

工业电子学普通教程

上 册

伊·利·卡加諾夫著
吳 存 亞 主 譯

高 等 教 育 出 版 社

73.691
162
上=1

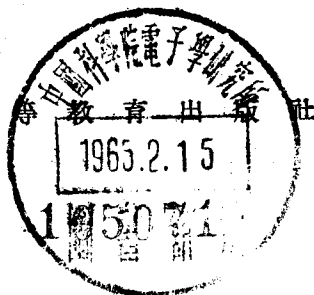
工业电子学普通教程

上 册

〔苏联〕 伊·利·卡加諾夫著

吳 存 亚 主 譯

高



社

73691

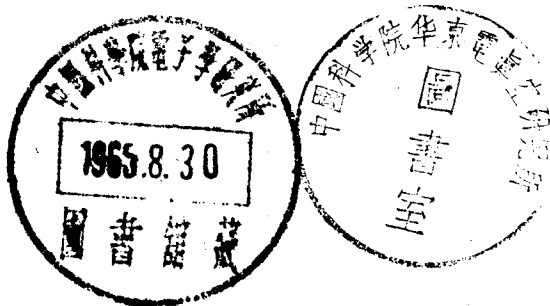
73.691
162
:2

工业电子学普通教程

下 册

伊·利·卡加諾夫著

吳存亞主譯



高等教育出版社

5377

本书系根据苏联国立动力出版社 1961 年出版的伊·利·卡加諾夫 (И. Л. Каганов) 著“工业电子学普通教程” (Промышленная электроника [общий курс]) 一书譯出的。

本书研究了电子、离子、半导体的器件的工作原理、构造和在工业电子学中应用它們的电路。

本书分上、下两册出版。上册包括小功率整流器、放大器、振荡器等三章。下册包括光电装置、热敏电阻和放射綫指示器，电子束器件及其应用，中、大功率变流器三章。

本书主要供高等工业院校电工类专业的学生参考。对从事工业电子学的工程技术人員也有参考价值。

本书緒言是吉林工业大学吳存亚翻譯的；第一章是北京航空学院郭金亮翻譯的；第二章是天津大学彭日知、卞繼仁、王鐸、田維榮、周琪瑞、姜学鏞、赵玉山、陆份、陈綠深翻譯的；第三章是吉林工业大学杜国樑翻譯的。全书經吉林工业大学吳存亚同志校閱。

工业电子学普通教程

上 册

[苏联]伊·利·卡加諾夫著

吳 存 亚 主 譯

北京市书刊出版业营业許可証出字第 119 号
高等教育出版社出版 (北京景山东街)

商务印书館上海厂印装
新华书店上海发行所发行
各地新华书店經售

統一书号 K13010·1157 开本 850×1168 1/32 印張 9 2/16
字数 187,000 印数 0,001—5,000 定价 (5) ¥0.90

1965 年 1 月第 1 版 1965 年 1 月上海第 1 次印刷

0100/1

本书系根据苏联国立动力出版社 1961 年出版的伊·利·卡加諾夫(И. Л. Каганов)著“工业电子学普通教程”(Промышленная электроника [общий курс])一书譯出的。

本书研究了电子、离子、半导体的器件的工作原理、构造和在工业电子学中应用它們的电路。

本书分上、下两册出版。上册包括小功率整流器, 放大器, 振荡器三章。下册包括光电装置、热变电阻和放射綫指示器, 电子束器件及其应用, 中、大功率变流器三章。

本书主要供高等工业院校电工类专业的学生参考。对从事工业电子学的工程技术人员也有参考价值。

本书第四章是北京航空学院朱民雄翻譯的, 第五章是北京航空学院赵元康翻譯的, 第六章是吉林工业大学吳存亚、杜国樑翻譯的。全书經吉林工业大学吳存亚同志校閱。

工业电子学普通教程

下 册

[苏联] 伊·利·卡加諾夫著
吳 存 亚 主 譯

北京市书刊出版业营业許可証出字第 119 号

高等教育出版社出版(北京景山东街)

