

内 容 简 介

本书是参照高等学校工科基础课电工、无线电类教材编写会议于1977年11月所拟订的电子技术基础教材编写大纲和各兄弟院校对该大纲所提的修改意见编写的。现以模拟电子技术基础和数字电子技术基础两书出版。模拟电子技术基础上册的内容有：半导体器件的基本知识、基本放大电路、多级放大电路、放大电路中的反馈、正弦波振荡电路等五章。下册的内容有：直接耦合放大电路、线性集成电路基础、集成运算放大器的应用、直流电源、模拟电路阅图等五章。书中每章均附有一定的例题、思考题和习题，并有小结。

本书可作为工科院校自动化和其他相近专业开设的“电子技术基础”课程的试用教材。本书还可供有一定电工知识的工程技术人员作为学习电子技术的参考用书。

本书责任编辑 张志军

高等学校试用教材

模拟电子技术基础

(电子技术基础 I)

上 册

清华大学电子学教研组编

童 诗 白 主 编

*

人民教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

北京印刷一厂印装

*

开本 850×1168 1/32 印张 13 字数 310,000

1980年1月第1版 1983年4月第5次印刷

印数 430,001—509,000

书号 15012·0243 定价 1.30 元

序 言

本书是参照高等学校工科基础课电工、无线电类教材会议在1977年11月制订的“电子技术基础”(自动化类)教材编写大纲和各兄弟院校后来对该大纲提出的修改意见编写的。现以模拟电子技术基础和数字电子技术基础两书出版。其中的基本部分,可供高等院校自动化专业“电子技术基础”课程两学期的教学使用。

在编写过程中,我们力图把内容的重点放在培养分析问题和解决问题的能力上。我们认为,自动化专业的毕业生在电子技术方面应该初步具有一看、二算、三选、四干的能力。所谓会看,就是能看懂本专业中典型电子设备的原理图,了解各部分的组成及其工作原理;会算,就是对各个环节的工作性能会进行定性或定量分析、估算;会选和会干,就是遇到本专业的一般性任务,能大致选定方案,选用有关的元、器件,并且通过安装调试把它基本上研制出来。因此,为了能会看,书中加强了基本概念和各种类型的基本单元电路的介绍,并专设阅图训练的章节;为了能会算,书中加强了基本原理和基本分析方法;至于会选和会干的能力,主要应在设计课、实验课和后续的其他教学环节中培养,但为了配合这方面的要求,书中也有一些设计举例,并设有电子设备的一些实际问题一章。

在处理不断增长的新技术和有限的篇幅之间的矛盾时,我们采取的措施是在保证基本概念、基本原理和基本分析方法的前提下,尽可能地使学生能适应八十年代电子技术发展的需要。为此,对于有些用分立元件组成的单元如调制放大、功率放大、门电路、触发电路等方面的内容,均予以大幅度地削减,而有关线性集成电

路和数字集成电路部分,则相应加强。此外,还利用排小字(比较深入的部分)、打星号(附加内容)和加下注(补充说明和指明参考资料的出处)等方式,以适应不同程度的要求。在模拟电子技术基础各章小结之后,还附有思路流程图,希望能有助于使读者了解编写意图和基本内容(用粗线框出)。

参加模拟电子技术基础编写工作的有童诗白、金国芬、阎石、吴白纯、孙家焯、张乃国等同志,童诗白同志负责组织和定稿。参加讨论和整理的有马宗璞、董鸿芳、杨素行、王寒伟、孙昌龄、胡东成、尤素英等同志;为书中一些电路进行测试和验证的有朱亚尔、蔡文华、朱占星、杨焯、胡尔珊等同志。李士鑫同志协助一部分制图的工作。

在模拟电子技术基础的整理和定稿过程中,得到了全国六十余所兄弟院校老师们对征求意见稿提出的宝贵意见。审稿会上,在主审单位西安交通大学沈尚贤教授的主持下,华中工学院、南京工学院、浙江大学、山东工学院、哈尔滨工业大学、上海交通大学、大连工学院、昆明工学院、太原工学院、华南工学院、天津大学、重庆大学、合肥工业大学等兄弟院校的老们仔细阅读了原稿,指出错误和不妥之处,并提出改进的建议,尤其是西安交大沈尚贤、叶德璇、王志宏等同志,在审稿期间,倍加辛劳,写出详细的评审和修改意见。此外,我们还得到本校计算机科学系、无线电系以及北京航空学院等单位同志的指正和帮助,本校建工系的几位同志描绘全部插图,在此一并致以衷心的感谢。

