

# 电 的 自动调节系統

上 册

A. A. 費立德包伍姆著



國防工業出版社

73.823

624

1-1

# 电 的 自 动 调 节 系 统

上 册

A. A. 費立德包伍姆著

章燕申、金兰譯

鍾士模校



國 庫 105 號 12 號 行

## 內 容 簡 介

本書介紹了電的自動調節裝置的一般原理。探討了各種綫路圖，理論和各種計算的方法。

在本書中所介紹的所有裝置與綫路圖都是電動的，但是對於任何系統（電動的、液壓的、氣動的以及其他類型的系統）來說，各種計算以及研究的方法都是共同的。

本書材料的排列適合於工學院高年級學生在學習電的自動調節系統時使用。

本書對自動調節理論問題有關的生產人員設計師和工程師以及自動學專業的研究生也頗為有益。

А. А. Фельдбаум  
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ  
АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ  
Государственное  
издательство оборонной промышленности  
Москва 1957

本書系根據蘇聯國防工業出版社  
一九五七年俄文版譯出

## 電的自動調節系統

[蘇] А. А. 費立德包伍姆著  
章燕申，金 蘭譯 鍾士模校

\*

國防工業出版社 出版

北京市書刊出版業營業許可証出字第 074 號  
機械工業出版社印刷廠印刷 新華書店發行

\*

580×1168<sup>1</sup>/<sub>32</sub>×14<sup>3</sup>/<sub>8</sub>印張·369,000字

一九五八年十月第一版

一九五八年十月北京第一次印刷

印數：0,001—4,000冊 定價：(10)2.60元

NO. 2073

## 第二版序言

和第一版比較起来，第二版只作了少許的修改。在有些地方作了少許的刪減或增添。此外，增添了第十二章 § 5 整整一节和簡短的結論。

对某些不确切和印錯的地方也都作了更正。在整理第二版时，考虑了苏联科学院通訊院士 В. Н. 彼得罗夫 (Петров) 在評审本書第一版时所提出的一些意見 (这一書評刊于 “Автоматика и телемеханика” 杂志 1956 年第 3 期上)。作者很感謝技术科学博士 Г. С. 波斯別洛夫 (Поспелов)，因为他担任了审閱本書第二版的工作，并提出了許多有益的意見。

作者

## 第一版序言

本書的基本用途是作为电的自动調节系統这一課程的教材。書中所討論的全是电的装置与綫路。但其中的一部分是用来檢驗和調节非电量的,至于計算和研究的方法,則对于各种系統(电的、液压的、气动的等)來說都是共同的。在本書中,不止一次地提到自动調节理論在方法上的这种共同性。

本書着重于討論自动装置和綫路的一般原理,它們的理論与計算方法,因为討論具体的构造和具体的系統是專門課程的任务,那种專門課程应当在本課程之后講授。

本書材料是这样排列的,使得在不同的講課时数和不同的难易程度的情况下,講授本課时都能用這本書作为教材。例如,第一到第四章是一个比較小的引論,是討論电的自动調节系統的原理及其装置。加上了第五章就变成較大的一門課程,因为在第五章中討論了研究系統稳定問題的一些方法。如果再加上第六和第七章,就得到更大的一門課程,其中討論了算子和研究稳定問題的頻率方法。第八章是研究調节質量的頻率方法,第九章是根分布法与积分法。在第十章中討論了滯后系統,不連續調节系統及有調幅的系統。第十一章是研究非綫性系統的方法。第十二章是自动調节系統模拟方法的初步知識。第十三章是一些統計性的研究方法。第十四章主要是討論系統的綜合問題。

在講授全課时,最好能遵照本書的次序。实际上,在講授后面的章节时,需要用到前面各章中的材料。此外,材料的难易程度大致上也和叙述的次序相同,由淺入深。本書总起來說对工程师是适合的,而且对于研究生的課程也是同样适合的。

为了容易理解起見,在書中有些地方介紹了必要的数学知識,这是为了理解那些章节所必需的。这兒所介紹的数学知識絕對不

是很严格的。在附录中，有正文中省略的某些定理的证明。此外，有些小节用小号字排印，在讲课时数较少时，这些小节可以略去，即可直接利用这些小节中所得到的结论和公式，而不加证明。

