

高等学校教材（专科适用）

电子技术基础



高等学校教材

专科适用

电子技术基础

太原电力高等专科学校 裴国伟 主编

水

TN/7
94

高等学校教材

//////////////////// 专 科 适 用 //////////////////////

电子技术基础

太原电力高等专科学校 裴国伟 主编

水利电力出版社

(京)新登字115号

内 容 提 要

本书是根据能源部高等学校电力专科教材会议制订的教学大纲编写的,共有15章,内容为:半导体二极管与三极管,基础放大电路,放大电路中的反馈与正弦波振荡器,功率放大器,直流稳压电源,可控硅电路,半导体模拟集成电路,数字电路基础,基本逻辑门电路,组合逻辑电路,集成触发器,集成数字部件,脉冲的产生与整形,集成D/A、A/D转换器,工程电子设备的读图。

本书分立元件部分,主要阐述基本概念、基本原理和基本分析方法,并适当增加了可控硅电路与半导体模拟集成电路的内容;数字部分以中规模集成电路为主,重点介绍应用。

本书可作为高等学校专科电力工程类各专业的教材,也可供有关工程技术人员自学或参考。

2738/2514

高等学校教材

(专科适用)

电子技术基础

太原电力高等专科学校 裴国伟 主编

*

水利电力出版社出版

(北京三里河路6号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

北京市地矿局印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 29.75印张 676千字

1994年6月第一版 1994年6月北京第一次印刷

印数0001—3480册

ISBN 7-120-01712-8/TM·509

定价 13.60 元

前 言

本书是根据能源部高等电力专科教材会议在1989年5月制订的《电子技术基础》(电办工程类)编写大纲编写的。在编写过程中,我们广泛地征求了电力工程类专业各同行的意见,力求在理论与实践的结合上有所提高。目前集成电路的应用日趋广泛,大有取代分立元件之势,但在电厂及其它电力部门中,分立元件的设备仍占有相当的比重。为此,我们在内容处理上除精选了有关分立元件及其电路的基本原理与分析方法外,重点加强了集成电路。为了适应电力生产的需要与增强学生实际工作能力,我们适当地增加了可控硅电路的内容与工程电子设备读图的内容。对于书中带有“*”号的内容可按需要予以取舍。

因高等学校专科的理论教学时间所限,所以本书以电力工程类专科“够用”为原则,对传统的内容作了较大的取舍。在模拟部分,对半导体器件内部的物理过程、导电机理及放大器的频率特性只作了概括介绍,负反馈有关计算仅分析了在深度负反馈情况下的计算,至于正弦波振荡器、功率放大器、直流稳压电源也作了较大压缩。在数字部分,我们突出了集成器件的功能与应用,突出了中规模集成电路。如在集成触发器一章我们以维阻型中规模集成D触发器、边沿JK触发器、CMOS触发器为主,摒弃了已日趋淘汰的主从JK触发器(实际上在我国根本就没有发展起来);在集成计数器一节以具体的中规模集成计数器的工作原理为主,着眼于应用,减少了传统教材中的用小规模集成电路去搭接与设计计数器的内容;为了增强学生将来参与技改及解决现场问题的能力,我们在数字电路基础与组合逻辑电路的有关章节中适当地增加了逻辑设计与有关竞争冒险的内容。

参加本书编写工作的有太原电力专科学校裴国伟、沈阳电力专科学校熊保辉和太原电力专科学校赵世平,由裴国伟担任主编,并负责全书的组稿与定稿工作。书中第八~十三章由熊保辉编写,第三、四、五、十四章由赵世平编写,其余部分由裴国伟编写。全书由上海电力学院叶铭劭副教授主审,并提出了详细的修改意见。另外,太原电力专科学校的各级领导也给了大力的支持,尤其是田震教授、李崇贺教授曾给了许多具体的帮助,在此一并致谢。