商务印书館印刷厂印装

新华书店上海发行所发行

各地新华书店經售

统一书号 13010·1167 开本 850×1168 $\frac{1}{32}$ 印张 7

字数 154,000 印数 0,001—5,000 定价(5) ¥0.70

1965 年 1 月第 1 版 1965 年 1 月上海第 1 次印刷

序

本书是作为高等工业学校电工类各专业和其他一些专业的教学计划中规定的“工业电子学”课程或内容与其相近的“电子学基础”课程的教科书编写的。

在本书中研究了电子、离子和半导体器件,以及用这些器件构成的工业电子装置中的典型部件的各种电路。

考虑到有一类专业(电机类各专业、自动学与远动学专业、量测技术专业、热工专业和其他某些部门的专业)与电子控制和电子检测的系统联系较密切,另一类专业(电力类各专业、工业与运输电气化专业)又与动力电子学联系较密切,而它们的“工业电子学”这门课教学大纲的体系是有些不同的,因此把前一类专业所必须掌握的知識集中在本书的前五章中,把有关中、大功率变流系统中更为詳細的内容单独分出,作为本书的第六章。

像已经出版的作者的其他几本有关工业电子学的书籍一样,本书也是先讲述器件的性能,然后紧接着就分析应用这类器件的一些基本电路。这种体系,正如在荣获列宁勋章的莫斯科动力学院许多专业中讲授“工业电子学”课程的多年教学经验所证明过的那样,使学生易于对整个电子装置的工作情况建立起完整的概念。对于工业中所用的各种具体装置,本书只用比較小的篇幅来讲述,因为本书不能超过作为教科书所应有的篇幅。基于同样的理由,本书中很多定量的关系都是只给出結論性的公式,在必要的情况下指出参考文献。

在准备手稿付印的过程中,莫斯科动力学院工业电子学教研室的全体同志給了作者很大的帮助,他們討論了本书的结构和手

稿, 評閱人 И. И. 斯切潘年科副教授和 B. Г. 柯馬尔教授提出了很多寶貴的意見, 对作者也給了很大的帮助。

И. B. 安季克工程师在准备手稿付印的过程中, 給了作者特別大的帮助。

作者向教研室的同志和本书的評閱者致以深切的謝意。

作者怀着感激的心情欢迎本书讀者的所有意見, 来信請寄莫斯科动力学院工业电子学教研室轉給作者。

作 者

上册目录

序.....	vii
緒言.....	1
第一章 小功率整流器.....	5
1-1. 最简单的整流电路·整流元件和对它们的要求.....	5
1-2. 电子(真空)二极管.....	9
a) 热阴极电子发射.....	10
b) 电子通过真空中的情况.....	13
B) 真空二极管的阳极特性.....	15
1-3. 离子二极管.....	20
a) 非自持弧光放电二极管——热阴极充气二极管.....	24
b) 自持辉光放电二极管.....	33
B) 辉光放电稳压管.....	39
1-4. 辉光放电信号管和辉光放电数字管.....	42
1-5. 半导体二极管.....	43
a) 半导体导电性的两种形式.....	44
b) 半导体整流元件的类型及其特性.....	49
B) 硅稳压管.....	61
1-6. 单相整流器.....	62
a) 在纯电阻负载情况下具有零点出头的电路.....	63
b) 在纯电阻负载情况下的桥式电路.....	67
B) 在反电动势负载情况下整流器的工作状态.....	69
1-7. 电压和电流的脉动及平滑脉动的滤波器.....	72
1-8. 整流器的外特性.....	80
1-9. 参数式的稳压器和稳流器.....	83
a) 稳压器.....	84
b) 稳流器.....	87
1-10. 输出电压可調的整流器.....	89
第二章 放大器.....	92
2-1. 放大过程的实质及放大器的分类.....	92
2-2. 具有栅极的电子管.....	95



2-3. 具有控制电极的离子器件	109
a) 非自持弧光放电的闸流管	109
b) 辉光放电的闸流管	119
c) 十进位计数管和离子换接器	123
2-4. 半导体三极管	125
2-5. 半导体可控整流管	142
2-6. 电子管放大器	146
a) 阳极负载放大器	149
b) 阴极负载放大器(阴极输出器)	157
2-7. 半导体放大器	161
a) 三极管的各种接法·三极管在共发射极接法时的特性曲线和参数	161
b) 静态情况和偏压电路	166
c) 等效电路	171
2-8. RC 耦合放大器	177
a) RC 耦合的电子管放大器	177
b) RC 耦合的半导体放大器	183
2-9. 变压器耦合的两级放大器	190
a) 用变压器耦合的电子管放大器	191
b) 用变压器耦合的半导体放大器	195
2-10. 放大器中的反馈·去耦滤波器	198
2-11. 窄频带放大器	203
2-12. 用直流电压供电的功率放大器	206
a) 电子管功率放大器	211
b) 半导体功率放大器	215
2-13. 用脉动电压供电的功率放大器	221
2-14. 直流放大器	223
a) 电子管直流放大器	224
b) 半导体直流放大器	227
2-15. 反馈式稳压器	232
第三章 振荡器	237
3-1. 电子振荡器的分类	237
3-2. 电子管正弦波振荡器	238
3-3. 自激正弦波振荡器	245
3-4. 脉冲形成器	252
a) 限幅器	253
b) 微分电路	255

