

621.37
621.314.6
621.375

高等学校教材

电子技术基础

第一册

童诗白主编



人民教育出版社

高等学校教材



电子技术基础

第一册

童诗白主编

人民教育出版社

本书是根据清华大学工业电子学教研组編的“电子技术基础”讲义修改增删而成的。书中着重介绍电子技术中几个主要部分的基本概念及分析方法。在叙述过程中經常附以例题，使讀者对电子电路的处理方法和实际数值有所了解，在每章末附有小結、习题、思考题及参考书刊。

本书的第一、第二两册的内容为整流技术、放大技术和正弦波振荡技术，第三册的内容为强弛振荡技术和脉冲技术，可分别作为自动控制专业电子技术基础第一学期和第二学期的讲课内容，也可作为电机系类似专业的教材或参考书以及从事电子电路工作人員的参考书。

电子技术基础

第一册

童詩白主編

北京市书刊出版业营业許可证出字第2号

人民教育出版社出版(北京景山东街)

人民教育印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店經售

統一书号K15010·1097 开本 850×1168 $\frac{1}{32}$ 印张 12 $\frac{1}{4}$ 1/16

字数 331,000 印数 15,901—23,400 定价(7) 1.40

1962年7月第1版 1963年6月第2版 1964年6月北京第5次印刷

序

本书原系清华大学工业电子学教研组为自动控制专业开“电子技术基础”课时所編的讲义，經工业电子学教材編审小組建議分三册出版。第一册和第二册的內容是：整流技术、放大技术和正弦波振蕩技术，第三册的內容是張弛振蕩技术和脉冲技术。在1962年先出前二册，第三册将在1965年前后出版。

編写时对基本概念和基础理論的闡述、加强計算能力的訓練以及适当地結合专业需要等几个方面都給予了注意。在每章中以較多的篇幅叙述重点內容，对于偏重专业或发展方向的部分則扼要地加以介紹，以便作为参考。凡打有*記号的材料，可以不列入教学內容。为了使讀者便于理解分析方法、加强思考和計算能力起見，在叙述过程中加入了一些例題，并在每章的后面附有思考題和习題。至于电子电路的設計方法，則只在个别章节中引入，用来说明設計的一般步驟；其他部分則在“电子电路設計”的教材中加以討論，作为課程設計的参考資料。

本书前两册的內容基本上符合最近拟定的自动控制类专业适用的教学大綱(試用草案，150学时)在整流、放大和正弦波振蕩等方面的要求，約可供讲课70余学时之用。

本书第一、二册中的功率放大器部分由陆培新編写，相敏放大器部分由閻石編写，其余均由童詩白編写；其中单相不控整流器由閻石代为整理补充，放大电子管的一部分由金国芬整理，低頻电压放大器的一部分由赵佩琴整理，朱亚清曾参加直流放大器部分材料的編写工作。楊素行、閻石及赵佩琴等校对了原稿，童詩白担任主編并校訂了全部內容。

在編写过程中承本校电机系和自动控制系的領導同志和行政部門积极支持，西安交通大学沈尙賢、蔣大宗、何金茂、蔡元龙等先生对全部內容加以审閱并提出修改意見，本校钟士模先生，南京工学院李士雄先生，华中工学院湯之璋、康华光先生，吉林工业大学吳存亚先生，大連

工学院王众託先生等对部分原稿加以审阅并提出宝贵意见，特此一并致謝。

由于我們的学識有限，編写時間仓促，各方面征求意见还不够充分，教材中一定有許多錯誤和不妥之处，殷切希望使用本教材的教师、同学和其他讀者提出批評和指正。意見請寄北京景山东街45号人民教育出版社編輯部。

清华大学电机系工业电子学教研組
童詩白 1962年3月

再 版 序

本书出版以后，曾收到一些兄弟学校教师对內容方面所提出的宝贵意见；編者在使用时，也发现其中有叙述不够严谨和計算、排印方面的錯誤之处，这次重版时就针对上述缺点作了訂正。此外，最近出品的国产电子管和离子管都已开始采用了电信工业局标准化室所頒布的类型命名，为了便于讀者参照起见，在第一、二册附录中均增添了我国新型号和苏联型号的对照表。

