通电压
$V_{(BR)}$	PN 结击穿电压
I_S	反向饱和电流
C_j	结电容

C_T	势垒电容
C_D	扩散电容
V_Z	稳压管的稳定电压
V_T	热电压

2. 晶体三极管

I_{CBO}	发射极开路时集电结反向饱和电流
I_{CBS}	发射结短路时集电结反向饱和电流
I_{CEO}	基极开路时的穿透电流
I_{CM}	集电极最大允许电流
$V_{CE(sat)}$	集电极饱和压降
$V_{(BR)CBO}$	发射极开路时 C-B 结反向击穿电压
$V_{(BR)CEO}$	基极开路时 C-E 结反向击穿电压
$V_{BE(on)}$	B-E 结导通电压
P_{CM}	集电极最大允许耗散功率
g_m	跨导
α	共基极短路电流传输系数
β	共发射极短路电流传输系数(放大系数)
f_α	共基极交流电流传输系数的截止频率
f_β	共发射极交流电流放大系数的截止频率
f_T	特征频率
r_e	发射结电阻(肖特基电阻)
$r_{bb'}$	基区扩展电阻(基区体电阻)

3. 场效应管

I_{DSS}	$v_{GS}=0$ 时的饱和漏极电流
$V_{GS(off)}$	夹断电压
$V_{GS(th)}$	开启电压
$V_{(BR)DS}$	漏、源极间击穿电压
V_{US}	衬底、源极间电压

八、其它符号

η	效率
N	匝数
Q	静态工作点
τ	时间常数
E	电场强度, 电子能量
K_{CMR}	共模抑制比
$G \cdot BW$	增益带宽积
F	反馈系数
γ_g	增益裕量
γ_ϕ	相位裕量
S_R	转换速率
THD	非线性失真系数
D	二极管
DZ	稳压管
T	三极管
I_{IB}	输入偏置电流
Tr	变压器
r_B	变压器线圈直流电阻
S	稳压系数
S_{rip}	脉动系数
γ	纹波因数
D	脉冲占空比
I_r	电源短路电流
R_{th}	热阻
T_{jm}	最高允许结温
V	散热器体积
V_s	取样电压

目 录

绪论	1
第一章 半导体二极管和三极管的基本特性	2
§1-1 半导体的基础知识	2
1-1-1 本征半导体	2
1-1-2 杂质半导体	5
1-1-3 PN 结的形成	8
1-1-4 PN 结特性	11
§1-2 半导体二极管	16
1-2-1 二极管的特性与参数	17
1-2-2 稳压管的特性与参数	26
§1-3 半导体三极管	29
1-3-1 晶体三极管的电流放大原理	31
1-3-2 晶体三极管的伏安特性曲线	36
1-3-3 晶体三极管的主要参数	41
习题	46
第二章 放大电路基础	51
§2-1 放大器的基本概念	51
2-1-1 放大功能及电路组成	51
2-1-2 放大原理	54
§2-2 放大电路的分析方法	55
2-2-1 图解法	59
2-2-2 等效电路法	63
§2-3 基本组态电路的性能分析	68
2-3-1 放大器的性能指标	69

2-3-2 共射放大电路的性能分析	73
2-3-3 共集放大电路的性能分析	79
2-3-4 共基放大电路的性能分析	82
§2-4 多级放大器	85
2-4-1 直接耦合放大器	86
2-4-2 阻容耦合放大器	89
2-4-3 多级放大器的性能分析	90
2-4-4 静态工作点的选择及热稳定性	95
§2-5 放大电路的频率响应(或频率特性)	104
2-5-1 频率特性的基本概念	104
2-5-2 简单RC电路的频率特性	108
2-5-3 晶体管的混合 Π 模型及频率参数	119
2-5-4 单管放大电路的频率特性	126
2-5-5 多级放大电路的频率特性	136
附录 H参数的定义和推导	143
习题	145
第三章 场效应管及其基本放大电路	167
§3-1 场效应管的基本特性	167
3-1-1 结型场效应管	167
3-1-2 绝缘栅场效应管	176
3-1-3 场效应管的特点	183
§3-2 场效应管基本放大电路	184
3-2-1 场效应管的小信号等效模型	184
3-2-2 共源放大电路的性能分析	187
3-2-3 共漏放大电路的性能分析	192
习题	202
第四章 放大电路中的负反馈	213
§4-1 反馈放大电路的基本概念	213
4-1-1 反馈的基本概念	213