B) 积分电路.....	256
r) 梯形和尖顶形脉冲形成器.....	257
3-5. 阻塞振荡器(变压器-电容耦合的脉冲发生器).....	258
3-6. 触发器.....	260
3-7. 多谐振荡器.....	267
a) 自振荡状态的多谐振荡器.....	267
b) 锁式多谐振荡器.....	272
3-8. 锯齿波电压发生器(扫描发生器).....	274
3-9. 电子计算装置和电子自动装置中的逻辑元件.....	278

下册目录

第四章 光电装置、热变电阻和放射线指示器	285
4-1. 光电元件的类型及其基本特性	285
4-2. 具有外光电效应的光电管和光电倍增管	293
4-3. 光敏电阻	298
4-4. 光电二极管和光电三极管	301
4-5. 光电元件的应用	308
4-6. 半导体热变电阻及其应用	311
4-7. 放射线和X射线的指示器	315
第五章 电子束器件及其应用	322
5-1. 电子束器件的类型	322
5-2. 示波管	324
a) 静电聚焦和静电偏转的示波管	324
b) 电磁聚焦和电磁偏转的示波管	332
5-3. 电子示波器电路	335
a) 示波管各电极的供电环节	336
b) 扫描发生器	337
b) 电子束垂直和水平偏转的放大器	340
5-4. 工业用途的电视管	345
a) 摄像管	346
b) 电视收象管(显象管)	350
5-5. 存储管	351
5-6. 电子显微镜	353
5-7. X射线管	354
5-8. 电子换接器(滚线管)	355
第六章 中、大功率变流器	357
6-1. 变流器的形式	357
6-2. 大功率半导体整流管	358
a) 锗整流管	359
b) 硅整流管	362
b) 硒整流片	365
6-3. 非自持弧光放电的离子管	370
a) 热阴极充气二极管	370

6) 閘流管.....	372
6-4. 水銀整流管.....	378
a) 构造和作用原理.....	378
6) 导电期間的現象.....	380
b) 水銀整流管的构造.....	384
r) 电弧的全部压降和在一个周期的导电部分內所发生的反常状态.....	388
д) 在一个周期的非导电部分內所发生的現象.....	390
e) 起燃、維弧和柵控系统.....	395
ж) 水銀整流管的类型和参数.....	398
6-5. 在中、大功率装置中参数对整流电路工作的影响.....	400
6-6. 单相不可控整流器.....	402
a) 对具有零点出头的电路工作状态的 analysis.....	402
6) 在 X_a 为一有限值的情况下对桥式电路工作状态的 analysis.....	411
6-7. 单相可控整流器.....	415
a) 具有巔峰变压器的柵控系统.....	415
6) 在具有零点出头的电路中对主回路工作状态的 analysis.....	419
b) 桥式电路中对主回路工作状态的 analysis.....	422
6-8. 三相不可控整流器.....	424
a) 在 $X_a=0$ 和 $X_d=0$ 的情况下具有零点出头电路的工作状态.....	424
6) 在 X_a 为一有限值的情况下对具有零点出头电路的 analysis.....	431
b) 在 $X_a=0$ 的情况下对桥式电路的 analysis.....	438
r) 在 X_a 为一有限值的情况下对桥式电路的 analysis.....	441
6-9. 三相可控整流器.....	445
a) 具有巔峰抗流圈的柵控系统.....	445
6) 对主回路工作状态的 analysis.....	447
6-10. 六相不可控整流器.....	452
6-11. 六相引燃管整流器的柵控电路.....	461
6-12. 整流电压波形和一次电流波形中的諧波.....	463
6-13. 整流器的功率因数和效率.....	467
6-14. 逆变流.....	470
6-15. 从属于电力网的单相逆变器(非独立逆变器).....	473
6-16. 从属于电力网的三相逆变器.....	479
6-17. 单相独立(自主)逆变器.....	483
6-18. 可逆变器.....	488
6-19. 頻率变换器.....	491
6-20. 直流电压变换器.....	492
参考书刊.....	495
索引.....	497