本书包括了1952年以前的很多研究结果。1952年以后的文献与研究结果，则在本书的第一版中大多数未能列入。

A. M. 加里宁副教授所记的作者讲课笔记对于本书的编写帮助很大，作者向他表示谢意。作者也很感谢 Л. С. 哥尔德法尔白教授和 A. C. 沙达洛夫教授，他们在审查与校阅手稿时提供了宝贵的意见。

由于叙述的材料数量很大，本课的很多章节又很新颖，而且还缺乏确定的叙述这些材料的方法，因此在本书中，不可避免的有不少缺点和错误。

作者希望读者提出关于本书缺点的意见，意见请寄 Москва, И-51, Петровка, 24, Оборонгиз。

作者

## 上册目录

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| 第二版序言 .....                   | 5   |
| 第一版序言 .....                   | 6   |
| 第一章 引論 .....                  | 9   |
| § 1. 建立自动調节系統的原則 .....        | 9   |
| § 2. 自动調节理論中的基本概念 .....       | 17  |
| § 3. 自动調节系統与理論的發展簡史 .....     | 27  |
| 第二章 电的自动調节系統的元件 .....         | 33  |
| § 1. 測量器 .....                | 33  |
| § 2. 控制器 .....                | 60  |
| § 3. 执行器 .....                | 84  |
| 第三章 自动調节系統的綫路 .....           | 90  |
| § 1. 电压調节器 .....              | 90  |
| § 2. 溫度調节器 .....              | 94  |
| § 3. 速度調节器 .....              | 98  |
| § 4. 位置調节器 .....              | 103 |
| § 5. 方向調节器 .....              | 109 |
| 第四章 自动調节系統的方程式与結構圖 .....      | 114 |
| § 1. 基本的环节 .....              | 114 |
| § 2. 自动調节系統中各种环节的例子 .....     | 120 |
| § 3. 自动調节系統各种方程式与結構圖的例子 ..... | 128 |
| § 4. 有差和无差系統中的穩定誤差 .....      | 143 |
| 第五章 自动調节系統的穩定問題 .....         | 147 |
| § 1. 特性方程式的根和穩定性 .....        | 147 |
| § 2. 穩定的条件 .....              | 149 |
| § 3. 穩定性与穩定誤差 .....           | 158 |
| § 4. 穩定区 .....                | 161 |

00870

|                                    |     |
|------------------------------------|-----|
| 第六章 运算微积分学在自动调节系统中的应用 .....        | 167 |
| § 1. 算子的概念 .....                   | 167 |
| § 2. 运算微积分学中的基本定理 .....            | 173 |
| § 3. 自动调节各个系统及环节的算子 .....          | 182 |
| § 4. 起始条件与稳定值 .....                | 192 |
| § 5. 环节和系统的特性 .....                | 200 |
| § 6. 附加联系 .....                    | 207 |
| 第七章 研究稳定问题的频率方法 .....              | 226 |
| § 1. 米哈依洛夫准则 .....                 | 226 |
| § 2. 纳克维斯特准则 .....                 | 232 |
| § 3. 系统的镇定与频率特性 .....              | 244 |
| § 4. $D$ -划分 .....                 | 254 |
| § 5. 结构上的稳定性 .....                 | 270 |
| 第八章 利用频率特性研究自动调节系统中的过渡过程 .....     | 274 |
| § 1. 闭环调节系统的频率特性 .....             | 274 |
| § 2. 利用频率特性来评价过渡过程 .....           | 286 |
| § 3. 闭环线路振幅特性与断开线路幅-相特性之间的关系 ..... | 291 |
| § 4. 附加联系对调节品质的影响 .....            | 296 |
| § 5. 对数式频率特性 .....                 | 307 |
| § 6. 最小相位的系统 .....                 | 311 |
| 第九章 研究过渡过程的间接方法 .....              | 320 |
| § 1. 问题的提法 .....                   | 320 |
| § 2. 间接研究方法的综述 .....               | 330 |
| § 3. 根分布法 .....                    | 338 |
| § 4. 利用根分布准则进行过渡过程的评价 .....        | 352 |
| § 5. 积分方法 .....                    | 375 |
| § 6. 利用积分准则对过渡过程的评价 .....          | 395 |
| § 7. 利用概括积分准则的计算方法 .....           | 412 |
| § 8. 参数的改变对过渡过程的影响; 相空间法 .....     | 426 |
| 附录 (某些定理及公式的证明及推导) .....           | 434 |

