



应用电子技术基础

张维廉 主编

西南交通大学出版社



应用电子技术基础

张维廉 编

西南交通大学出版社

(川) 新登字 018 号

内 容 提 要

《应用电子技术基础》是机械类专业电子技术基础教材之一。本书阐述了模拟电子电路和晶闸电路的基本概念、基本原理及常用的分析方法。内容包括半导体二极管及其应用、半导体三极管和交流电压放大电路、功率放大电路、场效应管放大电路、直接耦合放大电路及运算放大器、正弦波振荡电路、晶闸管及其应用等七章。每章都附有较多的思考题与习题,以供学习时选用。为了培养学生分析问题和解决问题的能力,部分章节附有课堂自我测验题,用来巩固和扩大学生的知识面,并可以此检查学习情况。本书在讨论分立元件的基础上,大大加强了线性集成电路的原理和应用的内容。

本书可作为高等工科院校、职工大学、业余大学和电视大学机械类专业及其相近专业的试用教材,也可供具有一定电路知识的技术人员学习和参考。

应用电子技术基础

张维廉 主编

*

西南交通大学出版社出版发行

(四川 成都市)

新华书店经销

西南交通大学印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 1/16 印张: 12.75

字数: 288 千字 印数: 12001—22000 册

1987 年 7 月第 1 版 1990 年 5 月第 2 版

1994 年 8 月第 3 版 1994 年 8 月第 1 次印刷

ISBN 7—81022—162—0/T·057

定价: 7.90 元

第一版前言

《应用电子技术基础》一书,是根据1985年6月在北京召开的铁道部高等工科院校电技术基础协会教材会议通过的“关于加强电技术基础课教材建设的决定”编写的。

对于工科机械类各专业,电技术基础课的四门教材分为《电路基础》、《电机与控制》、《应用电子技术基础》和《数字电子技术基础》。《应用电子技术基础》是其中的一册,这本教材适用于50~60学时。

本书按照“管路结合,管为路用”的原则编写,内容包括半导体二极管及其应用、半导体三极管和交流电压放大电路、功率放大电路、场效应管放大电路、直接耦合放大电路及运算放大器、正弦波振荡电路、晶闸管及其应用等七章。在编写过程中,我们注意了培养学生的分析问题和解决问题的能力与他们对基本概念、基本原理以及基本分析方法的掌握。为此在部分章节里安排了“课堂自我测验题”,让学生在掌握了基本概念、基本原理和基本分析方法后,能独立的、在较短时间内做完这些题。通过教师当场讲评,使学生所获得的知识更加牢固,应用时更加灵活。对自学的读者,这些自我测验题用来检查自学情况,也是有益的。本书的另一特点是,编写中力求深入浅出,便于自学。取材时,参照了由哈工大、上海交大起草的《电子技术基础》教学基本要求中的有关内容。为适应电子技术迅速发展的形势,教材中大大加强了集成运算放大器及其应用的内容;为适应各专业的不同要求,编写了一些加深加宽的内容,并标以*号;书中编有较多的例题和一定数量的实例,各章附有较多的思考题与习题,可供教学中选用。

本书可作为高等工科院校、职工大学和电视大学机械类及其他相近专业的试用教材,也可供具有一定电路知识的技术人员学习和参考。

本书由西南交通大学张维廉主编,大连铁道学院巢培德协编。书中第一、二、三、四、五、六章由张维廉编写,第七章由巢培德编写。全书由张维廉进行了统稿和修改工作。

本书由北方交通大学肖幼萍副教授主审,上海铁道学院郭丽君同志审阅了部分书稿。上海、长沙、大连、兰州、石家庄铁道学院、华东交通大学、北方交通大学和西南交通大学的有关教师参加了1986年4月在上海召开的教材审稿会议,提出了许多宝贵意见,在此表示衷心感谢。

