

工業电子学

〔苏联〕A. И. 高列里克 著

上海科学技术出版社

工 业 电 子 学

〔苏联〕A. И. 高列里克著

沈尚贤 刘 侃 蔡元龙 蔣大宗 万百五

王明德 徐俊荣 陈鸿彬 裘明信 鄒光年

陈耕云 郑守淇 陈锦文 刘锦德

合 译

上海科学技术出版社

內 容 提 要

本書先敘述電子管、充氣管、光電管及半導體整流元件、半導體放大元件等電路元件；其次對於整流器、放大器、振盪器及引燃管的起燃等主要電路進行分析；最後再討論電子與離子調整器、電子與離子繼電器、離子電力傳動、高頻工業電熱及電子量計儀器等複雜電路。

本書可供電工企業中研究電子學的從業人員作參考之用，亦可作為大專學校中工業電子學課程的教材用書。

工 業 電 子 學 ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

原 著 者 (蘇聯) А. Л. Горелик
譯 者 沈 尙 賢 等

上海科學技術出版社出版
(上海瑞金二路450號)

上海市書刊出版業營業許可證出093號

新華書店上海發行所發行 各地新華書店經售
商務印書館上海廠印刷

開本 850×1168 1/32 印張 14 字數 298,000
(原中料、科技書共印 11,920 冊 1958年11月第1版)
1958年10月第1版 1961年9月第5次印刷
印數 20,001—30,000

統一書號：15119·104

定 價：(十四) 2.00 元

譯 者 序

去年暑假後，我校——交通大學——也像國內其他高等學校一樣，在學習蘇聯的原則下，開始了一系列的教學改革措施，例如確定專業設置，擬訂教學計劃等等。由於工業電子學一課，為電力工程系和電工器材製造系各專業的同學所共同必修的課程，校中同時成立了工業電子學教研室。我們教研室的同志們，開始時大家對於這門比較新的課程，究竟應該採用那些教材，如何具體地講授都是缺乏經驗的。在第一次開課的過程中，我們參照了蘇聯的教學提綱，勉強自編講義來進行教學。今年三月間，我們看到了哈爾濱工業大學影印的這本書，覺得內容新穎，深淺適中，理論和實際密切結合，就目前國內所見，尚沒有其他同類的書籍可以與之比擬。這些寶貴的蘇聯經驗，有不少正是我們教材上所缺乏的，於是大大地鼓舞了我們從事翻譯的熱情。

由於祖國大規模的有計劃的工業建設業已開始，而工業企業的電氣化，為發展過程中重要環節之一，因之工業電子學的前途，也正和本書作者序中所提及的蘇聯的情況一樣，是具有很廣闊的發展遠景的。就譯者所知，利用引燃管的電鋸機和整流器，在上海都有，其他類型的電子管的應用也很多，而將來必定會更迅速地增加，那末對於工業的從業人員而言，像這樣性質的參考書，也是值得介紹的。

但我們的俄文根基，相當淺薄，要擔任這書的翻譯工作，是有困

難的。可是大家的情緒非常高，就決定了以集體的力量，用合譯互校的辦法來進行，並且獲得了俄文教研室王明德、張錦文同志的參加，工作就很快地展開。在教學改革的實踐中，同志們經過五個多月的共同努力，不斷的克服困難，終於完成了這本譯本，並且通過這一工作，鞏固和擴展了我們已有的俄文基礎，從而進一步地貫徹向蘇聯學習的精神。

由於我們俄文程度的薄弱，且對於這門新課程的業務知識也還不夠，所以翻譯中錯誤和不妥的地方，在所難免，請讀者多多加以指正！原書有若干錯誤的地方，我們也試加改正，不過如有遺漏或改得不對的地方，亦請不吝賜教！

沈尙賢

1953年9月於交通大學

原 書 序

近代技術的發展，是以各種電流換變器和自動設備的廣泛運用為基礎，其中工業電子學的設備佔據顯著的地位。

尤其在蘇聯工業中，工業電子學的先進作用，使得在電氣設備的設計和操作方面工作的工程技術幹部中，提出了廣泛普及電子學領域知識的最大要求。

這就是編定本教材的原因。同時，本書是根據作者在哈爾科夫列寧工業大學電工系講授“工業電子學”的講義擴充而成。

作者的主要任務是：為大學生和工程技術工作者們編訂一種工業電子學的教材，而該教材同時適合於工業和動力高等學校在使用工業電子學中器材的課程設計和畢業論文設計問題時的要求。