这次修訂，在体系方面未作任何更动，章节的次序和內容也和原版相同；但并不是說本书在这方面沒有問題，只是由于較大的修訂，需要經過一段时期的实践，在积累了一定的經驗之后，才有条件进行。因此恳切希望使用本书的各兄弟学校师生和社会讀者，对本书踊跃提出宝贵意见，在各方面加以批評和指正，以便作为将来修訂时的参考。

童詩白

1963年3月

目 录

序	ix
再版序	x
緒論	1

第一篇 整流技术

1.0.1. 概述	7
第一章 单相不控整流器	10
1.1.1. 真空二极管	11
(一) 真空二极管的构造及其单向导电的作用	11
(二) 真空二极管的伏安特性	13
(三) 真空二极管的参数及等效电路	17
(四) 真空二极管的定额	21
1.1.2. 半导体整流元件	23
(一) 半导体概述	23
(二) $p-n$ 结的单向导电作用	26
(三) $p-n$ 面结型半导体的伏安特性	28
(四) 半导体整流元件的类型及构造	30
(五) 半导体整流元件的定额及使用时应注意事项	34
(六) 半导体整流元件在应用方面的比较	38
1.1.3. 真空二极管与半导体整流元件在整流性能方面的比较	39
1.1.4. 具有电阻负载的单相整流电路	39
(一) 单相半波整流电路	41
(二) 单相全波整流电路	43
(三) 单相桥式整流电路	46
1.1.5. 具有阻感负载的单相整流电路	48
(一) 单相半波整流电路	48
(二) 单相全波整流电路	52
*1.1.6. 具有反电势负载的单相整流电路	56
1.1.7. 具有阻容负载的单相整流电路	58
(一) 单相半波整流电路	58
(二) 单相全波整流电路	63
*1.1.8. 倍压整流电路	64
1.1.9. 滤波器的作用及分类	66

1.1.10. L型滤波器	69
1.1.11. C型滤波器	71
1.1.12. J型滤波器	78
1.1.13. II型滤波器	83
1.1.14. RC型滤波器	86
*1.1.15. 谐振式滤波器	89
1.1.16. 单相不控整流器的总体设计	90
本章小结	98
习题及思考问题	99
参考文献	104
第二章 多相不控整流器	105
1.2.1. 充气二极管	105
(一) 真空二极管在大电流工作状态下的缺点	105
(二) 充气二极管的构造	106
(三) 充气管的电离现象与正离子的作用	107
(四) 充气二极管的伏安特性	109
(五) 充气二极管的定额及使用时应注意事项	110
*1.2.2. 水银整流器	114
1.2.3. 三相半波整流电路	116
(一) 电路及导电过程	117
(二) 波形说明	119
(三) 整流元件容量的计算	121
(四) 变压器容量的计算	122
*1.2.4. 三相桥式整流电路	124
(一) 导电过程	126
(二) 波形说明	127
(三) 整流元件容量的计算	127
(四) 变压器容量的计算	128
(五) 优缺点	129
*1.2.5. 三相并联复式半波整流电路	129
(一) 导电过程	131
(二) 波形说明	133
(三) 整流元件容量的计算	133
(四) 变压器容量的计算	134
(五) 优缺点	135
1.2.6. 多相整流器的脉动系数	136
*1.2.7. 变压器漏感对多相整流电路的影响	138

*1.2.8. 半导体在大功率整流电路中的应用.....	142
本章小结.....	142
习题及思考问题.....	145
参考文献.....	147
第三章 可控整流器.....	148
1.3.1. 晶闸管.....	148
(一) 构造.....	149
(二) 栅极的控制作用.....	149
*(三) 其他类型的晶闸管.....	151
(四) 晶闸管的定额及使用时应注意事项.....	158
*(五) 晶闸管类型的标号.....	155
*1.3.2. 可控水银整流器.....	156
1.3.3. 晶闸管的特性.....	158
(一) 伏安特性.....	158
(二) 阳栅特性.....	159
(三) 起燃特性.....	159
(四) 影响起燃特性的因素.....	160
1.3.4. 晶闸管的栅极控制方法.....	161
(一) 直流控制法.....	161
(二) 移相控制法.....	168
(三) 脉冲控制法.....	167
1.3.5. 可控整流器在无源负载下的控制特性.....	169
(一) 单相纯阻负载.....	169
(二) 单相阻感负载.....	171
*(三) 多相阻感负载.....	178
*(四) 性能比较.....	181
*1.3.6. 可控整流器在有反电势负载下的控制特性.....	182
*1.3.7. 阳极回路中的电感对可控整流器性能的影响.....	188
本章小结.....	191
习题及思考问题.....	192
参考文献.....	195