由于我们业务水平有限,书中错误和不妥之处,在所难免,恳切希望使用本教材的师生和其他读者多加指正。

编者
1986年6月

第二版前言

《应用电子技术基础》第一版于1987年7月出版发行,经各兄弟院校使用提出了许多宝贵的意见和建议。本书第二版根据这些意见和建议进行了修订。主要做了下列几方面的工作:(1)在第七章晶闸管及其应用,增加了晶闸管可控整流电路应用实例一节。该节是根据《电机与控制》一书的第一版第七章闭环控制系统的内容进行改写的。《电机与控制》第二版中已将此章删去。(2)全书的插图和文字符号都按1987年公布的国家标准《电气线路图形符号》、《电气制图》等进行了修改。为使读者阅读其它参考资料方便起见,在本书中附上新旧图形符号对照表。(3)由于图形符号的修改,某些章节的内容相应地也进行了修改。

本书第二版是由张维廉进行修订的。兰州铁道学院温宗应老师、上海铁道学院郭丽君老师、北方交通大学李守成老师对本书第一版提出了宝贵的意见和建议,在此表示衷心的感谢。

本版内容中有所改进,但离教学要求尚有差距,书中仍会有缺点和错误,恳请广大读者不吝赐教。

编者
1990年5月

第三版前言

1993年1月在北方交通大学召开的铁道部高等工科院校电工学研究会第五届年会上,对已使用七年的非电专业电技术基础系列教材进行了总结,各校还陆续运用国家教委统编的通用试题库对使用本教材的学生进行考核、测试等工作。实践充分证明:本套教材符合国家教委的“高等工科院校非电专业电工学课程的基本要求”;对铁路系统各高校乃至路外部分高校电工学的课程建设起了积极作用,得到路内外高校的肯定。为适应电技术的迅速发展,进一步提高质量,作者在原教材的基础上,进行了增删、修订。修订的内容如下:

1. 第二章半导体三极管及交流电压放大电路中,删去了放大电路图解分析法和放大电路计算分析法两节,增加了放大电路的静态和动态分析一节。在此节中讨论了电流和电压的静态值估算、小信号输入时放大电路的动态分析,放大电路中实际电压和电流及非线性失真。在本章最后增加了交流放大电路实例一节。

2. 第四章场效应管放大电路中,增加了VMOS场效应管及其功率放大电路一节。在本节中,首先讨论了VMOS场效应管的结构和工作原理,然后举出一个实例,对VMOS功率放大电路进行了分析。

3. 第五章直接耦合放大电路及运算放大器中,增加了运算放大器传输特性的内容,并对运算放大器的反馈进行了分析。运算放大器的应用则按线性和非线性应用分别改写。

4. 第六章正弦波振荡电路中,重点分析了带有运算放大器的RC桥式振荡电路。为了满足有关专业的需要,LC振荡电路和LC振荡电路实例两节用×号标出。

5. 第七章晶闸管及其应用改为电力电子学基础,并重新进行编写。除介绍晶闸管及其应用的内容外,还增加了VMOS功率开关管应用的内容。

在本书的修订工作中,张维廉修订了第一、二、三、四、六章;李春茂修订了第五章,并重新编写了第七章。全书由张维廉负责统稿和定稿。

本书虽经过了三版修订,其中难免存在缺点和错误,恳请广大读者不吝赐教。

编者
1993年12月

应用电子技术基础符号说明

一、基本符号

1. 电流、电压、电位

i, u	含有直流成分的电流电压瞬时值通用符号
I, U	直流电流电压值; 正弦电流电压有效值
$\dot{I}, \dot{U}$	正弦电流电压复数量的通用符号
I_m, U_m	正弦电流电压幅值的通用符号
$I_{\max}, U_{\max}$	电流电压最大值
$I_{\min}, U_{\min}$	电流电压最小值
I_Q, U_Q	电流电压静态值
E_C	集电极回路直流电源电动势
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_{bm}	基极电流交流分量为正弦量时的幅值
E_B	基极回路直流电源电动势
i_C	集电极电流总瞬时值
i_c	集电极电流交流分量瞬时值
I_C	集电极直流电流
I_{CQ}	集电极静态电流
I_{cm}	集电极电流交流分量为正弦量时的幅值
I_E	发射极直流电流
E_D	漏极直流电源电动势
E_G	栅极电流电源电动势
i_D	漏极电流总瞬时值; 二极管电流瞬时值
I_D	漏极直流电流; 二极管直流电流
i_d	漏极电流交流分量瞬时值
i_S	源极电流总瞬时值
I_S	源极直流电流; 二极管反向饱和电流
u_{BE}	基极—发射极电压总瞬时值
U_{BE}	基极—发射极直流电压