由于我们水平所限,加之时间仓促,因而书中可能存在不少的缺点和不妥之处,敬请各方面的读者予以批评指正。

编 者

1993年6月

常用符号说明

一、基本符号

I 、 i	电流
U 、 u	电压
E	直流电源
P 、 p	功率
CP	时钟脉冲
S	功率容量, 开关, 触发器置1端
R	电阻, 触发器置0端
T	变压器, 周期, 温度
L	电感
C	电容
M	互感, 电动机
g	电导
B	扬声器, 耳机
A	放大倍数, 集成运放, 固态继电器
F	反馈系数, 熔断器
f	频率
t	时间
G	发电机
P	计数器
H	指示灯
D	门电路, 触发器, 非线性失真系数
K	继电器, 绝对温度
ω	角频率
JZ	石英晶体
X	插头、插座、接线端子
V	二极管、晶体三极管、场效应管、可控硅、单结晶体管、电源电势

Q 断路器, 静态工作点, 触发器输出端

二、电压、电流、电源电势

小写 $u(i)$ 、小写下标	交流电压(电流)瞬时值
大写 $U(I)$ 、大写下标	直流电压(电流)值
小写 $u(i)$ 、大写下标	含有直流的电压(电流)瞬时值
大写 $U(I)$ 、小写下标	正弦交流电压(电流)的有效值

U_{BEQ}	基极-射极间的静态电压
u_i	输入电压瞬时值
u_o	输出电压瞬时值
u_s	信号源电压瞬时值
U_m	正弦交流电压的幅值
U	直流电压、正弦交流电压有效值
U_d	输出直流平均电压
V_{CC}	集电极电源
V_{BB}	基极电源
V_{EE}	发射极电源
V_{DD}	漏极电源
V_{GG}	栅极电源
V_{ss}	源极电源
V_{bb}	单结晶体管两基极回路中的电源
e_L	电感 L 上的自感电势
I_m	正弦电流幅值
I_d	流过负载的直流电流平均值
i_d	流过负载的交流电流瞬时值
I_{BQ}	基极静态电流