由于我们对先进的电子技术了解不够,本教材又缺乏一定的教学实践,因此书中必然存在许多缺点和错误,恳切希望兄弟院校的师生和其他读者给予批评和指正。

编 者

1979年12月

模拟电子技术基础符号说明

一、基本符号

1. 电流和电压

i, v	包含有直流成分的电流电压瞬时值
I, V	直流电流电压值, 正弦电流电压有效值, 直流电流电压增量值
\dot{i}, \dot{V}	正弦电流电压复数量
I_m, V_m	正弦电流电压幅值
I_{\max}, V_{\max}	电流电压最大值
I_{\min}, V_{\min}	电流电压最小值
I_Q, V_Q	电流电压静态值
E	直流电源电压
i_B	基极电流总瞬时值
i_b	基极电流交流分量瞬时值
I_B	基极直流电流
I_{BQ}	基极静态电流
I_b	基极正弦电流有效值, 基极直流电流增量值
\bar{i}_B	任意周期性基极电流的平均值
E_B	基极回路中的直流电源电压
V_i	正弦输入电压有效值, 直流输入电压增量值
V_o	正弦输出电压有效值, 直流输出电压增量值
\bar{v}_{D_i}	整流电路输入电压平均值
\bar{v}_{D_o}	整流电路输出电压平均值

2. 功率

p	瞬时功率
P	功率通用符号
P_B	电源消耗的功率

P_o 输出交变功率

3. 频率

- f 频率通用符号
 ω 角频率通用符号
 f_{bw} 通频带
 f_{bwf} 有反馈时的通频带
 f_h 放大电路的上限(下降 3dB)频率
 f_{h1} 放大电路第一级的上限频率
 f_{hn} 放大电路第 n 级的上限频率
 f_l 放大电路的下限(下降 3dB)频率
 f_{hf} 放大电路有反馈时的上限频率
 f_{lf} 放大电路有反馈时的下限频率
 f_o 振荡频率
 f_a 共基接法下三极管电流放大系数的上限频率
 f_β 共射接法下三极管电流放大系数的上限频率
 f_T 三极管的特征频率, 即共射接法下三极管电流放大系数为 1 时的频率
 f_M 三极管的最高振荡频率

4. 电阻、电导、电容、电感

- r 微变电阻的通用符号
 R 固定电阻的通用符号
 g 微变电导的通用符号
 G 固定电导的通用符号
 r_{be} 共射接法下基射极之间的微变电阻
 $r_{b'e}$ 发射结的微变电阻
 r_{ce} 共射接法下集射极之间的微变电阻
 r_i 输入电阻
 r_{if} 有反馈时的输入电阻
 r_o 输出电阻

r_{of}	有反馈时的输出电阻
R_b	接到基极的固定电阻
R_c	接到集电极的固定电阻, 余类推
R'_c	R_c 与 r_{ce} 的并联
R_L	负载电阻
R'_L	R_L 与 R_c 的并联
R_s	信号源内阻
R_{sb}	接到场效应管源极的固定电阻
C	电容的通用符号
C_D	扩散电容
C_e	发射极旁路电容
C_B	结电容, 势垒电容
C_{ob}	共基接法下的输出电容
C_π	混合 π 等效电路中集电结的等效电容
C_e	混合 π 等效电路中发射结的等效电容
L	电感的通用符号

5. 增益或放大倍数

A	增益或放大倍数的通用符号
A_i	电流放大倍数的通用符号
A_v	电压放大倍数的通用符号 $= V_o / V_i$
A_{vf}	有反馈时的电压放大倍数
A_{vh}	高频电压放大倍数
A_{vl}	低频电压放大倍数
A_{vm}, A_m	中频电压放大倍数
A_{vo}	无反馈时的电压放大倍数
A_{vs}	考虑信号内阻时的电压放大倍数 $= V_o / V_s$
A_{vof}	有反馈又考虑信号内阻时的电压放大倍数

