

高等学校試用教科书



工 業 电 子 学

GONGYE DIANZIXUE

上 册

华中工学院、西安交通大学等校編

人 民 教 育 出 版 社

本書內容取自华中工学院、西安交通大学等校的讲义，在1961年3月間，經西安交通大学、华中工学院、南京工学院、上海交通大学、哈尔滨工业大学、清华大学等校的有關教師加以增刪选編而成。

本書是把元件（电子管、离子管和半导体器件）、电路（整流器、放大器、振荡器等）和应用（各种电子设备及装置等）联系在一起闡述。具体内容除緒論外，包括不控整流器，可控整流器及逆变器，电子管放大器，晶体管放大器，振荡器，調制器与解調器，脉冲技术，电子仪器等八章，并有附录。

本書分上、下册出版。上册包括緒論和第一至第三章，下册包括第四至第八章和附录。

本書可作高等工业学校电机、电力类专业《工业电子学》課程的試用教科書，也可供其他专业師生和从事工业电子学工作的人員参考。

工 业 电 子 学

上 册

华中工学院、西安交通大学等校編

人民教育出版社出版 高等学校教学用书編審部
北京宣武門內承恩寺7号

（北京市書刊出版業營業許可證出字第2号）

民族印刷厂印裝

新华書店科技发行所发行

各地新华書店經售

統一書号15010·1037 开本 850×1168 1/32 印张12 8/15

字数 322,000 印数 00001—16,000 定價(7) 1.40

1961年8月第1版1961年8月北京第1次印刷

上册目录

緒論	1
0.1 工业电子学的发展	1
0.2 工业电子学的主要发展方向	3
0.2.1 动力电子学的主要发展方向	6
0.2.2 控制电子学的主要发展方向	7
0.3 我国工业电子学事业发展概况	8
第一章 不控整流器	11
1.0 概述	11
1.0.1 直流电在生产和科学技术部門中的地位与作用	11
1.0.2 整流設備的一般結構	11
1.1 具有純电阻負載的单相整流电路	12
1.1.1 单相半波整流电路	12
1.1.2 单相全波整流电路	15
1.1.3 单相桥式整流电路的分析	18
1.1.4 整流电路对整流元件提出的要求	20
1.2 热阴极真空二极管	21
1.2.1 熱电子发射	21
1.2.2 阴极的材料和結構	22
1.2.3 热阴极真空二极管的构造	25
1.2.4 真空二极管的空間电荷作用和伏安特性	26
1.2.5 真空二极管的参数与定額	34
1.3 热阴极充气二极管	37
1.3.1 充气管(离子管)的特点	37
1.3.2 充气二极管的构造	39
1.3.3 伏安特性曲綫及电位分布曲綫	42
1.3.4 热阴极充气二极管的参数及使用时应注意之点	46
1.4 半导体二极管	50
1.4.1 半导体的电特性	50
1.4.2 $P-n$ 結及其整流作用	55
1.4.3 半导体二极管的結構和参数	58
1.4.4 半导体整流器件的額定使用数据及使用时应注意事項	67

1.4.5 半导体整流器性能的比較	68
1.5 真空二极管, 充气二极管和半导体整流元件在整流性能方面的比較	70
1.6 具有滤波器的整流电路	71
1.6.1 带有电容滤波器的整流电路	71
1.6.2 倍压整流电路	77
1.6.3 具有电容滤波器的整流电路的工程計算	79
1.6.4 具有电感滤波器的整流电路	84
1.6.5 具有电感滤波器的单相全波整流电路的近似計算	87
1.6.6 电容滤波器与电感滤波器的比較	91
1.6.7 具有复式滤波器的整流电路	92
1.7 小功率不控整流器的設計	98
1.7.1 設計步驟	98
1.7.2 設計举例	102
1.8 多相不控整流电路	108
1.8.1 多相不控整流电路的优点	108
1.8.2 三相半波整流电路 (具有零点出头的三相整流电路)	109
1.8.3 整流变压器的工作情况	111
1.8.4 六相半波整流电路	115
1.8.5 多相整流电路的計算	116
1.8.6 变压器漏电感对整流电路的影响	123
1.8.7 三相桥式整流电路	126
1.8.8 并联复式半波整流电路	130
1.8.9 大功率的半导体整流电路	135
1.8.10 整流器的功率、功率因数和效率	137
1.8.11 多相整流电路的比較	140
1.9 多相不控整流电路計算举例	142
参考书目	145
第二章 可控整流器	147
2.0 概述	147
2.1 可控整流元件	148
2.1.1 閘流管	148
2.1.2 水銀整流管	158
2.1.3 引燃管	169
2.2 可控整流器的控制电路	173
2.2.1 移相控制电路	173
2.2.2 脉冲控制电路	180
2.2.3 引燃管的控制电路	181