73.823  
624  
1-1

# 电 的 自 动 調 节 系 統

上 册

A. A. 費立德包伍姆著

章燕申、金兰譯

鍾士模校



國 民 出 版 社 經 行

## 內容簡介

本書介紹了電的自動調節裝置的一般原理。探討了各種線路圖，理論和各種計算的方法。

在本書中所介紹的所有裝置與線路圖都是電動的，但是對於任何系統（電動的、液壓的、氣動的以及其他類型的系統）來說，各種計算以及研究的方法都是共同的。

本書材料的排列適合於工學院高年級學生在學習電的自動調節系統時使用。

本書對自動調節理論問題有關的生產人員設計師和工程師以及自動學專業的研究生也頗為有益。

А. А. Фельдбаум  
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ  
АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ  
Государственное  
издательство оборонной промышленности  
Москва 1957

本書系根據蘇聯國防工業出版社  
一九五七年俄文版譯出

## 電的自動調節系統

[蘇] А. А. 費立德包伍姆著  
章燕申、金 蘭譯 鍾士模校

\*

國防工業出版社 出版

北京市書刊出版業營業許可証出字第 074 號  
機械工業出版社印刷廠印刷 新華書店發行

\*

580×1168<sup>1</sup>/<sub>32</sub>×14<sup>3</sup>/<sub>8</sub>印張·369,000字

一九五八年十月第一版

一九五八年十月北京第一次印刷

印數：0,001—4,000冊 定價：(10)2.60元

NO. 2073

## 上册目录

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| 第二版序言 .....                   | 5   |
| 第一版序言 .....                   | 6   |
| 第一章 引論 .....                  | 9   |
| § 1. 建立自动調节系統的原則 .....        | 9   |
| § 2. 自动調节理論中的基本概念 .....       | 17  |
| § 3. 自动調节系統与理論的發展簡史 .....     | 27  |
| 第二章 电的自动調节系統的元件 .....         | 33  |
| § 1. 測量器 .....                | 33  |
| § 2. 控制器 .....                | 60  |
| § 3. 执行器 .....                | 84  |
| 第三章 自动調节系統的綫路 .....           | 90  |
| § 1. 电压調节器 .....              | 90  |
| § 2. 溫度調节器 .....              | 94  |
| § 3. 速度調节器 .....              | 98  |
| § 4. 位置調节器 .....              | 103 |
| § 5. 方向調节器 .....              | 109 |
| 第四章 自动調节系統的方程式与結構圖 .....      | 114 |
| § 1. 基本的环节 .....              | 114 |
| § 2. 自动調节系統中各种环节的例子 .....     | 120 |
| § 3. 自动調节系統各种方程式与結構圖的例子 ..... | 128 |
| § 4. 有差和无差系統中的穩定誤差 .....      | 143 |
| 第五章 自动調节系統的穩定問題 .....         | 147 |
| § 1. 特性方程式的根和穩定性 .....        | 147 |
| § 2. 穩定的条件 .....              | 149 |
| § 3. 穩定性与穩定誤差 .....           | 158 |
| § 4. 穩定区 .....                | 161 |

00870

|                                    |     |
|------------------------------------|-----|
| 第六章 运算微积分学在自动调节系统中的应用 .....        | 167 |
| § 1. 算子的概念 .....                   | 167 |
| § 2. 运算微积分学中的基本定理 .....            | 173 |
| § 3. 自动调节各个系统及环节的算子 .....          | 182 |
| § 4. 起始条件与稳定值 .....                | 192 |
| § 5. 环节和系统的特性 .....                | 200 |
| § 6. 附加联系 .....                    | 207 |
| 第七章 研究稳定问题的频率方法 .....              | 226 |
| § 1. 米哈依洛夫准则 .....                 | 226 |
| § 2. 纳克维斯特准则 .....                 | 232 |
| § 3. 系统的镇定与频率特性 .....              | 244 |
| § 4. $D$ -划分 .....                 | 254 |
| § 5. 结构上的稳定性 .....                 | 270 |
| 第八章 利用频率特性研究自动调节系统中的过渡过程 .....     | 274 |
| § 1. 闭合调节系统的频率特性 .....             | 274 |
| § 2. 利用频率特性来评价过渡过程 .....           | 286 |
| § 3. 闭合线路振幅特性与断开线路幅-相特性之间的关系 ..... | 291 |
| § 4. 附加联系对调节品质的影响 .....            | 296 |
| § 5. 对数式频率特性 .....                 | 307 |
| § 6. 最小相位的系统 .....                 | 311 |
| 第九章 研究过渡过程的间接方法 .....              | 320 |
| § 1. 问题的提法 .....                   | 320 |
| § 2. 间接研究方法的综述 .....               | 330 |
| § 3. 根分布法 .....                    | 338 |
| § 4. 利用根分布准则进行过渡过程的评价 .....        | 352 |
| § 5. 积分方法 .....                    | 375 |
| § 6. 利用积分准则对过渡过程的评价 .....          | 395 |
| § 7. 利用概括积分准则的计算方法 .....           | 412 |
| § 8. 参数的改变对过渡过程的影响; 相空间法 .....     | 426 |
| 附录 (某些定理及公式的证明及推导) .....           | 434 |