三、电阻、电导、电容

大写 R 、大写下标 固定电阻

小写 r 、小写下标 交流电阻或微变电阻

r_i 放大电路的输入电阻

r_o 放大电路的输出电阻

R_s 信号源内阻

R_L 负载电阻

小写 g 、小写下标表示微变电导

大写 C (或加大写下标) 表示电容

四、功率

P 瞬时功率

P_O 功放电路输出功率

P_{OM} 功率放大电路的最大输出功率

P_E 电源供给放大电路的平均功率

五、放大倍数

A_f 反馈放大电路的放大倍数

A_i 放大电路的电流放大倍数

A_u 放大电路的电压放大倍数

A_{us} 放大电路的源电压放大倍数

A_{uf} 有反馈时电压放大倍数

A_{uh} 高频电压放大倍数

A_{uL} 低频电压放大倍数

A_{um} 中频电压放大倍数

A_{usf} 有反馈时源电压放大倍数

A_d 差模电压放大倍数

A_c 共模电压放大倍数

A_P 功率放大倍数

六、频率

f_H 放大电路的上限 (下降3dB) 频率

f_L 放大电路的下限 (下降3dB) 频率

f_{BW} 放大电路的通频带

f_0 回路的固有振荡频率

七、器件参数符号

1. 晶体二极管

U_0 死区电压或门坎电压

U_D PN结的势垒

U_B PN结击穿电压

U_Z 稳压管稳压值

I_R 反向饱和电流

C_j 结电容

C_T 势垒电容

C_D 扩散电容

I_F 最大整流电流

R_D 直流电阻

2. 晶体三极管

b 基极

c 集电极

e 发射极

I_{CBO} 发射极开路时 $c-b$ 间反向饱和电流

I_{CEO} 基极开路时 $c-e$ 间穿透电流

I_{CM} 集电极最大允许电流

I_{BS} 临界饱和基极电流

I_{CS} 临界饱和集电极电流

BU_{CBO} 发射极开路时 $c-b$ 间击穿电压

BU_{CEO} 基极开路时 $c-e$ 间击穿电压

BU_{EBO} 集电极开路时 $e-b$ 间击穿电压

U_{CES} 饱和压降

P_{CM} 集电极最大允许耗散功率

P_V 三极管的管耗

$r_{bb'}$ 基区体电阻

α 或 $\bar{\alpha}$ 共基极交流或直流电流放大系数

β 或 $\bar{\beta}$ 共射极交流或直流电流放大系数

f_a 共基截止频率

f_β 共射截止频率

f_T 特征频率

t_d 延迟时间

t_r 上升时间

t_f 下降时间

t_s 存储时间

t_{on} 开通时间

t_{off} 关断时间

3. 场效应管

d 漏极

g 栅极
 s 源极
 I_{DSS} $U_{GS}=0$ 时的饱和漏源电流
 U_P 夹断电压
 U_T 开启电压

4. 可控硅

a 阳极
 k 阴极
 g 门极
 I_H 维持电流
 I_F 通态平均电流
 U_F 通态平均电压
 U_{BO} 正向转折电压
 U_{DSM} 断态不重复峰值电压
 U_{DRM} 断态重复峰值电压
 U_{RSM} 反向不重复峰值电压
 U_{RRM} 反向重复峰值电压

5. 单结晶体管

I_P 峰点电流
 I_V 谷点电流
 U_P 峰点电压
 U_V 谷点电压
 η 分压比

6. 集成运算放大器

A_{od} 开环差模电压放大倍数
 U_{os} 输入失调电压
 I_{os} 输入失调电流
 r_{id} 差模输入电阻

7. 逻辑门电路

I_{IH} 输入高电平电流

I_{IS} 输入短路电流
 N_0 扇出系数
 t_{pd} 平均传输延迟时间
 U_{SH} 标准高电平
 U_{SL} 标准低电平
 U_{OH} 输出高电平
 U_{OL} 输出低电平

八、其它符号

$CMRR$ 共模抑制比
 CMR 用分贝表示的共模抑制比
 F_i 电流反馈系数
 F_u 电压反馈系数
 U_H 滞后电压
 ε 电场强度
 γ 稳压系数
 τ 时间常数
 α 可控硅控制角
 θ 可控硅导通角
 β 可控硅的逆变角
 F 逻辑函数
 m 最小项
 Y 组合逻辑电路的输出端
 t_p 脉冲宽度
 t_{pl} 输入脉冲宽度
 t_{p0} 输出脉冲宽度
 t_{re} 恢复时间
 t_{set} 建立时间
 t_H 维持时间
 N 计数器的计数输入端

目 录

前言

常用符号说明

绪论	1
第一章 半导体二极管与三极管	4
第一节 半导体的导电特性	4
一、导体、半导体和绝缘体 二、半导体的内部结构与导电特性 三、杂质半导体	
第二节 半导体二极管	8
一、PN结的形成与特性 二、半导体二极管	
第三节 半导体三极管	13
一、半导体三极管的结构与分类 二、三极管的电流分配与放大原理 三、三极管的特性曲线与主要参数 四、三极管的简易测试	
本章小结	24
思考题与习题	24
第二章 基础放大电路	26
第一节 共发射极单级放大电路	26
一、共射单级放大电路的组成与主要性能指标 二、放大电路的一般分析方法 三、放大电路工作点的稳定问题 四、共集电极放大电路——射极输出器 五、共基极放大电路 六、三种基本组态的放大电路比较和组合电路	
第二节 场效应管放大电路	51
一、结型场效应管 二、绝缘栅场效应管 三、场效应管的主要参数 四、场效应管和晶体三极管的比较以及场效应管的使用注意事项 五、场效应管放大电路	
第三节 多级放大电路	66
一、多级放大器的基本问题 二、多级放大器的特性 三、放大电路的频率特性	
本章小结	74
思考题与习题	74
第三章 放大电路中的反馈与正弦波振荡器	82
第一节 反馈的基本概念	82
一、反馈的意义 二、负反馈放大电路的分类 三、反馈类型的判别	
第二节 负反馈对放大器性能的影响	94
一、提高放大倍数的稳定性 二、扩展通频带与减小非线性失真 三、负反馈对输入电阻、输出电阻的影响	
第三节 负反馈放大电路的分析方法	100
第四节 正弦波振荡电路的一般问题	102
第五节 RC正弦波振荡器	103
一、RC桥式振荡器 二、RC移相式振荡器	
第六节 LC正弦波振荡器	108