2.3 多相可控整流电路	183
2.3.1 忽略变压器漏抗 X_{σ} 的三种情况	185
2.3.2 变压器的漏抗存在时 ($X_{\sigma} \neq 0$) 工作状态的分析和	190
2.4 可控整流器的功率脉动系数及功率因数	198
2.5 逆变器	203
2.5.1 单相无源电路	204
2.5.2 三相有源电路	207
2.6 引燃管作为电焊用的离子控制器	212
参考书目	213
第三章 电子管放大器	214
3.0 概述	214
3.1 放大电子管	216
3.1.1 三极管的构造及作用原理	216
3.1.2 三极管的静态特性曲线	219
3.1.3 三极管的静态参数	222
3.1.4 三极管工作情况的图解 (图解分析法)	229
3.1.5 三极管的等效电路 (等效电路分析法)	237
3.1.6 三极管的输入阻抗	242
3.1.7 四极管	244
3.1.8 五极管	249
3.1.9 束射四极管	254
3.1.10 复合电子管	257
3.2 放大器的类型、放大器的失真	257
3.2.1 放大器的类型	257
3.2.2 放大器的失真	261
3.3 低频电压放大器	264
3.3.1 阻容耦合电压放大器	265
3.3.2 阻容耦合电压放大器的设计	279
3.3.3 变压器耦合电压放大器及扼流圈耦合电压放大器	289
3.3.4 宽频带放大器	292
3.4 低频功率放大器	298
3.4.1 甲类功率放大器	299
3.4.2 甲类功率放大器计算举例	311
3.4.3 推挽式功率放大器	314
3.4.4 推挽式功率放大器的计算举例	328
3.4.5 倒相电路	330
3.5 放大器中的反馈	332

3.5.1 反馈放大器的基本原理	335
3.5.2 负反馈对放大器性能的改善	336
3.5.3 负反馈对放大器输入阻抗及输出阻抗的影响	342
3.5.4 反馈放大器中的自激问题	345
3.5.5 基本负反馈电路	346
3.5.6 负反馈放大器实用电路举例	349
3.5.7 阴极输出放大	354
3.5.8 放大器中的寄生反馈、去耦合电路	361
3.5.9 多极交流放大器	362
3.6 直流放大器	364
3.6.1 直流放大器特殊问题之一——级间耦合方法	366
3.6.2 直流放大器的特殊问题之二——零点漂移	372
3.6.3 直流放大器的自动补偿电路	375
3.6.4 直流功率放大器	385
3.6.5 计算放大器	386
3.7 多级放大器中的干扰——电源干扰和噪声	387
3.7.1 电源干扰的由来及清除	388
3.7.2 放大器中的固有噪声	390
参考书目	394

下冊目錄

第四章 晶体管放大器

4.0 概述	395
4.1 晶体三极管的工作原理及特性曲线	396
4.1.1 工作原理	396
4.1.2 晶体三极管和电子三极管的相似性和特殊性	400
4.1.3 特性曲线	402
4.1.4 点接触式晶体三极管	405
4.2 晶体三极管的参数、等效电路和放大器的基本组态	407
4.2.1 线性器端网络	407
4.2.2 晶体管参量随工作点及温度的变化	415
4.2.3 晶体管的频率特性	416
4.2.4 晶体管放大器的基本组态	417
4.3 晶体管放大器的直流偏置电路	423
4.3.1 用固定偏流来建立工作点	423
4.3.2 电压反馈稳定电路	425
4.3.3 稳定电路的分析计算方法	426
4.3.4 直流反馈稳定电路	427
4.4 阻容耦合放大器	429
4.4.1 在频率响应的中频段	430
4.4.2 低频响应	431
4.4.3 高频响应	432
4.5 直流放大器	433
4.5.1 用温度补偿电路	433
4.5.2 用并联平衡电路	435
4.6 低频功率放大器	437
4.6.1 功率晶体管的特点	437
4.6.2 单管甲类功率放大级	438
4.6.3 推挽式功率放大器	441
参考文献	443

