

343640

工业电子学

(苏联) A. Л. 戈列利克 著
西安交通大学工业电子学教研室译



上海科学技术出版社

工业电子学

〔苏联〕A. П. 戈列利克 著

西安交通大学工业电子学教研室译

沈尚贤 校

(第二版)

上海科学技术出版社

内 容 提 要

本书首先叙述工业中应用的各种类型的电子管、离子管和半导体器件的物理过程及其特性。其次对整流器、放大器、振荡器、离子管栅控电路等基本的电子电路的工作原理进行分析。最后再讨论一系列复杂的电子设备，如电子-离子继电器、自动调节和检测用电子仪器、离子拖动、电子射线示波器及电子量测仪器等。

本书可作为大专学校工业电子学课程的教学参考书，亦可供从事工业电子学的技术人员参考之用。

ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

А. Л. Горелик

Госэнергиздат 1958 • 第2版

工业电子学(第二版)

西安交通大学工业电子学教研室译

沈尚贤校

上海科学技术出版社出版 (上海瑞金二路450号)

上海市书刊出版业营业登记证出093号

上海市印刷三厂印刷 新华书店上海发行所发行

开本850×1168 1/32 印张12 22/32 排版字数331,000

(原中科院、科技版共印11,920册 1953年11月第1版)

1958年10月第1版印5次共印30,000册

1963年6月第2版 1963年6月第1次印刷 印数1—4,400

统一书号 15119·104 定价(十四) 2.10元

序

自本书第一版印行以来已近七年。在这时期内工业电子学有了許多新的成就,特別在半导体器件的研究及其实际应用方面,成績更为卓越。

因此,新版的准备工作要求对本书所有的三編都作了不同程度的重要改編。

以列宁命名的哈尔科夫多科性工业大学的“工业企业电气化”教研室和“无綫电技术基础”教研室,参加討論了本书計劃的拟訂,作者深表感謝。

O. A. 馬叶夫斯基副教授对本书修訂版的手稿,作了許多重要的指示;O. A. 庫契連科工程师、A. X. 戈列利克工程师和哈尔科夫多科性工业大学五年級学生 H. A. 戈列利克对本书稿件的准备給予很大的帮助,作者向他們致謝。

作者

緒 論*

現代電子學是作為一門研究稱為電子管、離子管和半導體器件的作用原理和工程應用的科學發展起來的。這些電子管、離子管和半導體器件，是以真空、稀薄氣體和半導體物質的晶格中的電現象為基礎的。

工業電子學包括電子管、離子管和半導體器件對於各種各樣目的應用，例如電流的整流和變換，工藝過程、拖動和機械的檢測、自動化及控制。工業電子學在不同的工業和技術部門中都獲得日新月異的應用。

借助於工業電子學，革新了許多技術領域，提高了各種機械和機床的工作速度，擴大了電力拖動的控制範圍，創造了新工藝，改善了勞動條件。

由於直接利用無線電技術中所使用的電真空器件和半導體器件，使工業電子學已達到了相當大的成就。可是後來工業電子學遠遠超出了無線電技術方面所應用的設備和電真空器件的使用範圍，而在獨立的科學研究中占有顯著的地位。