u_{be}	基极—发射极电压交流分量瞬时值
U_{bem}	基极—发射极电压交流分量为正弦量时的幅值
u_{CE}	集电极—发射极电压总瞬时值
U_{CE}	集电极—发射极直流电压
u_{ce}	集电极—发射极电压交流分量瞬时值
u_{GS}	栅极—源极电压总瞬时值
U_{GS}	栅极—源极直流电压
u_{gs}	栅极—源极电压交流分量瞬时值
u_{DS}	漏极—源极电压总瞬时值
U_{DS}	漏极—源极直流电压
u_{ds}	漏极—源极电压交流分量瞬时值
u_i	输入电压瞬时值
U_i	正弦输入电压有效值；直流输入电压增量值
u_o	输出电压瞬时值
U_o	正弦输出电压有效值；直流输出电压增量值；整流电路输出平均电压
i_o	输出电流瞬时值
I_o	正弦输出电流有效值；整流电路输出平均电流
U_{DRM}	整流电路中，二极管最大反向电压
U_D	整流电路中，二极管正向电压降
U_L	负载电压
I_L	负载电流
V	直流电位通用符号
V_B	基极直流电位
V_C	集电极直流电位
V_E	发射极直流电位
V_G	栅极直流电位
V_D	漏极直流电位
V_S	源极直流电位

2. 功 率

p	瞬时功率
P	功率通用符号
P_E	电源消耗的功率
p_o	输出交变功率
P_{om}	最大输出功率

3. 频 率

f	频率通用符号
-----	--------

ω	角频率通用符号
f_0	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
r_{be}	共发射极接法下基射极之间的微变电阻
r_i	输入电阻
r_o	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_L	负载电压
R'_L	R_L 与 R_C 的并联电阻
R_S	信号源内阻；接到场效应管源极的固定电阻
C	电容的通用符号
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_u	电压放大倍数通用符号
$\dot{A}_u$	电压放大倍数复数形式 $= \dot{U}_o / \dot{U}_i$
A_{uf}	有反馈时的电压放大倍数
A_{uo}	无反馈时的电压放大倍数
A_{us}	考虑信号源内阻时的电压放大倍数
F	反馈系数的通用符号
$\dot{F}$	反馈系数的复数形式
A_d	差模电压放大系数
A_c	共模电压放大系数