第五章 正弦波振荡器

5.0 概述	444
--------	-----

5.1 振荡器的物理概念	444
5.1.1 机械振荡	444
5.1.2 电振荡	445
5.1.3 电子管振荡器	446
5.2 LC振荡器的结构和工作原理	447
5.2.1 LC 振荡器的结构	447
5.2.2 振荡器的振荡频率	449
5.2.3 振荡频率的稳定性	451
5.2.4 振荡的建立和振幅的稳定	452
5.3 LC振荡器的实际电路	454
5.3.1 栅极电源的实际问题	454
5.3.2 供电方法	455
5.3.3 其他基本电路	457
5.4 振荡器举例	461
5.4.1 感应加热用高频振荡器	461
5.4.2 МРЦПp54型电子温度调节器中的振荡器	464
5.5 RC振荡器原理	466
5.5.1 文氏电桥式振荡器	466
5.5.2 移相式振荡器	471
5.6 RC振荡器举例	473
5.6.1 音频信号发生器	473
5.6.2 超声波清洗机中的电振荡发生器	475
参考书目	476

第六章 调制器和解调器

6.0 概述	478
6.0.1 工业中常用的调制系统	480
6.1 直流信号的调制和解调	483
6.1.1 直流信号对交流载波的调制	483
6.1.2 直流信号的解调、相敏整流器	487
6.1.3 相敏放大器	490
6.1.4 交流输出的相敏放大器	494
6.1.5 调制原理在工业中应用举例	497
6.2 一般信号的调幅和解调	499
6.2.1 调幅原理	499
6.2.2 产生调幅信号的电路	501
6.2.3 调幅信号的解调(检波器)	504
6.2.4 差拍和变频原理	506

6.2.5 超外差式接收机	509
6.3 信号的調角和解調	517
6.3.1 調頻和調相原理	517
6.3.2 調頻波的產生方法	519
6.3.3 調頻波的解調器(鑑頻器)	522
6.3.4 調頻法的应用举例	526
参考书目	528

第七章 脉冲电路

7.0 概述	530
7.1 矩形脉冲的頻譜	531
7.2 矩形脉冲加于 RC 电路时的輸出波形	534
7.3 脉冲的箝位	539
7.4 限幅电路	541
7.5 多諧振盪器	547
7.6 触发电路	552
7.7 計数器	560
7.8 阻塞振盪器	565
7.9 鋸齿波发生器	568
7.10 开关电路	574
7.11 脉冲电路应用举例	579
7.12 晶体管脉冲电路	584
7.12.1 面結式晶体管工作在开关状态的特点	585
7.12.2 双稳触发电路	588
7.12.3 多諧振盪器	593
7.12.4 阻塞振盪器	595
7.13 脉冲的調制和解調	596
7.13.1 脉冲調制的方式	596
7.13.2 幅度的調制和解調	597
7.13.3 脉冲寬度的調制和解調	599
7.13.4 脉冲相位的調制和解調	600
参考书目	604

第八章 电子仪器

8.1 直流电子穩压器	605
8.1.0 概述	605

8.1.1 辉光管稳压器	603
8.1.2 并联式电子稳压器	608
8.1.3 串联式电子稳压器	612
8.1.4 补偿式电子稳压器	613
8.1.5 实用电子稳压器举例	620
8.1.6 使用电子稳压器应注意事项	621
8.2 电子管电压表	622
8.2.0 概述	622
8.2.1 直流电子管电压表	623
8.2.2 直流微电流表及电阻计	628
8.2.3 交流电子管电压表	628
8.2.4 实用电子管电压表举例	634
8.3 电子示波管和示波器	635
8.3.1 电子射线示波管的结构及工作原理	635
8.3.2 电子示波器的组成	642
8.3.3 示波器的同步	646
8.3.4 示波器的应用	650
8.3.5 实用示波器举例	654
8.3.6 使用示波器应注意事项	663
8.3.7 脉冲示波器	663
8.4 电子继电器	675
参考书目	678

附录

附录 1 关于电流和电压符号的一些规定	679
附录 2 关于电流和电压的方向及其正负值的一些规定	683
附录 3 本书中常用的代用符号表	686
附录 4 苏联和我国的电子管、离子管、半导体管的型号命名法	
附录 5 电子设备中常用电阻和电容的规格	691
附录 6 放大倍数和分贝的关系	694
附录 7 放大器的安装和调整	695
附录 8 常用电子管、离子管和半导体管图表	704