工程科學博士爾·耳·阿洛諾夫(Р.Л. Аронов)教授在編輯本書時給與很多寶貴指示，奧·阿·哥契連柯(О.А. Кучеренко)工程師在整理原稿時給予的莫大幫助，哈爾科夫列寧工業大學電工系主任德·符·斯托路洛夫(Д.В. Столяров)副教授對本書出版的協助，作者在此表示衷心的感謝。

阿·阿·希加列夫(А.А. Жигарев)的細心校閱文稿，作者亦致以謝意。

作者。

目 錄

緒論.....	1-11
---------	------

第 一 編

電 路 元 件

第 一 章 電子學的物理基礎.....	13-24
---------------------	-------

1-1 電子和原子.....	13	1-5 金屬的光譜特性.....	22
1-2 自由電子在電場中的運動.....	15	1-6 二次發射.....	23
1-3 熱電發射.....	16	1-7 高電場發射.....	24
1-4 光電發射.....	20		

第 二 章 電子管.....	25-40
----------------	-------

2-1 二極管.....	25	2-5 三極管的參數.....	32
2-2 二極管的特性和參數.....	26	2-6 三極管的工作特性.....	34
2-3 三極管・構造和運用原理.....	29	2-7 多極電子管.....	36
2-4 三極管的特性曲線.....	31	2-8 束射管.....	39

第 三 章 氣體放電管.....	41-74
------------------	-------

3-1 充氣熱電二極管・構造和 運用原理.....	41	3-8 屏蔽開流管.....	59
3-2 氣體微粒的游離和激勵.....	42	3-9 水銀整流管.....	61
3-3 氣體放電管極際空間的過 程.....	45	3-10 玻璃的水銀整流管.....	61
3-4 充氣熱電二極管的特性.....	50	3-11 水銀整流管電弧中的物理 過程.....	63
3-5 開流管・構造和運用原理.....	53	3-12 多陽極金屬的水銀整流器.....	65
3-6 開流管的物理過程.....	55	3-13 引燃管・運用原理和構造.....	67
3-7 開流管起動特性.....	56	3-14 引燃極的工作.....	70
		3-15 單陽極水銀整流管.....	72

第四章 光電元件..... 75-85

4-1 光電元件的類型和構造..... 75

4-2 利用二次電子發射的光電

流的放大作用..... 79

4-3 具有變晶層的光電元件..... 82

第五章 輝光放電管..... 86-90

5-1 極際空間中的放電過程..... 86

5-2 氣體放電的穩壓管..... 88

5-3 氣體放電管..... 90

第六章 穩流管·半導體整流元件·半導體放大元件..... 91-109

6-1 穩流管..... 91

6-2 半導體整流元件..... 92

6-3 半導體放大元件..... 103

第 二 編

主要電路中元件的組合

第七章 交流電的整流..... 111-191

7-1 電的整流元件的分類..... 111

7-2 用第一類整流元件的整流
電路..... 113

7-3 用第二類整流元件的單相
整流電路..... 119

7-4 負載電路中具有電阻和電
感的單相不控和可控整
流器..... 122

7-5 負載電路中具有電阻和電
容的單相不控和可控整
流器..... 128

7-6 負載電路中具有電阻和反
電勢的單相不控和可控
整流器..... 134

7-7 負載電路中具有電感和反

電勢的單相不控和可控
整流器..... 137

7-8 多相半波整流電路..... 140

7-9 多相全波整流電路..... 142

7-10 m-相不控和可控整流器
電路內電流和電壓的相
互關係..... 145

7-11 複式半波和全波整流電路..... 157

7-12 供電於整流器的變壓器的
工作..... 162

7-13 整流器設備的功率因數..... 169

7-14 整流電壓的脈動..... 171

7-15 枚紋濾波器..... 183

7-16 枚紋扼流圈..... 185

7-17 L-型濾波器..... 186

7-18 II-型和 T-型濾波器	188
-------------------------	-----

7-19 諧振濾波器	190
------------------	-----

第八章 整流器柵極控制的方法和電路

8-1 利用柵極的電壓調整方法	192
8-2 在直流的陽極和柵極電壓 下的開流管控制電路	195
8-3 在直流柵極電壓和交變陽 極電壓下的開流管控制 電路	196
8-4 利用同步換向器的控制電 路	197

8-5 用橋接移相器的開流管控 制電路	199
8-6 用變阻移相器的 m- 相整 流器控制電路	203
8-7 用感應移相器的 m- 相整 流器控制電路	204
8-8 控制多相整流器的脈衝電 路	205