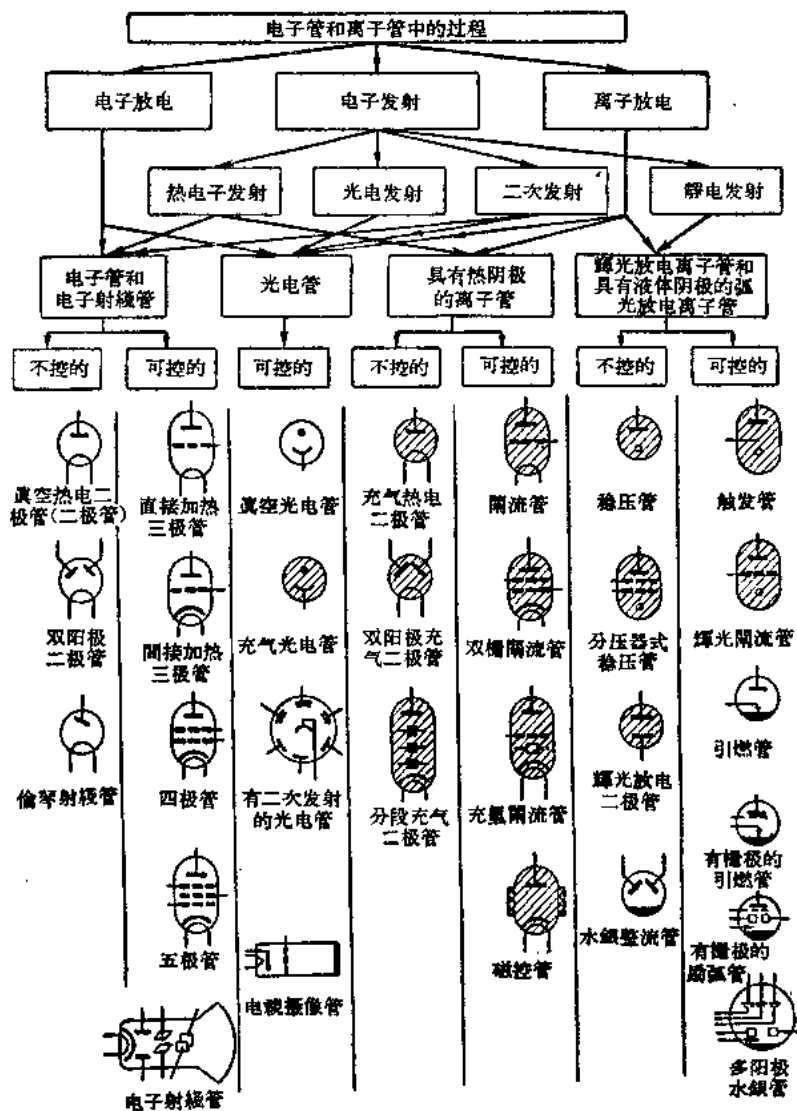
現在幾乎沒有一個使用電子管、離子管和半導體器件的技術部門不在開辟着使技術進步繼續發展的道路。

拖動金屬切削機床、延壓機械及其他設備等的電子-離子控制，已開始愈來愈廣泛的應用。

企業和電氣鐵道的直流供電問題，主要與採用大功率離子整流器有關。

由於應用大功率離子整流器的結果，在電冶金和電化學方面，已獲得巨大的成就。

* 緒論系節譯



电子管和离子管的分类

电子物理和它的电动力学及原子结构部分，是电子管和离子管的理论基础。这一物理学范畴提供了研究电子管和离子管中基本物理过程的可能性。这些过程首先包括电子发射、气体中的放电和空间电荷现象。

第2页中表示了电子管和离子管的分类。

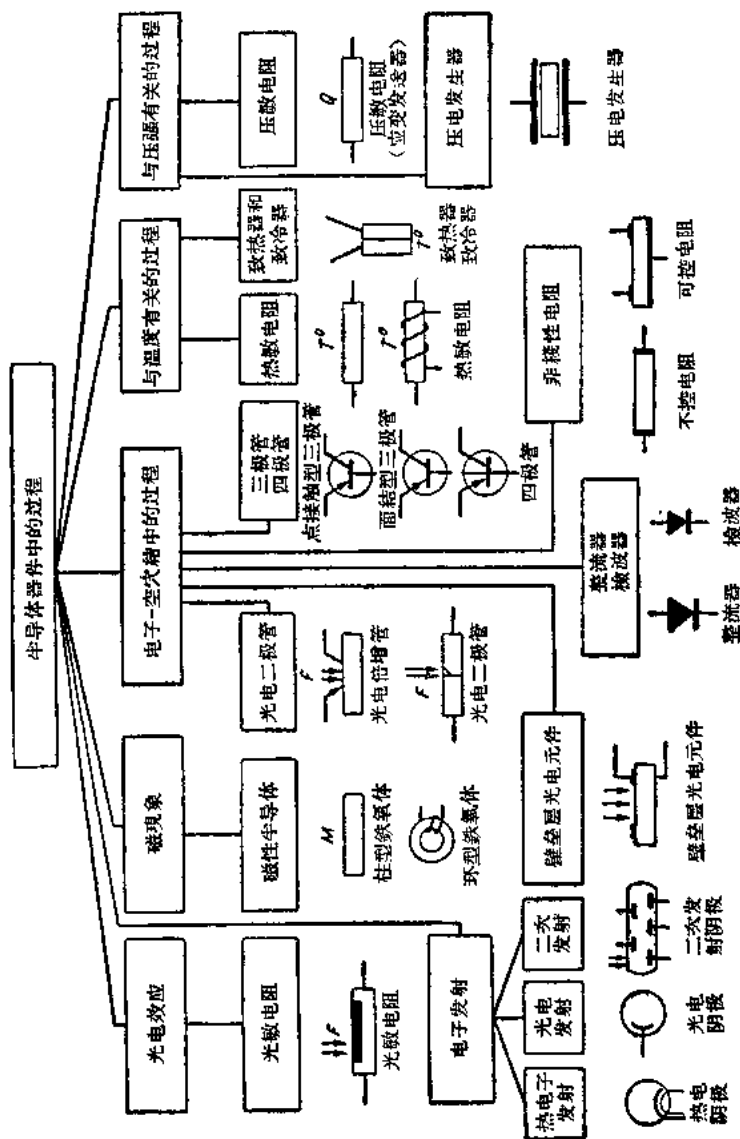
近年来在工业电子学的发展中开始了新的阶段，这个阶段系与半导体方面的科学成就有关。