静态工作点稳定

一、LC 并联谐振回路的选频特性	二、变压器反馈式LC 正弦波振荡器	三、电感反馈式LC 振荡器	
四、电容反馈式LC 振荡器	五、石英晶体振荡器		
本章小结			119
思考题与习题			120
第四章 功率放大器			127
第一节 概述			127
一、功率放大电路的主要研究对象	二、提高功率放大器效率的主要途径		
第二节 变压器耦合功率放大器			129
一、变压器耦合甲类功率放大器	二、变压器耦合乙类推挽功率放大器		
第三节 互补对称功率放大器			137
一、电路组成与工作原理	二、改进措施	三、主要技术指标的计算	四、互补对称功放电路实例
本章小结			145
思考题与习题			146
第五章 直流稳压电源			149
第一节 直流稳压电源的组成			149
第二节 整流与滤波电路			149
一、整流电路	二、滤波电路		
第三节 稳压管及稳压管稳压电路			158
一、稳压管的特性及主要参数	二、稳压管稳压电路		
第四节 串联反馈式稳压电路			162
一、电路组成及工作原理	二、稳压电源的质量指标	三、提高串联反馈式稳压电路性能的措施	
本章小结			167
思考题与习题			168
第六章 可控硅电路			171
第一节 可控硅整流电路			171
一、可控硅整流元件	二、单相可控整流电路	三、三相可控整流电路	
第二节 可控硅逆变电路			199
一、逆变的概念	二、逆变电路	三、有源逆变电路的应用举例	
第三节 可控硅触发电路			207
一、概述	二、阻容移相桥触发电路	三、单结晶体管触发电路	
第四节 可控硅的保护			215
一、可控硅的过流保护	二、可控硅的过压保护		
第五节 可控硅电路的应用实例——自激恒压装置			216
一、用途	二、主要技术性能	三、电路组成	四、工作原理
本章小结			217
思考题与习题			218
第七章 模拟集成电路			221
第一节 概述			221
一、模拟集成电路的概念与分类	二、模拟集成电路的特点		
第二节 模拟集成电路的基本单元电路			222
一、差动放大电路	二、恒流源与有源负载电路	三、电压源电路	四、直流电平移位电路
五、双端—单端转换电路	六、输出级电路		

第三节 集成运算放大器	241
一、集成运算放大器的基本概念 二、典型的集成运算放大器电路 三、集成运放的主要参数 四、集成运放的基本运算电路 五、集成运放的线性应用 六、集成运放的非线性应用	
*第四节 集成功率放大器	261
一、集成功率放大器的概况 二、集成功放LA4112电路简介	
第五节 集成稳压器	264
一、集成稳压器的基本组成与工作参数 二、三端可调式集成稳压器W317电路分析	
*第六节 集成可控硅触发电路	267
本章小结	270
思考题与习题	270
第八章 数字电路基础	275
第一节 计数体制	275
一、十进制计数法 二、二进制计数法 三、八进制和十六进制 四、不同进制数之间的转换 五、二十进制编码(BCD码)	
第二节 逻辑代数及其应用	279
一、基本逻辑运算 二、逻辑代数的基本定律 三、逻辑代数运算的基本规则 四、逻辑函数的代数法化简	
第三节 卡诺图及其应用	284
一、逻辑函数最小项的基本概念 二、变量卡诺图 三、卡诺图的填写 四、用卡诺图化简逻辑函数 五、具有无关项的逻辑函数的化简	
本章小结	291
思考题与习题	291
第九章 基本逻辑门电路	294
第一节 关于逻辑的基本概念	294
一、逻辑状态的赋值 二、正逻辑和负逻辑	
第二节 晶体管的开关特性	295
一、二极管的开关特性 二、三极管的开关特性 三、MOS管的开关特性	
第三节 三极管反相器	297
一、反相器的基本电路 二、开关时间与加速电容的作用 三、钳位电路的作用 四、反相器的带负载能力	
第四节 分立元件基本逻辑门电路	300
一、二极管与门 二、二极管或门 三、三极管非门 四、与非门 五、或非门	
第五节 TTL集成逻辑门电路	304
一、TTL与非门 二、TTL与非门的电气特性 三、集电极开路与非门(OC门)和三态与非门(TSL) 四、其它集成逻辑门电路	
第六节 CMOS集成逻辑门电路	312
一、CMOS反相器 二、CMOS与非门、与门 三、CMOS或非门、或门 四、CMOS传输门	
本章小结	317
思考题与习题	318
第十章 组合逻辑电路	322
第一节 概述	322
一、组合逻辑电路的基本特点与逻辑功能的表示方法 二、组合逻辑电路的设计方法	