4-1-2 四种类型负反馈放大电路	218
§4-2 负反馈对放大电路性能的影响	228
4-2-1 提高增益的稳定性	228
4-2-2 减小非线性失真和噪声, 扩展通频带	230
4-2-3 改变放大电路的输入电阻和输出电阻	234
§4-3 负反馈放大器的计算	239
*4-3-1 负反馈放大电路的一般计算	239
4-3-2 深度负反馈放大电路的计算方法	249
4-3-3 电路举例	250
§4-4 负反馈放大电路的稳定性分析	254
4-4-1 判别稳定性的准则	255
4-4-2 反馈放大电路的相位补偿技术	262
习题	274
第五章 集成线性组件	287
§5-1 概述	287
5-1-1 集成电路中的元器件	287
5-1-2 模拟集成电路的特点	291
§5-2 差分放大电路	292
5-2-1 差分放大电路的工作原理	292
5-2-2 差分放大电路中的温漂抑制	299
5-2-3 差分放大电路的输入、输出方式 及多级差分放大电路	309
§5-3 恒流源电路及有源负载	314
5-3-1 恒流源电路	314
5-3-2 有源负载	319
§5-4 输出级电路	321
5-4-1 复合管	321
5-4-2 互补输出级	323
5-4-3 输出级的保护电路	326

§5-5 集成运算放大器	327
5-5-1 运算放大器的组成	327
5-5-2 集成运算放大器主要技术指标	328
5-5-3 集成运算放大电路分析举例	332
5-5-4 集成运算放大器的简化模型及理想化	338
§5-6 集成宽频带放大器	340
5-6-1 展宽放大器频带的方法	340
5-6-2 集成宽带放大器举例	347
习题	350
第六章 集成运算放大器基本应用电路	365
§6-1 反相和同相放大器	365
6-1-1 反相放大器	365
6-1-2 同相放大器	367
6-1-3 跟随器	368
§6-2 基本运算电路	369
6-2-1 和、差运算电路	369
6-2-2 积分、微分运算电路	376
6-2-3 对数、指数运算电路	382
§6-3 有源滤波器及选频放大器	386
6-3-1 有源滤波器	386
6-3-2 选频放大器	390
§6-4 电压比较器	392
6-4-1 概述	392
6-4-2 集成运算放大器构成的电压比较器	393
6-4-3 单片集成比较器	401
§6-5 运算放大器应用中的一些实际问题	404
6-5-1 调零及补偿	404
6-5-2 限幅保护	404
6-5-3 单电源运算放大器	406

习题	407
第七章 低频功率放大器	415
§7-1 概述	415
§7-2 甲类功率放大器	417
§7-3 乙类互补功率放大器	422
7-3-1 互补功率放大器	422
7-3-2 其它类型的功率放大器	434
7-3-3 实用电路举例	439
§7-4 集成功率放大器	443
§7-5 大功率管和集成功放的安全与保护	452
7-5-1 晶体管的并联与均流	452
7-5-2 功率管的二次击穿与防护	452
*7-5-3 晶体管的散热与散热器的选择	454
习题	459
第八章 直流电源	468
§8-1 单相整流电路及主要参数	469
8-1-1 单相整流电路的主要参数	469
8-1-2 单相半波整流电路	470
8-1-3 单相全波整流电路	471
8-1-4 桥式整流电路	473
§8-2 滤波电路	475
8-2-1 电容滤波电路	476
8-2-2 电感滤波电路	479
8-2-3 复式滤波电路	481
8-2-4 倍压整流电路	482
§8-3 稳压电路	484
8-3-1 稳压器的性能指标	485
8-3-2 稳压管稳压电路	486
8-3-3 串联型稳压电路	488

8-3-4 线性集成稳压器	499
8-3-5 非线性集成开关稳压器	509
附录 三端可调集成稳压器的组成与应用	519
习题	523
参考文献	531
习题答案	533

绪 论

电子线路是电子、通信类专业的一门重要专业基础课,主要研究含二极管、三极管、场效应管以及集成电路等器件构成的各种电路,了解和掌握这些电路的功能、工作原理及计算方法。为培养学生熟悉和掌握现代电子科学技术打下重要的基础。

从1904年第一个真空三极管问世到1948年半导体三极管的诞生,各种电子设备在减小体积,降低功耗、延长寿命、提高可靠性等方面有了很大的进步,但都未能摆脱由分立元件单元电路连成电路系统的基本模式。自1959年人们制出了融二极管、三极管及电阻等器件为一体的中小规模集成电路才开始打破了元件与电路的界限。特别是1974年以来,大规模及超大规模集成电路的相继出现,更使器件、电路及系统成为不可分割的统一体,同时也极大地提高了电路系统的可靠性与灵活性。随着更多、更强功能的集成电路的研制与开发,将给电子线路的发展以更有力的推进,也将引起人类社会更多方面的深刻变化。

电子线路应用广泛,种类繁多,分类方法也不尽相同。根据元件参数的特性不同,可分为分布参数电路和集总参数电路。根据电路的工作方式及信号处理方法的不同可分为模拟电子线路和数字电子线路。模拟电子线路有两种分类方法:按照电路工作频率的高低可分为低频电子线路和高频电子线路;根据器件在电路中的工作状态及分析方法的不同可分为线性电子线路与非线性电子线路。不管如何分类,集成电路应在电子线路中起主导作用。考虑到目前的国情,部分分立元件电路仍被继续使用,选择集成电路内部的典型电路进行分析,所得的基本原理与分析方法同样适用于分析分立元件电路。