迅速发展着的电子学范畴——半导体电子学，其意义是可与上述的真空和气体放电电子学相比拟的。

在无线电技术中，在机械拖动和工艺过程的自动控制电路中，以及其他许多领域内，半导体器件的应用是极有发展前途的。

由于半导体器件没有真空泡和热阴极，寿命很长，以及其他一系列的优点，在许多情况下半导体器件比电子管和离子管更具有显著的优越性。

根据半导体器件中进行的基本物理过程来划分，广泛应用的半导体器件的分类及其习用符号，示于第4页。



半导体的分类

目 录

序

緒論 j

第一編 电路 元 件

第一章 电子学物理基础 1

1-1 原子和电子 1

1-2 自由电子在电场和磁场中的运动 3

1-3 热电子发射 4

1-4 光电发射 7

1-5 金属和半导体的光谱特性 9

1-6 二次发射 10

1-7 静电发射 11

第二章 电子管 12

2-1 二极管 12

2-2 电流与电压间的关系。“二分之三次方”定律 13

2-3 二极管的特性和参数 15

2-4 三极管。构造和作用原理 18

2-5 等效电位和“二分之三次方”定律 20

2-6 三极管的特性 21

2-7 三极管的参数 23

2-8 具有阳极负载时放大级的特性和参数 24

2-9 多极电子管 27

2-10 电子射线管 31

2-11 电子射线的控制 33

第三章 半导体电子学的物理基础 37

3-1 半导体的电学性质 37

3-2 电子半导体和空穴半导体 40

3-3 半导体接触层内的过程.....	42
第四章 半导体器件	47
4-1 热敏电阻.....	47
4-2 光敏电阻.....	49
4-3 半导体整流元件(整流器).....	51
4-4 半导体整流元件的参数和特性.....	56
4-5 整流元件的电阻和热损耗.....	61
4-6 半导体二极管.....	64
4-7 半导体三极管.....	65
4-8 光伏电池.....	71
4-9 半导体光电放大器.....	77
4-10 半导体非线性电阻.....	79
4-11 可控的非线性电阻.....	81
第五章 气体放电管的物理基础	83
5-1 气体微粒的电离和激励.....	83
5-2 气体放电管极际空间中的过程.....	85
5-3 自持放电.....	90
5-4 电弧的消失。逆弧.....	91
第六章 气体放电管	92
6-1 充气热电二极管。构造和作用原理.....	92
6-2 充气热电二极管的特性.....	93
6-3 闸流管。构造和应用范围.....	96
6-4 闸流管中栅极控制时的物理过程.....	97
6-5 闸流管的特性.....	99
6-6 屏蔽闸流管	102
6-7 水银整流管	103
6-8 玻璃的水银整流管	103
6-9 金属的多阳极水银整流管	105
6-10 金属的单阳极水银整流管	107
6-11 金属无泵水银整流管	109
6-12 引燃管。作用原理和构造	111
6-13 引燃极的工作	113
6-14 具有辉光放电的气体放电管	114

6-15 稳压管——气体放电稳压管	116
6-16 离子放电隙	120
6-17 鎮流管	121
第七章 光电管	122
7-1 电真空光电管的类型和构造	122
7-2 利用二次发射来放大光电流	126
7-3 光电倍增管的类型和构造	128

第二編 单元电路中的元件組合

第八章 交流电的整流	131
8-1 电整流元件的分类	131
8-2 整流电路	132
8-3 負載电路中具有純电阻的单相整流器	137
8-4 負載电路中具有电感和电阻的单相整流器	138
8-5 負載电路中具有电阻和电容的单相整流器	141
8-6 負載电路中具有电阻和反电势的单相整流器	145
8-7 負載电路中具有电感和反电势的单相整流器	147
8-8 多相半波整流电路	148
8-9 多相全波整流电路	150
8-10 m 相整流器电路中各种电压的相互关系	152
8-11 m 相整流器中阳极电流的重迭	154
8-12 复式半波和全波整流电路	157
8-13 整流变压器的工作	162
8-14 整流电压的脉动	167
8-15 枚紋滤波器	173
8-16 枚紋电抗器	175
8-17 Γ 型滤波器	176
8-18 Π 型和 T 型滤波器	177
8-19 諧振滤波器	179
第九章 可控整流器	180
9-1 負載电路中具有純电阻的单相可控整流器	180
9-2 負載电路中具有电阻和电感的单相可控整流器	182
9-3 負載电路中具有电阻和电容的单相可控整流器	185