第二节 组合逻辑电路分析	325
一、分析组合逻辑电路的基本方法 二、全加器 三、数据选择器	
第三节 编码、译码与数码显示器	328
一、编码器 二、译码器 三、数码显示器	
第四节 组合逻辑电路中的竞争冒险	339
一、竞争冒险的概念 二、产生冒险的原因 三、冒险现象的判断与消除	
本章小结	342
思考题与习题	342
第十一章 集成触发器	346
第一节 RS 触发器	346
一、基本RS触发器 二、同步RS触发器	
第二节 维持—阻塞D触发器	350
一、电路组成 二、工作原理 三、其它几种中规模集成D触发器简介	
第三节 边沿JK触发器	353
一、电路组成 二、工作原理 三、其它几种中规模JK触发器简介 四、TTL集成JK触发器的主要参数 五、触发器逻辑功能的转换	
第四节 集成CMOS触发器	359
一、CMOSD触发器 二、CMOSJK触发器	
本章小结	364
思考题与习题	364
第十二章 集成数字部件	368
第一节 计数器概述	368
一、计数器的分类 二、计数器的基本工作原理 三、计数器逻辑功能的分析与表示方法 四、计数器的设计	
第二节 集成计数器	375
一、集成异步二进制计数器 二、集成同步二进制计数器 三、集成异步十进制计数器	
第三节 集成寄存器	381
一、寄存器 二、单向移位寄存器 三、双向移位寄存器	
第四节 半导体存储器	386
一、随机存储器(RAM) 二、只读存储器(ROM)	
第五节 可编程逻辑器件PLD	389
一、PLD器件概述 二、几种类型的PLD器件简介	
*第六节 数字集成电路的使用常识	394
一、TTL集成电路使用时的一般性问题 二、CMOS集成电路使用时的一般性问题	
本章小结	399
思考题与习题	399
第十三章 脉冲的产生与整形	404
第一节 分立元件基本脉冲单元电路	404
一、分立元件多谐振荡器 二、分立元件单稳态触发器 三、分立元件施密特触发器	
第二节 集成方波产生电路	409
一、RC环形多谐振荡器 二、555定时器	
第三节 集成方波整形电路	414

一、集成施密特触发器 二、集成单稳态触发器	
本章小结	420
思考题与习题	421
第十四章 集成数—模、模—数转换器	425
第一节 数—模、模—数转换的意义	425
第二节 数—模转换器 (DAC)	426
一、R-2R梯形DAC 二、单片集成DAC——AD7520	
第三节 模—数转换器 (ADC)	429
一、模—数变换的基本原理 二、双积分型ADC 三、单片集成CMOS $3\frac{1}{2}$ 位ADC电路ICL7106	
本章小结	434
思考题与习题	434
第十五章 工程电子设备的读图	437
第一节 读图的基本步骤	437
第二节 位置发信器	439
第三节 APG001型隔离器	442
第四节 K230型时间单元	445
第五节 数字石英钟	448
*第六节 晶体管低压保护	453
本章小结	458
思考题与习题	459

绪 论

一、电子技术的发展及其应用

电子技术作为一门新兴学科的兴起,也不过仅70~80年的时间。但由于它独特的扩散性、渗透性、普及性,使得它很快由无线电通信技术扩展到其它的技术领域,如控制、测量、计算机、电力工程、生物工程、海洋工程、宇航及原子能开发等。可以这样讲,电子技术是今后新技术发展的关键因素。难怪有人这样评价:电子技术的意义,犹如火与蒸汽机一样,对人类有同等的重要性。