緒 論

0.1 工业电子学的发展

提到工业电子学的发展，必須先从无綫电电子学的发展談起。

十九世紀末期，工业的生产規模逐漸扩大和集中，于是促使交通運輸和通信事业要相应地随着发展。与此同时，电磁波的学說和实验技术，在这期間也不断向前推进。伟大的俄罗斯科学家A.C.波波夫积极从事电磁波的研究，终于在1895年发明了世界上第一部无綫电接收机，为无綫电技术奠定了基石。

波波夫当时所用的设备，发送方面是用火花式振盪器，接收方面則采用粉末检波器。由于科学技术的发展，到1904年，最简单的电子管——二极管問世，它的性能比較优越，后来就代替了粉末检波器。在1907年，电子三极管出現，管子中的电流可以用栅极控制，使电子管的应用起着质的变化。在1911年已提出了三极管可以作为放大之用；到1913年又发现可以把三极管用作振盪器。这样就大大地促进了无綫电技术的发展，而这样发展，又对电子管提出新的要求。理論与实践互相推动，很快地形成了一个新的科学領域——电子学。由于无綫电技术与电子学密切相关，所以称为无綫电电子学，它是电学的一个方面。

人們不滿足于把电子学应用于远距离通信，而逐漸考虑用它来为其他生产部門服务，应用到工业中去，这就建立起电子学的一个新的分支——工业电子学。

工业电子学最初只是把无綫电技术中的电子学成就，搬到工业生产中去应用，但是后来生产上的要求日益提高，于是工业电子学就在原

来的无线电电子学的基础上,结合本身的需要,进一步发展和提高,建立了它自己的体系,成为一个独立的科学技术领域。

在现代化的工业中,广泛地应用着自动化设备,其中有不少是采用具有电子器件的装置的。由于服务对象的不同,有些电子装置在生产自动化中的要求比在通信技术中更为迫切和普遍,因而它们在工业电子学中获得了进一步的发展,越出了原来的无线电电子学的范畴。相敏放大器〔参阅本书第六章〕就是这样的一个例子。

电子模拟计算机中要求有高稳定性、高放大倍数的直流放大器,因此在工业电子学中直流放大器的应用和研究,也远较在无线电通信中的应用为重要。

在动力工业方面,要求把大功率的交流电变换成直流电,或者作相反方向的变换,这方面利用电子学有一定的好处,而这些問題显然并不属于无线电技术的领域,而是摆在工业电子学这门年青而又迅速发展着的科学面前的新任务。

现代电子数字计算机在工业中的应用,也要求工业电子学中对脉冲技术方面越出通信的范围,开闢它自己的道路。

上面不过略举几个例子,用来说明工业电子学虽然是在无线电电子学的基础上建立起来的,但后来它却有自己的成就,并在国民经济建设中占着愈来愈重要的地位,为各种新技术开闢了广阔的前途,并且反过来对无线电电子学也同样起着推动作用。

我们可以这样来理解:工业电子学是与无线电电子学有其共同之处,那就是两者都是电子学,都要利用电子器件(就广义来说,它包括电子管、离子管和半导体元件)来完成整流、放大、振荡等基本作用。但由于应用对象的不同,在具体内容和要求方面,必然有许多差别。无线电电子学的主要任务是不通过导线来远距离传递信号,例如无线电通信,无线电定位,无线电导航,无线电天文学以及广播和电视等,而工业电子学的主要发展方向如下述。

0.2 工业电子学的主要发展方向^①

顾名思义,工业电子学是研究工业中利用电子器件的电路和装置的科学技术。它有两个基本的发展方向,即动力电子学和控制电子学。前者主要是研究电能变换问题,而后者则研究信号的变换和处理,以达到自动控制的目的。必须指出,这两者之间存在着紧密的联系,即动力电子学中包含许多控制问题,而控制电子学中也必然涉及到电能的变换。

动力电子学的基本内容是改变较大功率的电能变换,例如交流电的整流,直流电的逆变(即变换成交流,这种设备称为逆流器)以及变频、变相等。这些装置中主要是采用离子管(如水银整流管、闸流管等)来完成任务的。最近半导体元件也开始用在中、大功率的整流装置中。

动力电子学与许多工业部门都有密切关系,例如化学、冶金、金属加工、铁道运输等。这些部门中需要大量的直流电。发电厂中产生的交流能量,大概有四分之一左右须转换成直流来应用。有时还要把直流再变成交流,例如直流输电。当直流的电气机车在通常行车时,它从电力网中取用交流能量,而当它下坡时,机车的直流电动机处在发电机状态下运转,有可能把直流能量逆换成交流,送回到电力网中去。