## 第二版序言

和第一版比較起来，第二版只作了少許的修改。在有些地方作了少許的刪減或增添。此外，增添了第十二章 § 5 整整一節和簡短的結論。

对某些不确切和印錯的地方也都作了更正。在整理第二版时，考虑了苏联科学院通訊院士 В. Н. 彼得罗夫 (Петров) 在評审本書第一版时所提出的一些意見 (这一書評刊于 “Автоматика и телемеханика” 杂志 1956 年第 3 期上)。作者很感謝技术科学博士 Г. С. 波斯別洛夫 (Поспелов)，因为他担任了审閱本書第二版的工作，并提出了許多有益的意見。

作者

## 第一版序言

本書的基本用途是作为电的自动調节系統这一課程的教材。書中所討論的全是电的装置与綫路。但其中的一部分是用来檢驗和調节非电量的,至于計算和研究的方法,則对于各种系統(电的、液压的、气动的等)來說都是共同的。在本書中,不止一次地提到自动調节理論在方法上的这种共同性。

本書着重于討論自动装置和綫路的一般原理,它們的理論与計算方法,因为討論具体的构造和具体的系統是專門課程的任务,那种專門課程应当在本課程之后講授。

本書材料是这样排列的,使得在不同的講課时数和不同的难易程度的情况下,講授本課时都能用這本書作为教材。例如,第一到第四章是一个比較小的引論,是討論电的自动調节系統的原理及其装置。加上了第五章就变成較大的一門課程,因为在第五章中討論了研究系統稳定問題的一些方法。如果再加上第六和第七章,就得到更大的一門課程,其中討論了算子和研究稳定問題的頻率方法。第八章是研究調节質量的頻率方法,第九章是根分布法与积分法。在第十章中討論了滯后系統,不連續調节系統及有調幅的系統。第十一章是研究非綫性系統的方法。第十二章是自动調节系統模拟方法的初步知識。第十三章是一些統計性的研究方法。第十四章主要是討論系統的綜合問題。

在講授全課时,最好能遵照本書的次序。实际上,在講授后面的章节时,需要用到前面各章中的材料。此外,材料的难易程度大致上也和叙述的次序相同,由淺入深。本書总起來說对工程师是适合的,而且对于研究生的課程也是同样适合的。

为了容易理解起見,在書中有些地方介紹了必要的数学知識,这是为了理解那些章节所必需的。这兒所介紹的数学知識絕對不

是很严格的。在附录中，有正文中省略的某些定理的证明。此外，有些小节用小号字排印，在講课时数較少时，这些小节可以略去，即可直接利用这些小节中所得到的結論和公式，而不加证明。