在用方块图表示的反馈放大电路中

A_{ii} 基本放大电路的输出电流与输入电流之比 =

$$I'_o/I'_i$$

A'_{ii} 基本放大电路的输出电流与信号电流之比 =

$$I'_o/I'_i$$

A'_{iv} 基本放大电路的输出电流与输入电压之比 =

$$I'_o/V'_i$$

A'_{iio} 基本放大电路输出端短路时的 A'_{ii}

A'_{vi} 基本放大电路的输出电压与输入电流之比 =

$$V'_o/I'_i$$

A'_{vi} 基本放大电路的输出电压与信号电流之比 =

$$V'_o/I'_i$$

A'_{vii} 负载开路(不计 R_L)时的 A'_{vi}

A'_{vv} 基本放大电路的输出电压与输入电压之比 =

$$V'_o/V'_i$$

其中的 I'_i 、 I'_o 、 V'_i 、 V'_o 分别为单向化等效网络中基本放大电路的输入电流、输出电流、输入电压、输出电压。

F'_{ii} 反馈网络的反馈电流与输出电流之比 = I'_f/I'_o

F'_{iv} 反馈网络的反馈电流与输出电压之比 = I'_f/V'_o

F'_{vi} 反馈网络的反馈电压与输出电流之比 = V'_f/I'_o

F'_{vv} 反馈网络的反馈电压与输出电压之比 = V'_f/V'_o

二、器件参数符号

a 阳极

b 基极

c 集电极

e 发射极

g_m 跨导

h_{11} 、 h_{12} 、 h_{21} 、 h_{22} 三极管的混合参数(如无其他下角注则为共射接法)

k 阴极

n 电子浓度

$n_p(0)$	在 P 区边界处的电子浓度
n_{p0}	在 P 区达到平衡时的电子浓度
p	空穴浓度
$r_{bb'}$	基区体电阻
r_e	发射结微变电阻和发射区体电阻之和
r_z	稳压管的微变内阻
BV_{EBO}	集电极开路时 $e-b$ 间的击穿电压
BV_{CEO}	基极开路时 $c-e$ 间的击穿电压
BV_{CER}	$b-e$ 间接入电阻时 $c-e$ 间的击穿电压
BV_{CES}	$b-e$ 间短路时 $c-e$ 间的击穿电压
BV_{DS}	漏源间的击穿电压
D	二极管, 场效应管的漏极
D_z	稳压管
G	场效应管的栅极
I_{CBO}	发射极开路时 $c-b$ 间的反向饱和电流
I_{CEO}	基极开路时 $c-e$ 间的穿透电流
I_{CER}	$b-e$ 间接入电阻时 $c-e$ 间的穿透电流
I_{CM}	集电极最大允许电流
I_D	二极管电流, 漏极电流
I_{DSS}	$V_{GS}=0$ 时的 I_D
I_F	二极管的正向电流
I_R	二极管的反向电流
I_S	二极管的反向饱和电流
N	电子型半导体
P	空穴型半导体
P_{CM}	集电极最大允许耗散功率
P_{DM}	漏极最大允许耗散功率
S	场效应管的源极
V_B	二极管击穿电压

V_f	反馈电压
V_h	PN 结的位垒
V_P	场效应管的夹断电压
V_T	增强型场效应管的开启电压, 温度的电压当量
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
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 $\beta = \Delta I_C / \Delta I_B$
$\bar{\beta}$	共射接法下, 不考虑穿透电流时, I_C 与 I_B 的关系

三、其他符号

CMR	用分贝表示的共模抑制比 = $20 \lg \text{CMRR}$
CMRR	共模抑制比
K	绝对温度
L_A	基本放大电路的电压增益, 以 dB 计
N_1	变压器原边绕组的匝数
N_2	在变压器副边绕组的匝数
Q	静态工作点, LC 回路的品质因数
S	整流电路中的脉动系数
T	半导体三极管, 周期, 湿度
Tr	变压器
δ	倾斜率
η	效率
τ	时间常数
φ	相角差
σ	电导率

目 录

第一章 半导体器件的基本知识

1.1 半导体基础知识	1
1.1.1 原子模型及能带	1
1.1.2 导体、绝缘体和半导体	4
1.1.3 本征半导体中的导电情况	5
1.1.4 杂质半导体的导电情况	8
小结	12
1.2 半导体二极管	13
1.2.1 PN 结的基本原理及二极管	14
1.2.2 二极管方程及伏安特性曲线	20
*1.2.3 二极管中的电流	22
1.2.4 二极管的电容效应	24
1.2.5 二极管的主要参数及其等效电路	28
1.2.6 稳压管	30
小结	33
1.3 半导体三极管	35
1.3.1 电流分配和放大作用	36
1.3.2 三极管的输入特性与输出特性	48
1.3.3 三极管的主要参数	54
1.3.4 温度对三极管参数的影响	58
小结	60
1.4 场效应管	61
1.4.1 结型场效应管	62
1.4.2 绝缘栅型场效应管	71
1.4.3 场效应管的主要参数	76
*1.4.4 场效应管和双极型三极管的比较	79
小结	81
本章小结	81
参考文献	82
思考题和习题	84