緒 言

一种装置，如果在它包含的器件中的电流是以电子运动来形成的，那么从广义上說，这种装置称为电子装置。电子可能是：а) 在真空中运动，像电子管中的情形就是这样；б) 在稀薄的电离气体中运动，像离子管中的情形就是这样；в) 在半导体媒质中运动，像半导体器件中的情形就是这样。

由这类器件所制成的装置，在許許多多不同的科学和技术領域中都获得了非常广泛的应用，但是特別用得广泛的是在无线技术和工业电子学中。

在工业电子学中电子装置的应用領域是多种多样的。但是，可以把这些五花八門的应用分成两个主要方向：а) 检测系統与控制系統的电子化，б) 动力电子学。属于前一个方向的典型电子装置有：а) 工业对象工作状态的自动控制和检测系統中的电子部件；б) 零件尺寸和零件加工质量的检测系統中的电子部件；в) 热力过程的检测系統与調节系統中的电子部件；г) 液体和气体媒质等成分的检测系統中的电子部件；д) 連續动作和断續动作的各种计算机中的电子部件。

可以列为动力电子学的典型装置有：а) 把一种电流变换为另一种电流的变换器，这种装置广泛地应用于电力拖动系統中，特别是用在电气化运输以及非工頻的动力装置中；б) 金属、半导体和电介质的感应加热装置；в) 电子电焊装置；г) 在应用超声波的各种工艺作业中使用的超声波装置。

在工业和动力系統中电子学之所以得到这样广泛和多种多样的发展，可用电子装置所具有的主要优点来解釋。

这些主要优点是：1) 动作快(在许多装置中可以达到十分之几或百分之几微秒)，2) 对于输入量的变化有很高的灵敏度(用微伏或微安来表征)，3) 效率高(在许多装置中可达95%或更高)和4) 对于自动作用有高度的适应性。

由于电子装置的用途和所起的作用不同，装置中元件和部件的组合可以是多种多样的。

图0-1示出自动调节系统中常用的一种结构的结构图(方框图)作为典型结构的例子。图中方框Ⅰ——调节对象，方框Ⅱ——检测对象状态的测量部件(变送器)，方框Ⅲ——放大部件和方框Ⅳ——执行部件。

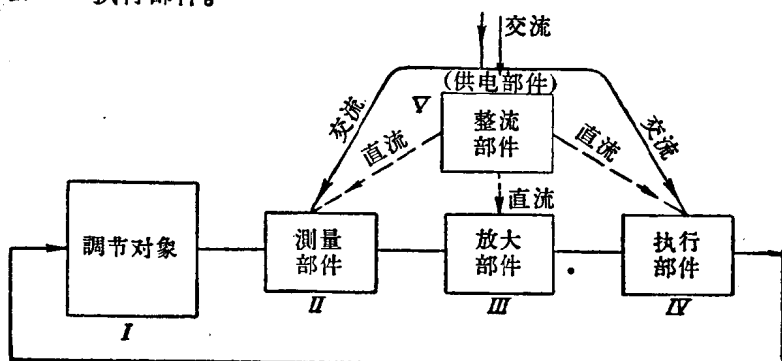


图0-1. 自动调节系统中的部件结构图。

当对象的工作状态离开给定的状态时，在测量装置的输入端便出现电量(电压、电流、功率)的失调信号或是后来转换为电量的非电量(线性位移、转速的变化、媒质压力的变化、物体温度的变化、声频或超声频的振动、光辐射、化学反应等等)的失调信号。

放大部件把电信号增高到能使执行机构动作所必需的电平，执行机构可以使对象恢复到原来的或给定的状态。在放大部件中可以进行几次(几个级)放大。其中前几级所进行的是电压或电流的前置放大，而最后一级(或两级)则进行功率放大。

虽然电压、电流和功率都是彼此有着直接关系的电量,但是在电子装置中却常常把注意力主要集中在其中某一个量上,为的是要强调这个量对装置的特殊意义。例如,在装置中某个部件的内部电阻大到使其中电流的变化量很不显著时,通常便认为这是电压放大。与此相反,在装置中某个部件的内部电阻小到使其输出端上的电压变化量很小时,通常便认为这是电流放大。当电过程的最終效果是重要的时候,也就是在电压和电流都在足够大的范围内变化时,通常便认为这是功率放大。