第九章 直流到交流的換變

9-1 用電容換向器的單相逆換 流器	211
-----------------------------	-----

9-2 在交流電路中用他激電源 的多相逆換流器	218
----------------------------------	-----

第十章 直流和交流放大器

10-1 放大的類別	223
10-2 放大器的功率和效率	227
10-3 直流放大器	233
10-4 阻容耦合交流放大器	235

10-5 感容耦合交流放大器	238
10-6 變壓器耦合交流放大器	240
10-7 變壓器耦合推挽式放大器	245

第十一章 電振盪發生器

11-1 電子振盪器	250
11-2 電子管振盪器的振盪方式	255
11-3 自激電子管振盪器	263
11-4 振盪器自激的條件	265

11-5 他激的電子管振盪器	268
11-6 電振盪的調變	270
11-7 弛張振盪發生器	276
11-8 阻容型正弦波振盪器	283

第十二章 引燃管引燃的基本電路

12-1 對於引燃電路的要求和電 路的類型	287
12-2 用引燃整流元件的電路	288
12-3 具有續流變壓器和飽和扼 流圈的引燃電路	296

12-4 諧振鐵心扼流圈引燃電 路	300
12-5 電容器引燃電路	102

12-6 多相引燃管整流器的引燃

電路..... 305

第 三 編

複 雜 的 電 子 設 備

第十三章 電子和離子調整器..... 309-322

- | | | | |
|------------------|-----|------------------|-----|
| 13-1 交流發電機的電壓調整器 | 309 | 器..... | 316 |
| 13-2 高頻率發電機的電壓調整 | | 13-3 直流發電機的電壓調整器 | 319 |

第十四章 電子和離子繼電器..... 323-344

- | | | | |
|--------------------------|-----|------------------------|-----|
| 14-1 交流電壓繼電器..... | 323 | 14-5 用輝光放電管的定時繼電器..... | 334 |
| 14-2 用輝光放電管的直流電壓繼電器..... | 326 | 14-6 阻抗繼電器..... | 335 |
| 14-3 電子定時繼電器..... | 327 | 14-7 用電子管的光電繼電器..... | 339 |
| 14-4 用開流管的定時繼電器..... | 333 | 14-8 用開流管的光電繼電器..... | 342 |

第十五章 直流和交流電動機的離子-電子控制..... 345-378

- | | | | |
|---------------------------|-----|------------------------------------|-----|
| 15-1 離子-電子拖動的特性和使用範圍..... | 345 | 15-6 強力離子拖動..... | 364 |
| 15-2 離子拖動的主要電路..... | 346 | 15-7 用離子變頻器的異步電動機速度調整..... | 368 |
| 15-3 電子拖動的控制電路..... | 352 | 15-8 用離子可控整流器和串聯變壓器的異步電動機速度調整..... | 376 |
| 15-4 自動化的離子拖動..... | 355 | | |
| 15-5 跟蹤的離子拖動..... | 362 | | |

第十六章 電子和離子管在工業電熱中的應用..... 379-387

- | | | | |
|----------------------|-----|---------------------|-----|
| 16-1 工業電熱中高頻振盪器..... | 379 | 頻設備..... | 382 |
| 16-2 供硬化和熔化石金屬用的高 - | | 16-3 電焊用的離子控制器..... | 385 |

第十七章 量計儀器..... 388-407

- | | | | |
|--------------------|-----|---------------------|-----|
| 17-1 電子電壓計..... | 388 | 17-4 電子射線的控制..... | 398 |
| 17-2 補償式電子電壓計..... | 392 | 17-5 波形圖的掃描..... | 402 |
| 17-3 電子示波器..... | 395 | 17-6 電子頻率計和轉速計..... | 405 |

第十八章	檢查和觀察用的電子-射線儀器	408-417
18-1	α -射線機	408
18-2	α -射線機的電路	410
18-3	電子顯微鏡	412
參考文獻		419-428
索引		429-438

緒 論

工業電子學的任務及其發展簡史

近代電子學是研究所謂電子和離子管的作用原理和工程應用的發展着的科學。這些電子和離子管是基於真空和稀薄氣體中的放電現象。

工業電子學包括了電子和離子管在各種各樣目的上的應用：整流和變流、檢驗、自動化、技術過程的控制、拖動和機械的控制。工業電子學在工業和技術部門中得到了日新月異的應用。

藉助於工業電子學，改革了很多技術領域，提高了各種機械和機床的工作速度，擴大了電氣拖動控制的範圍，創造了新的工藝和改善了勞動條件。

在蘇聯，工業電子學進一步廣泛推廣和發展，是具有特別輝煌的遠景；在那裏正以空前未有的速度和規模，實施着新的技術。社會主義的計劃經濟為電子學在自動化設備中的應用，開闢了最廣闊的可能性。