9-4	負載电路中具有电阻或电感以及反电势的单相可控整流器	186
9-5	m 相可控整流器电路中电流和电压間的关系	187
9-6	整流裝置的功率因数	193
9-7	具有电容换向的单相逆換流器	194
9-8	单相逆換流器中过程的分析	197
9-9	交流回路中有独立电源的多相逆換流器	200
9-10	变流器的綜合图	204
第十章	离子整流器栅极控制的方法和电路	208
10-1	用栅极調节电压的方法	208
10-2	在直流的阳极和栅极电压下的閘流管控制电路	211
10-3	在直流栅极电压和交流阳极电压下的閘流管控制电路	212
10-4	用桥接移相器的閘流管控制电路	213
10-5	用感应移相器的 m 相整流器控制电路	216
10-6	多相整流器的脉冲控制电路	218
10-7	引燃管的起燃和調节的基本电路	222
10-8	用引燃整流元件的电路	223
10-9	带有峰值变压器和饱和电抗器的引燃回路	230
10-10	电容器引燃回路	232
10-11	多相整流器的引燃回路	234
第十一章	电子和半导体放大器	236
11-1	放大器类型和放大的种类	236
11-2	失真的形式	240
11-3	放大級阳极电路中的功率	241
11-4	放大器的效率	245
11-5	直流放大器	240
11-6	阻容耦合放大器	248
11-7	感容耦合放大器	251
11-8	变压器耦合放大器	252
11-9	具有阴极負載的放大器	256
11-10	变压器耦合的推挽式放大器	258
11-11	半导体三极管的接綫方式	262
11-12	多級半导体放大器电路	268
11-13	放大器电路中反饋的应用	271

第十二章 高频电振荡发生器	274
12-1 电子振荡器	274
12-2 电子管振荡发生器的振荡状态	279
12-3 自激电子管振荡发生器	286
12-4 振荡器的自激条件	288
12-5 他激的电子管振荡发生器	291
12-6 工业电热用的高频发生器	292
12-7 电振荡的调制	294
12-8 频率调制(调频)	299
第十三章 张弛振荡发生器	300
13-1 用辉光放电管的张弛振荡发生器	300
13-2 用电子管的锯齿波振荡发生器	303
13-3 电容耦合的脉冲发生器	305
13-4 RC型正弦波发生器	300

第三編 复杂的电子设备

第十四章 电子和离子继电器	310
14-1 交流电压继电器	310
14-2 用辉光放电二极管的直流电压继电器	313
14-3 电子时延继电器	313
14-4 用闸流管的时延继电器	318
14-5 用辉光放电二极管的时延继电器	319
14-6 用电子管的光电继电器	320
14-7 用闸流管的光电继电器	323
第十五章 调节和检测的电子仪器	325
15-1 交流发电机的电压调节器	325
15-2 电子的直流电动机转速调节器	330
15-3 热电高温计	332
第十六章 随动系统	334
16-1 仿型机床的随动拖动	334
16-2 用闸流管放大器的同步-随动拖动	337
16-3 用半导体放大器和二相异步电动机的随动拖动	338
第十七章 直流和交流电动机的离子-电子控制	339

17-1	离子-电子拖动的特性和应用范围	339
17-2	直流电动机离子拖动的主回路	340
17-3	电力拖动的控制回路	344
17-4	大功率离子拖动	346
17-5	用可控整流器调节异步电动机的转速——整流器串级	350
17-6	用离子变频器调节异步电动机的转速	351
第十八章	量测仪器	357
18-1	电子电压计	357
18-2	补偿式电子电压计	360
18-3	电子频率计和转速计	363
18-4	电子毫秒计	365
第十九章	电子射线仪器	367
19-1	电子示波器	367
19-2	波形图的扫描	368
19-3	射线的垂直和水平偏转放大器	371
19-4	工业电视装置	372
19-5	伦琴射线机(X光机)	376
19-6	伦琴射线机的电路	378
19-7	电子显微镜	381
参考文献		386

第一編 电路元件

“原子的可破坏性和不可穷尽性、物质及其运动的一切形式的可变性，一向是辩证唯物主义的支柱。”