从所完成的功能来看,放大部件中的任何一级都是一个单元,每个单元都是利用很小的输入信号来控制其输出端的电流、电压或功率的更大的变化量。装置所需要的功率由一个能源来供给,功率随时间的变化则由放大器控制。能源连同辅助元件构成如图0-1中所示的供电部件Ⅶ。

供电部件一般是一个直流电源(蓄电池组或是把交流变换为直流的整流器)。在某些类型的放大器中,器件也可以直接用交流来供电,使装置的效率得以提高。

用在电子装置供电部件中的小功率整流器,其结构原理和工作状态的分析将在本书的第一章中讲述。

第二章讲述放大器。

当把电源所供给的直流用来产生指定频率和指定波形的交变电流时,则这种装置称为电子振荡器,在功率较大的设备中则称为把直流变换为交流的变流器称作逆变器。

经常用在测量装置中的小功率电子振荡器,在本书的第三章中研究。

我们采用各种类型的变送器作为控制放大器工作状态的最初的元件。在这些变送器中,一种称为光电元件的光电子变送器和另一种称为热变电阻的变送器占有特殊的地位。光电元件可把光

通量轉換為電信號，而熱變電阻的電阻值則在熱的作用下會發生很大改變。

在實際中應用的各種光電元件和熱變電阻的物理性質以及它們的聯接電路，在本書的第四章中講述。

電子示波器廣泛地用作整套電子裝置中的最重要的測量部件。電子示波器的主要部分是電子束管。在電子束管中，電子流被聚集成射綫形式而在屏幕上移動，並且由於這些電子在屏幕的發光層上把自己的動能變換成光能，在屏幕上留下了光迹。

電子束管和它的各種應用電路在第五章中講述。這一章還簡要地研究了在工業中應用的其他類型的電子束器件。

在動力裝備中，整流以及直流變交流的逆變流，都要當作專門的課題來加以解決，因為對於許多用電設備來說，必須有非工頻的電流。例如，有色金屬電冶煉和電化學生產，電氣化運輸和固定的電力拖動裝置以及直流輸電系統都需要直流。而對於金屬和介質的高頻加熱、電焊裝置以及對於可調速與不可調速的高轉速交流拖動來說，則必須有不同于工業頻率的交流。

在大功率裝置中把工頻交流電變換為非工頻的交流電可用頻率變換器來完成。在某些設備中，還要求有把直流電壓從一個電平變換為另一個電平的裝置。

大功率的整流器和逆變流器與小功率整流器的區別不僅在於其中所用器件的類型不同，而且還在於這些器件所在電路的結構也是不同的。這就是作者序中曾指出過的本書分章的前提。

第一章 小功率整流器

1-1. 最简单的整流电路·整流元件和对它们的要求

在由金属导线构成的电路中，电流向一方向和向另一方向流通的情况是相同的，也就是电路的导电性与电路中电流流过的方向无关。因此，若把这种电路接至交变电压源，则电路中的电流也将是交变的。

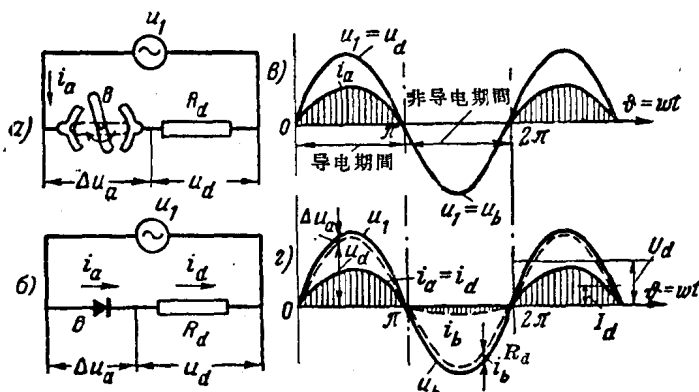


图 1-1. 半波整流。

a —具有机械换向器的电路； b —具有电整流元件的电路； c —具有理想整流元件时的电压和电流波形； d —具有实际整流元件时的电压和电流波形。

如果我们的课题是要在交变电压源 u_1 供电的电路中(图 1-1, a 和 b)获得方向恒定的电流(直流)，那末，这个问题可以用接入机械换向器的方法(图 1-1, a) 来解决，这种机械换向器只在交变电压每周期中的某一部分时间内周期性地把电路接通；或者用接入电整流元件的方法(图 1-1, b) 来解决，这种电整流元件具有使电