第二篇 放大技术

2.0.1. 概述.....	197
第一章 放大电子管.....	200
2.1.1. 电子管的放大作用.....	200
2.1.2. 三极管的构造及栅极的作用.....	201

2.1.3. 三极管的空间电位分布及其静态特性曲线	202
(一) 三极管的空间电位分布	202
(二) 等效二极管的概念	203
(三) 在负栅压下的理想阳极特性曲线	205
(四) 在负栅压下的实际阳极特性曲线	206
(五) 三极管的阳栅特性曲线	207
(六) 三极管的恒流特性曲线	209
(七) 三种特性曲线的比较	210
(八) 三极管在正栅压下的工作情况	210
2.1.4. 三极管在放大时所存在的问题	213
2.1.5. 四极管的构造及屏栅极的作用	215
2.1.6. 四极管的空间电位分布及其静态特性曲线	217
2.1.7. 五极管中抑制栅极的作用及其静态特性曲线	220
2.1.8. 束射管中束射极的作用及其静态特性曲线	221
2.1.9. 屏栅管在不同屏栅电压下的静态特性曲线	225
2.1.10. 电子管的参数与定额	228
(一) 工作参数方面	228
(二) 使用定额方面	230
2.1.11. 放大电子管的比较	233
2.1.12. 电子管型号命名的意义	233
本章小结	236
习题及思考问题	237
参考文献	240
第二章 电子管放大电路的基本分析方法	241
2.2.1. 图解法的特点与原则	241
2.2.2. 基本放大电路的图解法	242
(一) 电路说明	242
(二) 图解步骤	243
(三) 计算举例	244
(四) 利用图解法求放大器的放大倍数	244
(五) 放大器的输出波形	246
2.2.3. 自生栅偏压电路的图解法	252
(一) 阴极电阻的作用	252
(二) 旁路电容的作用	252
(三) 直流负载线与交流负载线	255
(四) 静态工作点的求法	256
(五) 交流负载线的作法	257

2.2.4. 阻容耦合电路的图解法.....	258
(一) 隔直电容的作用.....	259
(二) 交流负载线的作法.....	260
(三) 交流负载线的特点.....	262
(四) 计算举例.....	263
*2.2.5. 电阻耦合电路的图解法.....	266
(一) 典型电路的说明.....	266
(二) 直流负载线与交流负载线.....	267
(三) 电阻耦合电路中的自生栅偏压.....	270
*2.2.6. 变压器耦合电路的图解法.....	272
(一) 变压器的性能.....	272
(二) 直流负载线与交流负载线.....	273
(三) 变压器耦合电路中的自生栅偏压.....	274
2.2.7. 微变等效电路法的原则及电子管的微变参数.....	277
(一) 微变参数的引出.....	277
(二) 微变参数的意义及相互间的关系.....	279
(三) 微变参数的求法.....	280
(四) 三极管的微变参数和工作点的关系.....	282
*(五) 屏栅管的微变参数和工作点的关系.....	283
2.2.8. 微变等效电路的组成及应用.....	287
(一) 利用微变参数求放大倍数.....	287
(二) 微变等效电路的引出.....	288
(三) 微变等效电路的应用步骤.....	289
(四) 微变等效电路的应用举例.....	290
*(五) 屏栅管的微变等效电路.....	295
2.2.9. 应用微变等效电路时要注意的一些问题.....	298
(一) 等效电源的本质.....	298
(二) 等效电源的幅度.....	299
(三) 等效电源的极性.....	299
(四) 对象是变化量.....	301
(五) 计算的准确度.....	301
2.2.10. 两种分析方法的比较.....	302
(一) 图解法的特点与局限性.....	302
(二) 微变等效电路的特点与局限性.....	303
(三) 二者之间的选择.....	303
本章小结.....	304
习题及思考问题.....	305
第三章 低频电压放大器.....	311