控制电子学与无线电电子学有更多的联系。它的更完整的名称应该叫做“生产过程的检查、测量、控制和调节系统的电子学”。控制电子学也与许多重要的工业部门有着紧密的联系,它是生产过程自动化的重要基础之一。

电子学在自动化技术中获得迅速的发展,是由于电子学具有符合于自动化要求的下列一些特点所决定的:

1. 工作迅速。由于电子器件内电子、离子的运动速度极高,所以电

^① 本节主要是引用了苏联专家 B.A. Давыдов 1960年在哈尔滨工业大学和西安交通大学所做的“工业电子学的主要发展方向”的报告内容。

子裝置工作迅速。例如電子數字計算機每秒钟可能進行20萬次以上的運算。

2. 靈敏度高。因為電子器件可以把極微弱的信號進行放大，所以電子設備有高的靈敏度。在電工測量儀器中，利用電子器件，電流可測到 10^{-17} 安的数量級，相當於每秒內只流過幾百個電子所造成的電流。測量電壓時可低到 10^{-10} 伏，測量功率時則可小到 10^{-17} 瓦。利用電子測微儀，可測到萬分之一微米的位移。利用電子設備測量時間，可測到百分之一微秒以下。

3. 準確性高。由於電子儀器很敏感，微小的誤差它就可以反應出來，因而充分利用這一特點，並和標準度量配合起來，可獲得高準確度的測量結果。目前許多精密的設備中，很多是包含着電子裝置的。例如有些自動溫度調節的電子系統，可維持溫度到千分之一度的範圍內。

4. 沒有機械運動部分。因而簡化了一些對維護的要求，並且可作為一種無觸點的繼電器。

5. 輕巧。在某些情況下（例如在宇宙飛行時），設備的輕重大小對它的適用與否具有決定性的意義。有的半導體儀器極為輕巧，為任何其它元件所不可及，對於航空及攜帶式的設備極為有利。

6. 便於遠距離控制。控制電子學中易於把信號利用遠動學的方法送到遠方來起作用，即所謂遙測、遙控、遙信等。蘇聯把月球火箭送入預定的軌道，並把火箭中的情況和向月球背面攝得的照片送回地球，也與電子技術分不開的。電子設備還有其它的性能力，為別的技术工具所不能代替，因而在這些情況中更具有優點，例如檢測放射性同位素的輻射強度等。這些都足以說明為什麼電子學在自動化中占有重要地位的原因。

但是，控制電子學又不能與自動化混為一談，因為它們之間也是有區別的。自動化技術作為一個科學領域，主要是研究自動調節理論、各種自動學遠動學系統的結構和性能、全盤自動化的設計，以及如何改進調節系統的品质等等。至於控制電子學則主要研究帶有電子器件的各種問題。為了研究新的自動化設備和系統，往往要求自動化和電子

學專家們合作來搞。所以控制電子學是自動化的一種重要的技術基礎，但它本身具有自己的研究範疇。

控制電子學的成就，除用於自動學、遠動學外，也同樣可以用在計算技術、測量技術、核子技術、醫學、電力系統以及各種各樣的科學研究工作中去，它和這些相鄰的科學領域，也起着互相促進的作用。

但是最後還必須強調一點，即不論哪一門科學技術，儘管它本身具有許許多多的特點，但在不同的社會制度中，必然會有不同的發展情況，這是由於階級社會決定的。科學技術本身雖然沒有階級性，然而它要由人來掌握，為一定的階級服務，這就有它的社會特點。

工業電子學是一門近代的科學技術，利用它來實現自動化，提高產品質量，增進勞動生產率，同時又改善勞動條件，是完全符合於社會主義的要求，因而它在社會主義國家中就有了飛躍發展的廣闊前途。但在資本主義制度下卻是另一種情況，自動化程度愈高，帶來了更多的工人失業，這個矛盾是無法解決的。蘇聯在宇宙飛行等方面的巨大成就，是與他們的高度發展的電子學技術分不開的。蘇聯和整個社會主義陣營發展先進科學技術的目的在於和平事業，為人類謀幸福；而美帝國主義及其追隨者則處心積慮地把新技術用於軍備競賽，為壟斷資本服務。這充分說明了科學技術在不同的社會制度下有着不同的意義。