电磁波是宇宙间运载信息的主要载体,自从人类发现电磁波后,就产生了用电磁波传递远距离信息的想法,这种想法促进了电子技术的发展。在1912年发明了电子管,这是电子器件的第一代。电子管是电真空器件,其体积、质量大,能耗高,因而使得各种电子设备的发展受到一定限制。1948年研制成功了半导体三极管,电子技术从此从真空时代进入了固体时代,也就是电子器件的第二代。采用半导体器件后,各种电子设备开始向小型化、轻量化和节省能源的方向发展,因而使得各种电子设备出现了一次新的变革。

半导体器件与各种电路元件如电阻、电容、电感等连接起来,可以组成各种电子电路。此种连接方式是靠导线或印刷板焊接起来组成的电路,即称之为分立元件电路。分立元件电路由于焊点多、接触不良等因素,易发生故障,影响设备的可靠运行。因而提出了将这些分立元件组成的电路变换成比较标准的“集成”式线路的要求。

1959年发明了集成电路,它是将许多晶体管、电阻与连接导线做在同一块半导体芯片上组成的电路。开始时,每块芯片中所包含的元器件的密集程度即集成度仅有1~100个晶体管单元,称为小规模集成电路(SSI)。1965年发展成集成度为100~1000个晶体管单元的中规模集成电路(MSI)。从小规模集成电路到大规模集成电路就是电子器件的第三代。集成电路的出现,进一步使电子设备缩小了体积、减轻了重量、降低了功耗、提高了可靠性。由于其内部既有元器件,又有连接线,实现了元件与线路的结合,故使得电子技术又由固体器件进入固体组件的时代。1973年研制成集成度为 $10^3 \sim 10^5$ 个晶体管单元的大规模集成电路(LSI),1978年又研制成集成度为 $10^5 \sim 10^6$ 个晶体管单元的超大规模集成电路(VLSI),此即为电子器件的第四代、第五代。从此,电子技术进入了微电子时代。

进入微电子时代的电子技术,不仅是集成度的提高 而且是从设计思想、线路组成与工艺手段方面又来了一次新的变革。可以预料,不久集成度将会突破100万个单元,成为大规模的集成电路(ULSI)。但随着集成度的提高,面临的技术问题将愈来愈困难,如散热问题难以解决,元件间距太近造成严重的彼此干扰,废品率的提高降低了经济效益等。虽然可以考虑利用超导技术制成有关器件,但由于需要超低温致冷而使其应用受到限制。况且,随着集成度的提高,微电子技术能否突破“物理极限”的限制也将成为关注的问题。80年代初有人提出了生物蛋白质电子电路的设想。既然所有的高级生物的大脑均由蛋白质

构成，为什么不可以模拟此种结构，制成以生物化学方式运行的蛋白质微型计算机？这样在 1mm^3 中就可以包含 10^{15} 个分立元件。此种设想目前虽未成为现实，但却可以预言，随着生物化学工程的突破性进展，生物逻辑最终可能取代布尔逻辑，生物微电子技术将可能是人类信息科学和技术的发展方向。

电子技术最初的应用领域是通信技术，从早期的电报、电话、广播，到后来的电视、载波通信、激光通信、光纤通信无一不用到电子技术的成就。紧接着很快发展到测量、控制领域，并立即在军事与工业上获得广泛的应用。20世纪中期发明了辅助人类进行脑力劳动的计算机，它是以电子技术为基础而产生与发展起来的新技术。近30年来，随着电子技术的发展，计算机技术也以惊人的速度发展，使得计算机很快渗透到国防尖端、工业、农业、企业管理和日常生活的各个领域，计算机的生产、推广和应用已成为我国四个现代化的战略产业。

在当今的新技术革命中，电子技术将更广泛地进入国防、工业、农业和家庭生活的各个领域。电子技术的发展、推广与应用将会对国防与工农业生产的结构、商品结构、社会的变革及人的生活产生深远的影响。

二、电子电路的分类与特点

按照工作信号的不同可将电子电路分为模拟电路、脉冲电路和数字电路。

1. 模拟电路

处理模拟信号电子电路称为模拟电路。电子电路中所谓模拟信号，是指大小随时间连续变化的电压或电流信号，它可以取一定范围内的任意值。模拟电路就是用来产生、放大、变换和处理这类信号的电路。对于模拟电路，主要研究的对象是微弱信号的放大及各种形式信号的产生、变换和反馈等。研究的方法常采用图解法、近似计算法和微变等效电路法。