2.3.1. 典型电路及元件的作用	311
2.3.2. 影响放大作用的一些因素	312
2.3.3. 电子管的静态工作点	313
2.3.4. 放大器的输入阻抗	322
2.3.5. 放大器的输出阻抗	331
(一)利用量测法来求输出阻抗	332
(二)利用解析法来求输出阻抗	334
(三)利用输入与输出阻抗来求放大器的放大倍数	336
2.3.6. 参数改变对放大倍数的影响	337
2.3.7. 单级阻容放大器的频率特性	338
(一)求频率特性时所用的微变等效电路	339
(二)等效电路的简化	339
(三)频率特性的分析	341
(四)频率特性的一些特征	345
* (五)对数幅频特性	346
(六)频率特性计算举例	348
2.3.8. 放大电子管的品质因数	350
2.3.9. 多级阻容放大器的频率特性	352
* 2.3.10. 放大器的加宽频带问题	356
(一)补偿法	357
(二)反馈法	363
(三)调谐法	363
(四)行波法	366
2.3.11. 放大器的干扰和噪声	369
(一)干扰的来源及其抑制方法	370
(二)噪声的来源及其抑制方法	376
2.3.12. 低频电压放大器的设计	380
(一)选择部分	381
(二)查手册部分	382
(三)计算部分	382
本章小结	395
习题及思考问题	397
参考文献	400

附录

电子管、离子管型号对照表

緒 論

电子技术是把电子器件^①应用到各个科学领域中的技术。它的誕生可以追溯到1895年。那时俄国科学家波波夫发明了世界上第一架无线电接收机，給无线电开辟了一个新紀元。从1895年到1925年可以认为是无线电报时期，在这个时期发明了真空三极管，使通訊技术有了很大的改进。从1925年到1945年是无线电技术时期^②，新的电子管和离子管紛紛出現，使无线电技术（例如无线电話、广播、导航、傳真等），逐渐成为一門独立的技术科学。从1945年以后，电子技术已經不再由无线电技术来代表，而是广泛地应用在国民經济的各个部門中。在学科方面，也开辟了新的領域；例如工业电子学，它的目的是把电子技术用在工业生产中去，已經和无线电很少有直接的連系。随着电子器件和电子电路的不断迅速发展（例如晶体管和其他固态电子組件），电子技术已經应用到农业、采矿、天文、医学等各个方面，而且繼續在扩大着，促使了許多科学技术的革新。

(一)

电子技术的应用范围一般說来，可以有以下几个方面：

(1) 信息的傳送——表达意思，傳送消息，是人类社会中所不能缺少的活动。自古以来人們就采取鳴号、打鼓、揚旗、放火等措施使信息傳得快一些和远一些。目前通过电报、电话、无线电广播和电视不仅可以使地球上各个角落的人相互連系，而且还能够探索宇宙間的奥秘，把月球背面的形象傳回到地面，这些都要利用电子技术才能实现。

^① 电子管、晶体管、离子管、光电管、电子束管等統称为电子器件。

^② 見 А. И. Беpr 著，周奇譯“电子学时代”，科学普及出版社，1957年，1—2頁。

(2) 物理量的量測——在科学研究工作中經常要对一些物理量(例如時間、长度、速度、应力)和物理現象(例如光、声、电、热的傳播,放射性同位素的輻射)进行量測。其中有些量可以用其他方法定出,但是把它們变成电量然后应用电子技术来量測,就往往会使量測的准确度大为提高;而另外一些現象的观察(例如快速的变化过程),則除此以外很难用其他方式得到有用的結果。

(3) 数据的运算和处理——很久以来,人們就感到需要加强对数字的計算和数据的处理能力。两千年以前我們的祖先就发明了算盘,延用到现在,还不断有所改进,在这方面作出了卓越的貢獻。一百年前出現了各种机械式的計算机,而当第一架快速电子計算机正式运行以后^①,計算技术就进入一个新的时代;它的計算速度和精度^②使过去認為不能解决或者很难解决的問題得到解决,从而促进了热力学、空气动力学、气象学、核物理等学科的迅速发展。