第二章 基本放大电路

2.1 基本放大电路的组成及工作原理	86
2.1.1 基本放大电路的组成原则	87
2.1.2 静态工作点的设置	89
2.1.3 放大电路的性能指标	90
小结	93
2.2 放大电路的基本分析方法	94
2.2.1 交流通路和直流通路	94
2.2.2 近似计算法	95
2.2.3 图解法	97
2.2.4 微变等效电路法	104
小结	116
2.3 温度对静态工作点的影响	117
2.3.1 静态工作点随温度变化的原因	117
2.3.2 稳定静态工作点的方法	118
2.4 共射基本放大电路的频率响应	121
2.4.1 混合参数 π 型等效电路	122
2.4.2 共射基本放大电路的频率响应	127
小结	145
2.5 共射基本放大电路的阶跃响应	146
2.5.1 阶跃响应的指标	147
2.5.2 上升时间	147
2.5.3 倾斜率	149
小结	150
2.6 基本放大电路的三种接法及其性能比较	151
2.6.1 共基极基本放大电路	151
2.6.2 共集电极基本放大电路	154
2.6.3 三种基本放大电路的比较	157
2.7 场效应管基本放大电路	160
2.7.1 特点	160
2.7.2 静态工作点的设置	162
2.7.3 场效应管的微变等效电路及参数	167
2.7.4 放大倍数及输入、输出电阻	168

本章小结	172
参考文献	176
思考题和习题	176

第三章 多级放大电路

3.1 多级放大电路的耦合方式	186
3.1.1 阻容耦合	186
3.1.2 直接耦合	187
3.1.3 变压器耦合	191
小结	193
3.2 多级放大电路的基本性能	194
3.2.1 电压放大倍数	194
3.2.2 输入电阻与输出电阻	197
3.3 多级放大电路的频率响应	198
3.3.1 多级放大电路的幅频特性和相频特性	198
3.3.2 多级放大电路的上限频率和下限频率	200
3.4 多级放大电路的阶跃响应	204
3.4.1 多级放大电路的上升时间	204
3.4.2 多级放大电路的倾斜率	207
小结和补充	209
3.5 放大电路的输出功率和效率	211
3.5.1 阻容耦合放大电路的输出功率及效率	212
3.5.2 变压器耦合单管放大电路	215
3.5.3 变压器耦合乙类推挽电路	217
小结和补充	224
本章小结	226
参考文献	228
思考题和习题	228

第四章 放大电路中的反馈

4.1 反馈的基本概念	234
4.1.1 反馈概念的建立	235
4.1.2 反馈的方式	236
一、电流串联式	236

二、电压串联式·····	237
三、电压并联式·····	239
四、电流并联式·····	240
五、总结反馈的规律·····	241
4.1.3 反馈的方块图表示法·····	244
一、方块图的画法·····	244
二、反馈的一般表达式·····	250
4.2 负反馈对放大电路工作性能的影响·····	254
4.2.1 提高放大倍数的稳定性·····	254
4.2.2 减小非线性失真和抑制干扰·····	255
4.2.3 扩展频带·····	258
4.2.4 改变输入电阻和输出电阻·····	262
一、负反馈对输入电阻的影响·····	262
二、负反馈对输出电阻的影响·····	265
4.2.5 影响放大电路性能的重要参数——反馈深度·····	270
4.2.6 负反馈的一般表达式的局限性·····	271
4.3 反馈放大电路的计算·····	272
4.3.1 简单反馈放大电路的计算·····	272
一、射极输出器·····	272
二、源极输出器·····	274
4.3.2 具有深负反馈放大电路的计算·····	275
*4.3.3 利用方块图的计算法·····	277
一、基本原理·····	277
二、计算步骤·····	286
三、计算举例·····	287
4.4 反馈放大电路的自激振荡及消除方法·····	298
4.4.1 产生自激振荡的原因及条件·····	298
4.4.2 反馈放大电路的稳定判据·····	300
4.4.3 反馈放大电路的稳定裕度·····	302
一、幅度裕度 G_m ·····	302
二、相位裕度 ϕ_m ·····	302
4.4.4 常用的校正措施·····	305
一、滞后校正·····	305
二、超前校正·····	313