二、器件参数符号

A	阳极
K	阴极
G	场效应管栅极；晶闸管控制极或门极
B	晶体管基极
C	晶体管集电极
E	晶体管发射极

J	PN 结
D	场效应管漏极; 二极管
S	场效应管源极; 信号通用符号; 变压器容量
BU_{EBO}	集电极开路时发射极—基极间的击穿电压
BU_{CEO}	基极开路时集电极—发射极间的击穿电压
BU_{CER}	基极—发射极间接入电阻时集电极—发射极间的击穿电压
BU_{CES}	基极—发射极间短路时集电极—发射极间的击穿电压
BU_{DS}	漏极—源极间的击穿电压
D_Z	稳压管
I_{CBO}	发射极开路时集电极—基极间的反向饱和电流
I_{CEO}	基极开路时集电极—发射极间的穿透电流
I_{CER}	基极—发射极间接入电阻时集电极—发射极间的穿透电流
I_{CM}	集电极最大允许电流
I_{DSS}	$U_{GS}=0$ 时的 I_D
I_{FM}	二极管的额定整流电流或最大正向电流
I_R	二极管的反向电流
U_{RM}	二极管最高反向工作电压
U_f	反馈电压
I_f	反馈电流
U_{fm}	正弦反馈电压幅值
U_p	场效应管的夹断电压; 单结晶体管峰点电压
U_T	增强型场效应管的开启电压; 温度的电压当量
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
U_B	二极管击穿电压
α	共基极接法下晶体管交流电流放大系数
$\bar{\alpha}$	共基极接法下晶体管直流电流放大系数
β	共发射极接法下晶体管交流电流放大系数
$\bar{\beta}$	共发射极接法下晶体管直流电流放大系数
g_m	跨导
U_Z	稳压管的稳定电压
I_{Zmax}	稳压管的最大稳定电流
r_z	稳压管的动态电阻
α_u	稳压管的电压温度系数
SCR	晶闸管或可控硅器件符号
I_H	晶闸管维持电流
I_G	晶闸管控制电流

U_{BR}	晶闸管反向击穿电压
U_{RSM}	晶闸管反向不重复峰值电压
U_{BO}	晶闸管正向转折电压
U_{DSM}	晶闸管断态正向不重复电压
U_{DRM}	晶闸管断态重复峰值电压
U_{RRM}	晶闸管反向重复峰值电压
I_T	晶闸管额定通态平均电流
R_{BB}	单结晶体管两基极间的电阻
UJT	单结晶体管器件符号
η	单结晶体管分压比
U_{BB}	单结晶体管两基极间电压
R_{B1}	单结晶体管第一基极至 PN 结间的电阻
R_{B2}	单结晶体管第二基极至 PN 结间的电阻
I_p	单结晶体管峰点电流
I_v	单结晶体管谷点电流
U_v	单结晶体管谷点电压

三、其它符号

CMRR	共模抑制比
T	绝对温度, 单位为 K ; 周期
k	变压器变比; 波尔兹曼常数, 单位 J/K
N_1	变压器原边绕组匝数
N_2	变压器副边绕组匝数
q	电子电荷量 $= 1.6 \times 10^{-19} C$
Q	静态工作点; LC 回路的品质因数
η	效率
τ	时间常数
φ	相角差

新旧图形符号对照表

名 称	新 图 形 符 号	旧 图 形 符 号
半导体二极管		
电 解 电 容 器		
半导体稳压管		
理 想 电 压 源		
交流理想电压源		
理 想 电 流 源		
受控理想电流源		
N 沟道结型场效应管		
P 沟道结型场效应管		
N沟道增强型 MOS 场效应管		

续上表

名 称	新 图 形 符 号	旧 图 形 符 号
P 沟道增强型 MOS 场效应管		
N 沟道耗尽型 MOS 场效应管		
P 沟道耗尽型 MOS 场效应管		
理想运算放大器		
运算放大器 (A 为开环增益)		
反向阻断晶闸管		
没有必要规定控制极的 类型时反向阻断晶闸管		
他励直流电动机		
接触器常开主触头		
接触器常闭主触头		

目 录

第一章 半导体二极管及其应用

第一节 概 述	1
第二节 PN 结及其单方向导电性	2
一、PN 结的形成	2
二、PN 结的单方向导电性能	2
第三节 半导体二极管	3
一、半导体二极管的基本结构	3
二、半导体二极管的伏安特性	4
三、半导体二极管的主要参数	5
第四节 桥式整流电路及滤波电路	7
一、单相桥式整流电路	8
*二、三相桥式整流电路	10
三、滤波电路	13
第五节 硅稳压管和稳压管稳压电路	15
一、稳压管	15
二、稳压管稳压电路	17
习 题	19

第二章 半导体三极管和交流电压放大电路

第一节 半导体三极管(晶体管)	21
一、晶体管的基本结构	21
二、晶体管的放大原理	22
三、晶体管的特性曲线	25
四、晶体管的主要参数	27
第二节 单管交流电压放大电路的组成	30
第三节 放大电路的静态和动态分析	31
一、电流和电压静态值的估算	32