由於直接利用在無線電技術中使用的真空管，工業電子學已達到相當大的成就。可是後來工業電子學遠遠超出了在無線電技術方面管件和設備的使用範圍，而在獨立的科學研究工作中佔了顯著的地位。

現在幾乎所有使用電子和離子管的技術部門，都開闢了進一步發展技術的道路。電子電路使我們能靈活地控制和操縱各種各樣

的生產過程。

自動化的電氣拖動在工程方面得到了廣泛地運用。所謂離子拖動已成為最完善的用連續控制的電氣拖動技術中的一種。

控制金屬切削機床的割刀、壓輾機機構和其他設備的拖動的電子-離子電路開始愈來愈廣泛地應用着。蘇聯科學院(АН СССР)自動裝置和遠距操縱研究所研究出的祖國的離子拖動技術，比美國所制定的類似拖動技術，擁有一系列的優點。斯大林獎金獲得者特·恩·索柯洛夫(Т.Н. Соколов)在做模式銑床的離子-電子控制方面作了偉大的貢獻。這類祖國的銑床，在精確度和速度方面，成為最完善的機床。

祖國工業同時出產了以光電電路控制的做模式銑床，這係蘇聯符·斯·維赫曼(В.С. Вихман)首先建議的。在這些機床上加工的零件，係依據規定的圖樣自動地進行。

企業和電氣鐵道的直流電源供給問題，基本上都與應用強力的離子整流器有關。

由於應用大功率離子整流器的結果，在電氣冶金和電氣化學範圍內已獲得巨大的成就。蘇聯科學家斯大林獎金獲得者符·普·伏洛格金(В.П. Вологдин)和葛·伊·巴巴特(Г.И. Бабат)的著作，為用高頻電流的新的金屬電熱處理工藝打下了基礎。這高頻電流得自電子振盪器。

最近十年內，新的最為完善的儀器，如電子與離子調整器，電子與離子繼電器等等，豐富了電氣自動技術。在量計技術中，最精確的量計，時常與電子和離子儀器的量計電路的運用有關。

工業電子技術是以空前的速度發展着。

很難指出，在別的任何實用科學方面，曾經在這樣比較短的時期內，有過這樣的發展。1895年5月7日，亞歷山大·斯切潘諾維契·波波夫在俄羅斯物理化學協會的會議上，公開表演世界第一才有的無線電收訊機。這發明不但實現了通訊工具的改革，而且在電子學的發展中，給予很大的推動。

發明電子與離子管最主要的先決條件，為1873年俄羅斯科學家阿·恩·洛賓庚(А.Н. Лодыгин)首先在世界上發明了電燈。關於這方面，愛迪生在1881年發現了電流能夠從灼熱的燈絲通過真空到達燈內的金屬板，該金屬板後來稱為陽極。以後這現象獲得了解釋，這是燈絲發射帶有負電荷的電子微粒的一種現象。

控制灼熱物體發射電子過程的一般定律，在那時首先由俄羅斯物理學家阿·葛·斯托列托夫(А.Г. Столетов)給予定論。

用灼熱燈絲的電子發射，和電流經真空通過等現象，在1904年利用於最簡單的電子管——二極管中，作為無線電通訊中收訊機內的檢波管之用。

這二極管是一個具有金屬圓筒包圍着炭絲的真空泡，這是第一個可作為電波整流用的電子管。

1907年在二極管的極際間加上有如細絲網柵的第三極時，電子整流元件開始進一步的改善。藉助於這個柵極，通過真空的電流可在很寬的範圍內調節，直到使真空管內電流完全截止為止。這個新的三極管是電子學領域中最重要的發明之一。

在1911年提出了三極管不僅可作檢波器用，而且可用作交流放大器。而在1913年也發現三極電子管能夠作為電的振盪發生器之用。

由於上述三極管的特性，三極管的應用引起了無線電技術和工業電子學強烈的發展。

1912-1913 年符·伊·柯伐連柯夫⁽¹⁾(В.И. Коваленков)製造了俄羅斯第一個實驗室用的電子管。

卓越的科學家姆·阿·龐契-勃羅葉維契(М.А. Бонч-Бруевич)和恩·德·派派列克西⁽²⁾(Н.Д. Папалекси)在 1914 年研究和製造了俄羅斯工業用的電子管。

十月社會主義革命後，由於列寧和斯大林的關懷、支持，姆·阿·龐契-勃羅葉維契在無線電廣播和電子技術方面作了寶貴的貢獻。

設計具有水冷銅質陽極的功率電子管的理想，世界上首先在蘇聯由姆·阿·龐契-勃羅葉維契的領導下於 1919 年實現。這個設計成為功率電子管和離子管的基本型式。這種新型管在許多國家製造，而在無線電技術和工業電子學中被廣泛地利用着。在這一時期，姆·阿·龐契-勃羅葉維契不依靠歐美科學家而研究出電子管工作的理論。