小结	313
*4.5 反馈放大电路的设计	315
4.5.1 设计的原则及设计时要考虑的问题	315
一、反馈方式的选择	315
二、放大管的选择	316
三、级数的确定	316
四、电路的确定	316
4.5.2 设计方法及举例	317
本章小结	326
参考文献	327
思考题和习题	329

第五章 正弦波振荡电路

5.1 产生正弦波振荡的条件	339
5.2 正弦波振荡电路的组成部分和分析方法	341
5.3 RC 正弦波振荡电路	343
5.3.1 移相式振荡电路	343
5.3.2 串并联网络振荡电路	346
*5.3.3 双 T 选频网络振荡电路	351
5.4 LC 正弦波振荡电路	357
*5.4.1 LC 并联电路的特性	357
5.4.2 LC 振荡电路的组成和分析方法	360
5.4.3 变压器反馈式振荡电路	361
*5.4.4 电感反馈式(电感三点式)振荡电路	365
*5.4.5 电容反馈式(电容三点式)振荡电路	367
*5.4.6 共基极振荡电路	372
5.5 振荡电路的振幅和频率的稳定	373
5.5.1 自激振荡的建立和振幅的稳定	373
5.5.2 影响振幅稳定的因素和稳幅措施	376
*5.5.3 影响频率稳定的因素和稳频措施	379
*5.5.4 电容反馈式改进型振荡电路	381
5.5.5 石英晶体振荡电路	382
*5.6 LC 振荡电路的设计考虑与调试问题	386
5.6.1 小功率振荡电路的设计考虑	386

5.6.2 调试问题.....	387
本章小结.....	390
参考文献.....	392
思考题和习题.....	393

目 录

第六章 直接耦合放大电路

6.1 直接耦合放大电路及其零点漂移现象	401
6.1.1 阻容耦合放大电路存在的问题	401
6.1.2 直接耦合放大电路的分析	403
6.1.3 零点漂移现象及其对放大性能的影响	405
6.1.4 产生零点漂移的主要因素	406
6.1.5 抑制零点漂移的措施	409
6.2 差动式放大电路	410
6.2.1 基本形式	411
6.2.2 长尾电路	414
6.2.3 恒流源电路	419
6.2.4 差动放大电路的几种接法	423
* 6.2.5 差动放大电路的传输特性	425
* 6.3 温漂的分析	427
6.3.1 单管放大电路的温漂	427
6.3.2 双端输出差动放大电路的温漂	432
6.3.3 单端输出差动放大电路的温漂	436
6.3.4 场效应管差动放大电路的温漂	439
6.3.5 减少温漂的一些措施	441
6.4 直接耦合放大器实例	444
* 6.4.1 电压电流变换器	445
6.4.2 直接耦合式功率放大器	447
本章小结	458
参考文献	461
思考题和习题	461

第七章 线性集成电路基础

7.1 概述	466
7.1.1 集成运放的特点	468

* 7.1.2	集成电路的制造工艺	469
7.1.3	一个原始的集成运放	478
7.1.4	集成运放的基本技术指标	481
7.1.5	集成运放的两种基本接法和误差分析	485
7.2	集成运放的基本组成部分	492
7.2.1	偏置电路	494
7.2.2	输入级	501
7.2.3	中间级	508
7.2.4	输出级和过载保护	512
小结		514
7.3	集成运放 F007 的性能分析	516
7.3.1	直流分析	516
7.3.2	差模放大倍数	519
7.3.3	差模输入电阻	521
7.3.4	输出电阻	521
* 7.4	几种新型的集成运放	521
7.4.1	第三代集成运放	522
7.4.2	第四代集成运放	528
7.4.3	其他类型的集成运放	536
7.5	集成运放的选择	545
本章小结		546
参考文献		546
思考题和习题		548

第八章 集成运算放大器的应用

8.1	应用前的准备工作	555
8.1.1	测定工作参数	555
8.1.2	改善性能的措施	565
8.1.3	使用时可能出现的一些问题	572
8.1.4	保护措施	578
8.2	在信号获取方面的应用	581
8.2.1	压电转换	582
8.2.2	热电转换	585