В. И. 列宁(“唯物主义和經驗批判主义”)*

第一章 电子学物理基础

1-1 原子和电子

按照近代的观点，任何物质都是由原子构成的，而每一个原子又是由不太重的、直径约为 10^{-12} 厘米的核和圍繞着原子核在直径约为 10^{-8} 厘米范围内运行的电子所組成。原子核几乎集中了原子所有的质量。

原子核带正电，且其电荷量为一个电子电荷量的整倍数。每一个电子都具有负电荷 e ，其值等于：

$$e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ [庫]}$$

所有圍繞核运动的电子所具有的负电荷的总值，等于原子核的正电荷，所以原子就电的性质而言是中性的。

电子的电荷是最小的负电荷，而所有其他微粒的电荷总是电子电荷的整倍数。静止的或以小速度(与光速比較)运动的电子的质量等于：

$$m = 9.1 \times 10^{-28} \text{ [克]}$$

* 譯文录自“列宁全集”第14卷第297頁，人民出版社出版，1957年。

电子的电荷与其质量之比(荷质比)为

$$\frac{e}{m} = 1.759 \times 10^8 \text{ [庫/克]} = 1.759 \times 10^{11} \text{ [庫/公斤]}$$

电子可以处于几种不同的状态;就是說,它可能是組成原子体系的不自由(束縛)电子,在金属原子或半导体原子之間运动的半自由电子,和能在真空或稀薄气体中运动的自由电子。

不自由电子和原子核一起組成了原子体系。圍繞核运行的电子数目决定于化学元素的原子序数。

原子序数也决定核的正电荷量及原子的化学性质。

半自由电子不受原子和分子的直接約束。按照金属的电子理論,金属的良好导电性可用电子的运动來說明。所有的原子核都是由中子和质子組成的。中子是不帶电的微粒,其质量差不多为电子质量的 1850 倍,而质子則是具有同样质量的微粒,并帶正电荷,其值等于电子电荷的絕對值。

重的原子具有較重的核和較多的圍繞核运行的电子,这可以說明各种原子在重量和其化学性质上的差异。

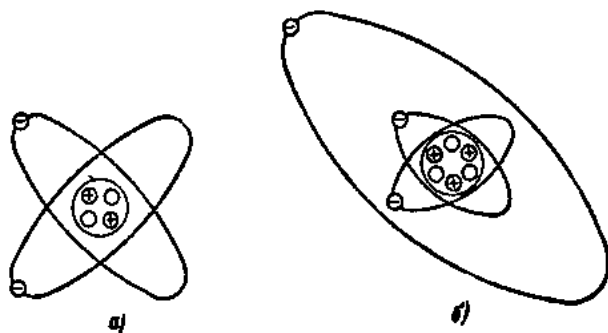


图 1-1 原子模型

a—氦; b—鋰

图 1-1 表示两种輕的原子模型: 氦和鋰。重元素的原子模型較为复杂;例如水銀的原子核,含有 80 个正的单元电荷,这些电荷被 80 个圍繞核运行的电子的电荷所抵消。失去一个或几个电子的原子,就电的性质而言将不再是中性的(电子的电荷不完全抵消原

子核的电荷)。这种原子被称为正离子。具有多余电子的原子称为负离子。

1-2 自由电子在电场和磁场中的运动

1-2-1 在电场中的运动

当电子在管中电极间运动时,在电场的作用下,产生使电子加速的力。

运动的电子的动能 W , 等于电子电荷 e 和电子所经过的电位差 U 的乘积:

$$W = eU \quad (1-1)$$

电子的动能可以用它的质量 m 和速度 v 来表示:

$$W = \frac{1}{2} mv^2 \quad (1-2)$$

如果电子的初速等于零,则从式(1-1)、(1-2)中就可决定电子在极际空间任何一点的速度:

$$v = \sqrt{\frac{2eU}{m}} \quad (1-3)$$

将电子的质量和电荷值代入式(1-3),得:

$$\begin{aligned} v &= \sqrt{2 \times 1.759 \times 10^{11} U} \approx 5.95 \times 10^5 \sqrt{U} \text{ [米/秒]} \\ &= 595 \sqrt{U} \text{ [公里/秒]} \end{aligned} \quad (1-3a)$$

式中 U 的单位为伏。

式(1-3)指出,电子的速度和 $\sqrt{U}$ 成正比;因此可按电子所经过的电位差的数值来决定电子的速度。

表 1-1 电场中的电子速度

U [伏]	0.1	1	4.5	10	100	1000	10000
v [公里/秒]	186	595	1260	1860	5950	18600	59500

表 1-1 表示电子的速度与电子所经过的电位差的关系。

如果电子在极际空间作垂直于电场力线方向的运动,则电子