2. 脉冲电路

产生与变换脉冲信号电子电路称之为脉冲电路。所谓脉冲信号是指发生在短暂时间间隔内的信号，通常为非正弦规律变化的电压或电流，如矩形波、锯齿波等。对于脉冲电路，不仅关心其脉冲的有无，而且关心其波形的形状与大小。电路的组成，往往是由一些线性网络与一些晶体管或其它电子器件组成的开关电路所构成。研究的方法一般为运用微分方程和拉氏变换进行暂态分析。

3. 数字电路

工作信号为数字信号电子电路称为数字电路。所谓数字信号是指那些在时间上和数值上都是离散信号。一方面，它们的变化在时间上不连续，总是发生在一系列离散的瞬间。另一方面，它们的数值大小和增减的变化均采取数字的形式。换言之，对于数字信号只能按有限多个阶梯或增量进行变化和取值，我们仅仅关心阶梯的数目而无需关心阶梯信号的大小。在数字电路中，重点在于研究各个基本单元的状态（0或1）之间的关系，即通常所说的逻辑关系。为了分析这些逻辑关系，已脱离开常规的模拟电路分析法而应用一套新的分析方法，包括逻辑代数、真值表、卡诺图、特性方程及状态转换图等。在电路功能上，数字电路除了可以对信号进行算术运算外，尚能进行逻辑推演和逻辑判断，即具有

一定的“逻辑思维”能力。

三、本课程的性质和任务

本课程是电力工程类专业的一门电子技术方面入门性质的技术基础课，它具有自身的体系，是实践性较强的一门应用课程。

本课程的任务是使学生获得电子技术方面的基本理论、基本知识和基本技能，培养学生分析电子电路和利用电子电路解决工程技术问题的能力，为电子技术专业中的应用及以后从事电子技术的某些领域的技术工作打好基础。具体讲，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工作原理；能对各个环节的工作性能进行定性或定量分析、估算；能对本专业的一般性任务进行方案确定与元器件选择，并且通过安装调试基本完成研制任务。

第一章 半导体二极管与三极管

半导体二极管与三极管，通常也称晶体二极管与晶体三极管。本章从原子结构理论入手，定性地讨论本征半导体与杂质半导体的导电规律，介绍PN结的形成与特性、二极管的伏安特性与主要参数、二极管的结电容及简易测量，并在此基础上介绍三极管的结构、电流分配与放大原理、特性曲线、主要参数和简易测试。

第一节 半导体的导电特性

半导体二极管与三极管均由半导体材料作成。因而要了解半导体管的工作原理与特性，就必须对半导体材料的导电特性有所认识。

一、导体、半导体和绝缘体

自然界中，存在着许多不同的物质，有的物质易于传导电流，称之为导体。有的物质几乎不导电，称为绝缘体。还有一类物质，它的导电能力介于导体与绝缘体之间，我们称之为半导体。通常把电阻率小于 $0.1\Omega\cdot\text{m}$ 的物质如铜、铝等金属称为导体。电阻率大于 $10^{11}\Omega\cdot\text{m}$ 的物质如陶瓷、塑料、橡胶等称为绝缘体。而电阻率介于 $10^{-1}\sim 10^{11}\Omega\cdot\text{m}$ 的物质如硅、锗等则称为半导体。

然而，半导体之所以能成为制作半导体管的材料，并不是因它的导电性能介于导体与绝缘体之间，而是由于它具有一些独特的导电性能，如半导体的热敏、光敏及掺杂特性。也就是说，在不同的温度下或不同强度的光照下，它的导电能力会有极大的不同；若在纯的半导体中，掺入适当的微量杂质元素，它的导电能力将会有成百万倍的增加等。人们正是利用半导体的这些独特性能，制成了各种不同功能的电子器件。为此我们有必要了解半导体的内部结构与它的导电机理。

二、半导体的内部结构与导电特性

1. 本征半导体的内部结构

众所周知，物质是由原子构成，原子是由带正电的原子核和若干个带负电的电子组成，电子分层绕原子核以一定的规律不停地运动。在同一原子中，内层电子受原子核的引力较强，外层电子所受的引力较弱，决定物质导电性能的主要是外层电子。