二、小信号输入时放大电路的动态分析·····	33
三、放大电路中的实际电压和电流·····	37
四、非线性失真·····	39
第四节 放大电路静态工作点的稳定 ·····	39
一、温度对静态工作点的影响·····	40
二、分压式电流负反馈偏置电路·····	40
第五节 阻容耦合放大电路 ·····	42
第六节 放大电路中的负反馈 ·····	45
一、反馈的基本概念·····	45
二、负反馈的类型·····	46
三、反馈的判断·····	46
四、负反馈对放大电路性能的影响·····	50
第七节 射极输出器 ·····	52
第八节 交流放大电路的实例 ·····	55
习 题 ·····	56

第三章 功率放大电路

第一节 射极输出器的功率放大作用及放大电路的工作状态 ·····	60
一、射极输出器的功率放大作用·····	60
二、放大电路的工作状态·····	61
第二节 互补对称功率放大电路 ·····	62
一、乙类互补对称功率放大电路·····	62
二、甲乙类互补对称功率放大电路·····	63
三、准互补对称功率放大电路·····	64
第三节 单电源互补对称功率放大电路 ·····	
一、乙类单电源互补对称功率放大电路·····	66
二、甲乙类单电源互补对称功率放大电路·····	67
* 第四节 变压器耦合功率放大电路 ·····	68
一、变压器耦合单管功率放大电路·····	69
二、乙类推挽功率放大电路·····	70
习 题 ·····	71

第四章 场效应管放大电路

第一节 结型场效应管	73
一、结型场效应管的结构和工作原理	73
二、结型场效应管的特性曲线	74
第二节 绝缘栅场效应管	76
一、N 沟道增强型绝缘栅场效应管	77
二、N 沟道耗尽型绝缘栅场效应管	78
第三节 场效应管的主要参数和使用注意事项	79
一、场效应管的主要参数	79
二、场效应管使用注意事项	80
第四节 场效应管基本放大电路	80
一、静态工作点的设置	80
二、场效应管放大电路的微变等效电路	83
第五节 共漏极放大电路——源极输出器	84
第六节 VMOS 场效应管及其功率放大作用	85
一、VMOS 场效应管的结构及工作原理	85
二、VMOS 管功率放大电路	86
习 题	86

第五章 直接耦合放大电路及运算放大器

第一节 直耦放大电路的特殊问题	88
一、直耦放大电路的耦合方式	88
二、多级直耦放大电路中的零点漂移	90
第二节 差动式放大电路	91
一、基本差动放大电路	91
二、典型差动放大电路	93
三、晶体管恒流源差动放大电路	98
第三节 运算放大器	98
一、概 述	98
二、线性集成电路	99

三、集成运放电路的基本分析方法	103
四、运算放大器的线性应用	105
五、运算放大器的非线性应用	113
六、集成运放的负反馈	117
七、线性集成电路应用知识	121
第四节 集成稳压电路	122
一、串联式晶体管稳压电路	122
二、比较环节采用线性集成电路的稳压电路	123
三、集成稳压电路	124
习 题	126

第六章 正弦波振荡电路

第一节 自激振荡	131
一、振荡条件	131
二、振荡的建立和稳定	132
第二节 RC 振荡电路	133
一、RC 桥式振荡电路的组成	133
二、RC 选频电路	133
三、RC 桥式振荡电路的应用	135
* 第三节 LC 振荡电路	135
一、变压器反馈式振荡电路	135
二、电感三点式振荡电路和电容三点式振荡电路	136
* 第四节 LC 振荡电路实例	137
习 题	138

第七章 电力电子学基础

第一节 概 述	139
第二节 晶体闸流管	141
一、晶闸管的结构和可控单向导电特性	142
二、晶闸管的伏安特性	143
三、晶闸管的主要参数	144
四、晶闸管元件的简易测试及使用注意事项	145