利用电子計算机还可以把大量資料进行統計和分类,有利于企业的规划和管理;把一国的文字翻譯成另外一国的文字,有助于科学文化的交流。在复杂的生产过程中,要对瞬息万变的数据很快地进行处理作出决定,用其他方法也难免相形見绌。一个现代化的电子計算机往往用了成千上万个电子管或晶体管,只有充分掌握电子技术,才能够把它制造出来并且在运行时加以調整和維護。

(4) 能量的轉換和控制——一般的电子器件都有产生能量的轉換或者对能量进行控制的作用。例如利用光电管和温差电偶可以把光能和热能变成电能,閃光灯可以把电能变成光能,电子管可以把电能进行高频加热,离子管可以把大功率的交流电变成直流电或者把直流电变成交流电。能量的轉換往往和能量的控制联系在一起。例如在上述的

① 約在 1946 年。

② 一般通用計算机每秒可作一万次以上的加法,五千次左右的乘法,精度为 10 位有效数字。

过程中,就要求控制离子管的导电时间以适应不同程度的需要,原子能的利用和火箭的发射,也必须用许多电子仪表来监视和控制。

(二)

电子技术之所以能够在以上所提到的各个科学领域中占有如此重要的地位,主要是由于电子器件具有下面几种特点:

(1) 反应很快——由于电子的惯性小,所以它的反应极快;速度快不仅可以提高生产率,而且往往是成败胜负的关键。例如气象预报的计算,如果在一星期后才推出明天的天气形势,则将失去实际意义。

(2) 灵敏度高——通过电子器件的放大作用可以把极微弱的物理量显示出来。例如电流可测到 10^{-17} 安,电压可测到 10^{-10} 伏,功率可测到 10^{-17} 瓦,位移可测到 10^{-10} 米,时间可测到 10^{-8} 秒^①,这是其他方法所望尘莫及的。由于精确度在一定程度上取决于灵敏度,因此在精密的设备中几乎都有电子部件。

(3) 使用方便——电子器件的体积很小,连接方便,操作简易,在自动化和遥测遥控设备中,有着独特的优点。很难想像,没有电子设备,宇宙飞船如何能够上天并且把所观测到的资料送回地面。

自然,电子设备也不是没有缺点的。常遇到的问题是寿命不长,性能欠稳定,运行时会出现一些怪现象,需要经常加以调整和维修,因此往往使人感到神秘,甚至失去信心。目前电子器件和无线电元件的质量已经有了很大的提高,制造工艺也不断改进,这些缺点正在逐步得到克服。苏联屡次成功地发射了人造卫星和宇宙飞船,其中有许许多多电子设备,它们都正常地工作着,就是一个有力的证明。

(三)

解放前,由于帝国主义的侵略和官僚资本的统治,我国的工业水

^① 系摘自华中工学院、西安交大等校编“工业电子学”的绪论。

平非常落后，地域分布也不合理，充分反映了当时国家处于殖民地、半殖民地的状态。当时代表电子工业的只是几家无线电厂，而且产品都是用进口原料来装配的；这些工厂还受到资本主义国家倾销政策的压迫，本身已处于难以维持的窒息局面。

解放后，在党和政府的领导和关怀下，和其他工业一样，电子工业也获得了很大的发展。在十年中，无线电工业总产值增加了202倍，劳动生产率增加了10.5倍，收音机年产量增加了190倍，新产品增加了74倍^①，电子管厂和无线电零件厂也先后建立，从此摆脱了依靠进口的现象而进入了由原料到产品全部国产的阶段。我国自己制造的无线电收音机和发送设备以及各种电子仪表，不但供应国内各处以满足广大人民的需要，而且还经常出口到其他国家中去。