從上面的一些簡單的介紹中可以看出，工業電子學的範疇是極為廣闊的，所以目前在高等工業學校中極大多數專業都要學習這方面的內容（在無線電類的專業中當然是相應地學習無線電電子學方面的課程），有些理科、醫科、農科等院校，也已經將電子學列入教育計劃。在學習這門課程時，首先必須抓住基本電子電路的理論和實踐，它們在各種各樣具體應用中有其共同性，好像造房子的磚頭和其他構件一樣，有了這些，就可以建築風格不同的各種大廈。因此，我們先不要被形形色色的應用迷惑住，而應該抓主要問題，即學習基本電子電路是如何組成的？基本原理如何？主要是怎樣用的？等等。），然後可以觸類旁通，舉一反三，再進一步深入鑽研。

0.2.1 动力电子学的主要发展方向

动力电子学初期的发展,主要是研究和設計制造沒有柵控的(不控的)或者沒有深度柵控的整流裝置,它們广泛用于需要直流的电气运输和电化学生产(例如炼鋁及水和食盐的电解等)。由于水銀整流器的效率較高、体积較小、重量較輕、維護較便、价格較廉等原因,現在几乎已完全代替了以前曾經用过的借电机来将交流变为直流的方案。

目前动力电子学大量发展可控的变流裝置——利用柵极控制可以深度調节的整流器和逆流器(非深度調节是指电压只能調节10~15%,深度調节則可以由零調到全电压)。用于軋鋼机的可控离子拖动系統,迄今已有十多年了。近年来对于大型同步电机的离子励磁、超高压直流輸电和离子变频等的研究和应用,也有很大的成就,但是还存在着許多重要的問題有待解决。关于铁道电气化方面目前也有很大的发展。

为了广泛应用可控整流器和逆流器,需要解决一系列問題,茲举一些重要者如下:

1. 进一步研究变流系統的理論。例如研究系統中的过渡过程、事故状态、电路中电感的影响以及新的变流电路等。

2. 提高柵极控制的快速作用。这对离子拖动、离子励磁、直流輸电、离子变频等都具有重要意义。它对于从整流状态过渡到逆流状态及其相反的过程时特別重要。在柵控裝置中除了进一步发展电磁式的脉冲系統外,同时还应注意于半导体三极管的控制裝置。

3. 改善功率因数。当可控整流器和逆流器作深度調节时,功率因数变坏,这限制了它們在大功率裝置的应用。为了消除这个缺点,曾研究了各种人工换弧的方案,但是由于电路过于复杂,同时使整流器工作恶化,有待于繼續加强研究。

4. 建立新的和改进已有的变流系統。設計新变流系統的方向是根据生产实践的需要,創造更完善而又实用的变流裝置。例如研究不同类型的变频器,以用于交流拖动作感应电动机的調速,用于高频感应

加热，或者变为更低的频率，以供平炉中的电磁搅拌器之用。炼钢搅拌的频率只需要1~2赫，是在炉下安装电磁线圈，通以低频电流，使产生低速旋转的磁场，钢水就自己进行旋转，比人工操作要好很多；而采用离子变频装置又比用电机变流为经济。

5.改进整流阀的生产。解决上述动力电子学问题，都与所用整流元件本身的质量的改进有关。这种元件是用作单向导电的阀，为变流系统中重要的组成部分。目前的趋势是用密封（无泵）气冷式来代替有泵水冷式水银阀，只有在功率很大时才仍用水冷式。水银整流阀的其他发展方向是减小体积，提高承受逆电压能力，缩短栅控恢复时间，改善引燃管的性能等。

目前功率半导体的阀件（主要是锗和硅）已有很大的发展，用半导体阀已可装成电流达30~50千安的整流装置，但它们的逆电压定额还不高，并且产品的均匀性也不够，使它们在串联和并联运行时要使用比较复杂的电路。最近已开始研究大功率半导体三极管，其特性与闸流管相似，这样将使半导体换流技术开辟出新的途径。

0.2.2 控制电子学的主要发展方向

随着现代的生产自动化的发展，对检查、测量、控制和调节系统提出了新的要求，因此必须设计新型的控制电子学装置。例如利用放射性同位素进行检测，需要制造特种的电子元件和电子仪器。控制电子学的另一个发展方向是提高电子装置的质量，增加可靠性和寿命，并简化维护。

超声波、红外线、工业电视、电子显微镜、火箭技术等迅速发展，都对工业电子学提出越来越高的要求。当工业电子学解决了这些方面的若干问题时，又大大地推进了这些新的技术领域。它们之间总是按照螺旋形发展的规律不断上升。

控制电子学的发展与电子管和半导体晶体管的发展之间，也存在着循环促进的关系。

目前有許多电子装置应用了大量的电子管，例如在电子数字计算