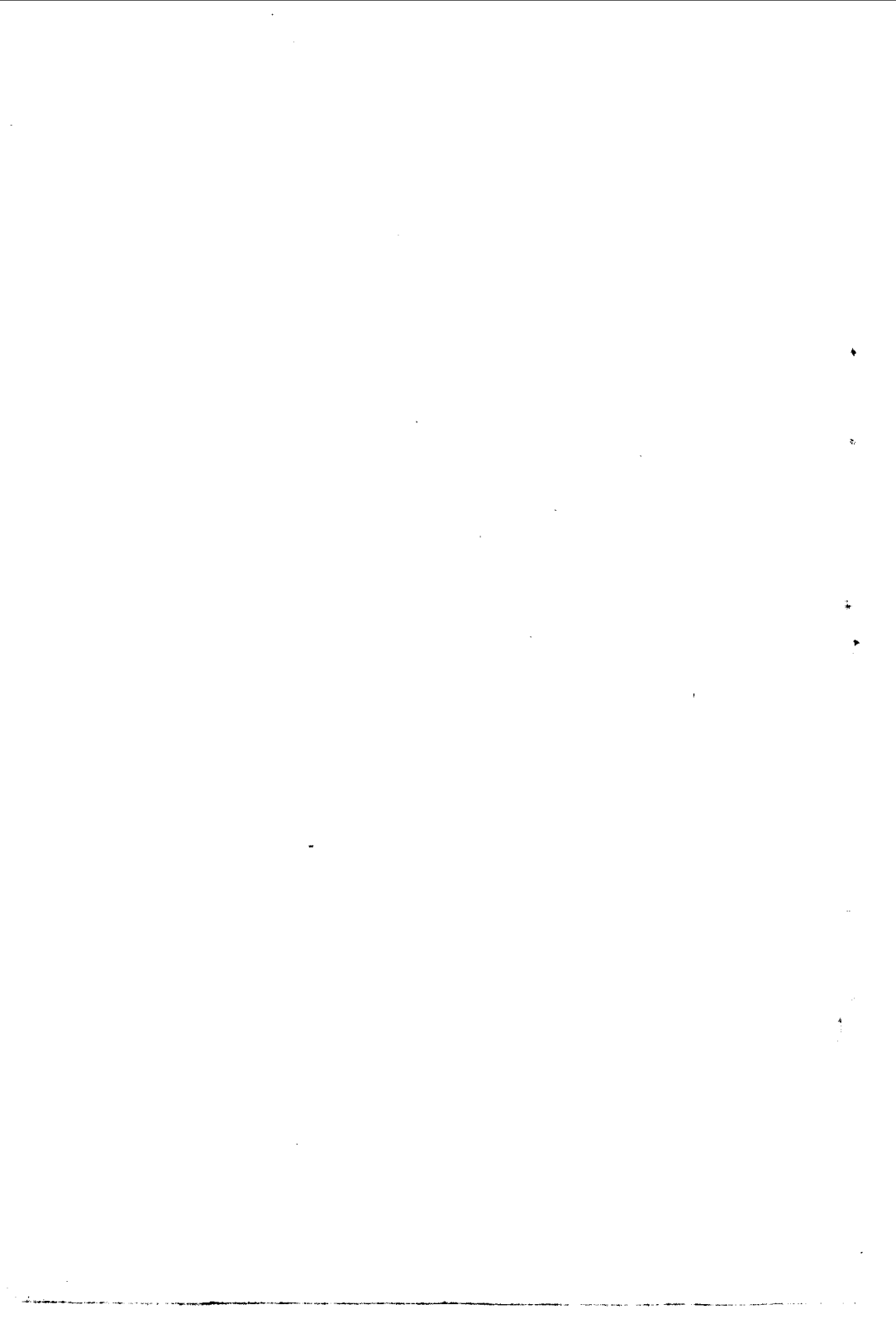
本書包括了1952年以前的很多研究結果。1952年以后的文献与研究結果，則在本書的第一版中大多数未能列入。

A. M. 加里宁副教授所記的作者講課筆記对于本書的編写帮助很大，作者向他表示謝意。作者也很感謝 Л. С. 哥尔 德 法尔白教授和 A. С. 沙达洛夫教授，他們在审查与校閱手稿时 提供了宝贵的意見。

由于叙述的材料数量很大，本課的很多章节又很新穎，而且还缺乏确定的叙述这些材料的方法，因此在本書中，不可避免的有不少缺点和錯誤。

作者希望讀者提出关于本書缺点的意見，意見請寄 Москва, И-51, Петровка, 24, Оборонгиз。

作者



# 第一章 引 論

## § 1 建立自动調節系統的原則

目前在工业、运输和军事方面广泛地采用着全自动或半自动的装置。各种过程自动化的必要性由下列因素来决定：提高生产率，提高运动的速度，增大机器的尺寸和提高机器的功率，提高加工精度和工艺过程本身的复杂化。

机器的发展必然达到这样一个限度，即人很难甚至不可能这样快和准确地来操纵机器的运动。现代化的轧钢机一年可以轧一百万吨钢。如果轧钢机的全部机构都用人工来操纵，那末当人在考虑应当进行哪一种动作时，机器就一定会发生间歇。经验表明，这种间歇可能达到工作时间的 20%，这就意味着一年要少轧二十万吨钢。

现代化的技术要求非常精确的操作，不能有主观的错误。例如，有一种磨床能够在几秒钟内就将零件加工完，并且加工精度达到 1 公忽 (0.001 公厘)。用人工来控制砂轮的走刀必然会造成很多废品；然而附加的机床控制装置则能保证操作的速度与精度，并且几乎没有废品。

在电网中发生事故时，必须立刻把被破坏的部分与整个电网系统相切开。延误一秒钟，甚至几分之一秒钟，就都可能造成严重的事故。但是人对于这种危险现象的反应速度是没有这样快的。因此，必须要有这样的控制装置，在需要切开时，很快地就做到这一点。

在控制现代化的大型发电站时，需要同时保持给定的发电机输出电压和频率（即透平轴的旋转速度）、蒸汽的压力与温度、锅炉中的水位等等。如果考虑到这些量互相有关系，并与各种外界