蘇聯科學家阿·阿·契爾諾雪夫(А.А. Чернышев)在 1918 年發明了間接加熱陰極，是設計功率整流元件領域中另一重要的發明。這種熱陰極的工作壽命較長，能供給相當大的電流，因而成為電子學中廣泛使用的熱陰極最流行的型式。

發生在電子管內由電子流產生的並與空間電荷相關的重要物理過程的分析，曾經由蘭米阿(Langmuir)作出近似決定。但是這理論並不能用以解決各式電子管的各種各樣的工作情況。

在蘇聯科學家恩·阿·卡普卓夫(Н.А. Капцов)、斯·符·別柳

(1) 1941 年斯大林獎金獲得者

(2) 1942 年斯大林獎金獲得者

斯金(С.В. Беллюстин)、斯·德·葛伏茲陀魏爾(С.Д. Гвоздовер)等的著作中,以精確的數學,提出關於真空內電子運動問題最完善的多面性的解答。

在1910-1912年以前,轉動機在工業方面幾乎是唯一的從交流變換為直流的換變器,而只在微弱電流的範圍內,才用電子管。工業方面需要強力的不轉動的換變器的條件,是很早就成熟的。在1901年第一次製造的具有水銀陰極的離子管——水銀整流管,是最早而有代表性的強力整流元件。

電弧放電發明後,才能創造強力離子管。電弧放電是俄羅斯科學家符·符·彼德洛夫(В.В. Петров)在1802年首先發明。在彼德洛夫教授一次實驗中,證明了兩根炭精棒與電池接通並放在抽氣機的罩子下以後,炭精極即使沒有接觸,但其間亦會發生電弧。

電弧在水銀蒸汽中放電的情況,必需具有類似的條件。

在研究水銀電弧單向導電作用的工作發表以後,水銀整流管就製造成功了。

在蘇聯,最早的玻璃式水銀整流管係符·普·伏洛格金教授在1921年製造的,而最早的金屬式水銀整流管是在符·克·克拉比文(В.К. Крапивин)工程師指導之下,於1924年製造成功。

在斯大林的幾個五年計劃的年代中,蘇聯在整流管製造的領域中取得了很大的成績;水銀整流管的生產不斷地和迅速地提高和日趨完善。

金屬的水銀整流管的用途,主要是在鋁、鋅和其他金屬生產方面,在電氣化運輸牽引分站方面,和在各種工業企業的強力整流裝備及其他方面。玻璃的整流管在蘇聯煤礦工業中礦井電氣機車的供

電方面，有廣泛的應用。又同時可作為各種各樣用途的小型和中型的整流器。

當水銀整流管引入了一個控制柵，它的用途更為擴張。有了控制柵便能控制每一個陽極發生放電的開始。柵控制的方法第一次在 1913 年提出，而用柵來控制整流器輸出電流的實際上應用，實現較遲。在 1922 年提出了更新的控制整流電壓平均值的方法，這是用柵極和陽極電壓間的相移關係來實現。

俄羅斯和蘇聯的科學家對整流機構的理論和計算問題，起着先導作用。在最近三十年的過程內，蘇聯專家們探討和研究了一系列整流和逆換流的電路。

遠在 1912 年，恩·德·派派列克西院士的著作，研討了整流設備的分析和計算法，而成為經典著作，到現在仍然不減其意義。

1924 年德國發表了在整流設備內重要的電流與電壓的相互關係的作品。該作品在此後的很多年中，都認為是世界文獻中的一種經典著作。但是蘇聯科學家們研究了整流器把交流變直流的電磁變化過程以後，揭露了這著作中一連串的主要錯誤。

姆·普·柯斯簡柯 (М.П. Костенко) 院士和耳·爾·聶依曼 (Л.Р. Нейман) 教授在衛國戰爭中寫的作品，是世界文獻中不可匹敵的最偉大的貢獻。在這篇研究報告中，以分析方法指出了在整流器陽極電路內轉換輸入端全部自感量的假定中的不可容許的理論上錯誤（這作品是根據德國科學家發表的理論而批評的）。

姆·普·柯斯簡柯和耳·爾·聶依曼指出一種科學方法，去準確地計算正常的和過負載的狀態，和水銀整流器短路的狀態，而且同時解決了以數字計算陰極電路終端自感量對整流器功率的影響