本征半导体就是非常纯净的、结构完整的半导体晶体。所谓纯净是指半导体仅由一种单一的物质构成；结构完整是指组成半导体的原子均按一定的规律整齐排列。目前广泛应用的半导体材料是硅（Si）和锗（Ge）。下面以硅为例来说明本征半导体的结构。

一个硅原子有14个电子，这些电子按图1-1(a)所示的轨道围绕带正电荷的原子核运动。原子的内层电子受原子核的束缚力较大，很难有活动的余地，因而硅原子的模型可简化成图1-1(b)。其中硅原子的内层电子和原子核组成惯性核，它的净电量是 $14 - 10 = +4$

个电子电量。其最外层的4个电子，受原子核的束缚力较小，通常称为价电子。半导体的导电特性将与价电子有关。

为了搞清半导体的导电特性，尚需进一步了解硅半导体晶体中的原子排列情况。用于制作半导体管的硅（或锗）材料，都必须是经加工提炼成的单晶半导体。在单晶半导体中，其原子排列已由杂乱无章的状态变成了非常整齐的状态。图1-2为硅（或锗）晶体的结构平面示意图。

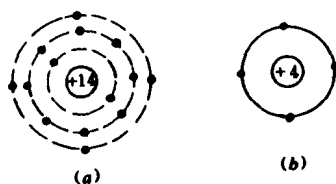


图 1-1 硅（Si）的原子结构图
(a) 硅原子结构；(b) 硅原子简化表示

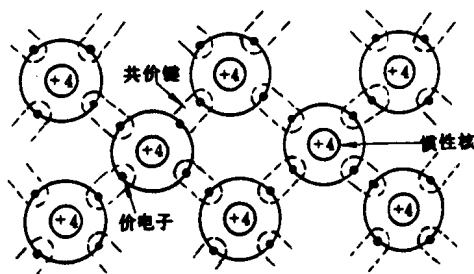


图 1-2 硅（或锗）晶体的结构
平面示意图（共价键结构）

由图1-2可见，各原子间的距离均相等，且相距很近。由于每个原子的最外层有4个价电子，而原子的外层电子必须满8个才为稳定状态。因此，原子间组成晶体时，每个原子都要争夺周围相邻的4个电子组成稳定状态。这样每两个相邻原子间均共用一对电子，称为共有电子对。电子对中任何一个电子，一面绕自己原子核运动，另一面也出现在相邻原子所属的轨道上，此种运动方式形成了联系2个原子的束缚作用。这样的2个共有价电子所形成的束缚作用称为共价键。所以，在本征半导体中，各个原子都要同周围相邻的4个原子组成共价键，而所有共价键中的价电子都被束缚在相邻两个原子的外层轨道上，形成了所谓的共价键结构，如图1-2所示。

2. 本征半导体的导电特性

因为本征半导体硅、锗是共价键结构，其结构特点是：共有价电子所受的束缚力并不太强，在一定的温度或强光照射下，由于热能或光能转化为电子的动能，其中少数价电子就可能挣脱原子核的束缚而成为自由电子。因自由电子是带负电荷的粒子，在外电场的作用下可以定向运动形成电流，所以自由电子又称为带负电的载流子。

尚需注意的是：共有价电子在挣脱束缚而成为自由电子后，同时留下了一个空位。有了这样一个空位，附近的共有价电子就可能过来填补，而在新址出现空位，此新的空位又会被其附近的共有价电子填补。这样依次递补，必然形成一种共有价电子的运动。由于空位的出现是原子失去电子的结果，而原子失去电子后必然呈正电性，因此可认为空位是带正电的。这种共有价电子的运动，可想象为一个带正电的空位在半导体中作与共有价电子反向的运动。为区别于带负电的自由电子的运动，就把此种空位的运动称为空穴运动，把空位称为空穴，所以空穴也是一种载流子，且为带正电的载流子。显然，在本征半导体中每产生一个自由电子，就一定会有一个空穴，自由电子和空穴是成对产生的，故称之为自由电子空穴对，如图1-3所示。