1958年党中央和毛主席又制定了社会主义建设的总路线，全国各地都掀起了大跃进的高潮，无线电和电子工业也有了很大的发展，做出了显著的研究成果，不少高等学校增设了有关电子技术的专业和课程。在技术革新和技术革命的运动中，要求在工业中实现机械化、半机械化、自动化、半自动化。全国的企业部门、科学研究机关和技术学校在党的领导下，贯彻了群众路线，综合了集体智慧，作出了许多结合我国具体情况的发明和创造，其中电子技术已在自动化和半自动化的应用方面占了很重要的地位。

(四)

自动化专业所研究的是不用人力而控制各种技术过程的方法和工具，这在生产和国防方面有着重大的意义。生产过程自动化可以提高劳动生产率，把人们从繁重的体力劳动中解放出来，提高产品的质量，减少企业中的服务人员，逐渐消除体力劳动和脑力劳动之间的差别；而

^① 见“无线电”1959年10月号。

在操縱雷達、火箭、導航的過程中，自動化的優點已經不僅僅在於節省人力，而且是獲得勝利的重要措施。由於電子器件在這方面的優越性，就使自動化技術發展的速度在很大的程度上取決於電子技術的成就。黨號召我們要鼓足幹勁，把我國建設成為一個具有現代工業、現代農業、現代科學文化和現代國防的強大的社會主義國家，自動化工作者在這方面負有重大的責任。例如提高自動化系統的靈敏度、工作速度和穩定度，使電子部件向超小型、大功率、低噪聲、長壽命、耐高溫、超高频等方向發展，都是目前急需解決的任務。因此，能否很好地掌握電子技術，還不僅僅是業務上的優劣問題，而是關係着整個國家建設的速度問題。目前我們國家在大躍進中建立了比較強大的物質基礎，基本工業的生產設備和重要材料都能够自己製造，技術力量有了很大的增加，科學技術的研究工作有了很大的發展，科學工作者和教師隊伍成長很快，一批新的工業基地已經建立起來，並且還累積了不少社會主義建設的經驗，逐步制定了實現總路綫所必需的各項具體政策；在黨中央和毛主席的正確領導下，我們的遠大目標一定會實現。

(五)

顧名思義，“電子技術基礎”是電子技術的基礎，它的主要內容有變流（包括整流和逆換流）、放大、振蕩（包括正弦振蕩和張弛振蕩）、脈沖和調制幾個部分，而其中整流、放大和正弦波振蕩又是整個內容的基礎。它們的主要目的是解決如何利用電子器件來達到能量的轉換和能量的控制。具體的內容將在每章中加以說明。

在學習這門課程時，要着重基本概念和基本訓練。在基本概念方面，要能夠了解一個電路用在什麼地方，解決什麼問題，並且能運用基本定理和定律（例如基爾霍夫定律）得出大致的工作情況，明確每一個元件起什麼作用，對電路性能的優缺點有一定的認識。在基本訓練方面，首先要掌握分析方法。電子器件大都具有非線性的伏安特性，因此

在电工基础中所熟悉的电路定理(例如叠加定理),往往不能应用,而必須采用图解法或者等效电路法来解决非线性的問題。其次要加强計算和調整能力,电子技术是需要实践的技术,在理論的指导下,还要进行計算,确定参数,并且在实践中进行調整,使电路性能滿足要求。此外,对常用的电子量測仪器,也必須熟練地掌握它們的性能和正确使用方法。

电子技术的每一个主要内容都有管、路、用三个方面:管就是电子器件,包括电子管、离子管、晶体管、光电管、电子束管等;路就是由电子器件和电路元件(电阻、电感、电容)以及电源所組成的电路;用就是电路的应用。学习时,对管的部分可以多着重研究它的外特性和使用时应注意的問題,而不必过分探討它的内部物理过程。在路的部分应该加强物理概念,会看电路,也就是說不依靠复杂的公式而能够先定性地了解它的性能,然后再以概念和定律为指导进行計算。在用的部分要能够熟悉一些典型电路的用途和特点,以便将来結合要求定出方案时有所比較和选择。以上只是一些不成熟的看法,讀者还应该根据具体情况对教材中的内容加以取舍。此外由于电子技术近年来的迅速发展,电子电路的类型也是愈来愈多,在教材中只能够把一些典型的、基本的电路加以介紹,为钻研今后在专业学习中所遇到的問題打下基础。