

机 器 的 线 性 自 动 调 整 系 统 动 力 学

苏联 Б.И. 布洛赫著

水 利 电 力 出 版 社

机 器 的 綫 性 自动調整系統动力学

苏联 3.III. 布洛赫著

吳文藻譯

謝緒愷校訂

水 利 电 力 出 版 社

內 容 提 要

本书主要討論具有集中参数的綫性調整系統的穩定性的古典的和現代的分析法，以及調整過程的品質的各種分析方法。

本书可作为从事于自动調整工作的技術人員和科學研究人員的參考書。

З.Ш.ВЛОХ

ДИНАМИКА ЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ МАШИН ГОСТЕХИЗДАТ МОСКВА 1952

機器的綫性自动調整系統动力学

根据苏联国立技术理論書籍出版社1952年莫斯科版翻譯

吳文藻譯 謝緒愷校訂

*

1254 Z 91

水利电力出版社出版（北京西郊科学路二里沟）

北京市书刊出版业營業許可証出字第105号

水利电力出版社印刷厂排印

新华书店科技发行所发行 各地新华书店經售

*

850×1168 $\frac{1}{32}$ 开本*16 $\frac{1}{16}$ 印張*424千字*定价(第10类)2.70元

1959年12月北京第1版

1959年12月北京第1次印刷(0001—3,220册)

卷 头 語

本書是 1950 年出版的“機器的調整”一書經過修改和作了許多補充後的再版，其中的第九、十一、十四、十五等章都是重新編著的，而第一、十二、十三和十六等章也作過重大的修改並添加了新的材料。

在現代所出版的機構和機器原理這一類的教科書中，對於機器的現代化調整理論的最重要部份並不講述。但是如果沒有充實的調整理論和機器的穩定性理論的學識，要想使自己成為熟練的設計或機械工程師，並且使自己具有最先進的科學水平，能在機器製造領域內解決自動化上的最重要問題（黨和政府所提出的一些決議），這完全是不能想像的。

在機器調整領域內工作的工程師和技術人員，對於現代化的電氣系統和電子系統的穩定性的分析法的研究和調整過程的品質的研究所已取得的最新成果是很少知道的。同時，由於在現代化的機器製造技術方面出現了新的調整對象（例如自動仿模機床、流水式的自動綫和自動工廠、噴氣式發動機等等）。它們對調整系統的要求不斷地增加，而計算這些調整對象是需要全部現代化的調整理論的成果的（不管這些成果是從那一個調整領域內得到的）。

現在調整理論已在順利地向前發展，而在這些研究中，繼承了 П.Л.契貝謝夫，И.А.維什涅格拉斯基、Н.Е.茹可夫斯基等所奠定的傳統的蘇聯調整理論學派是居于主導地位的。在現代的科學情況下，要把科學的全部發展方向包羅在一本書中是完全不可能的，何況還要對它作有系統的論述。有許多現代化的調整理論部分都是可以獨立成書的題材。例如斷續調整理論和調整理論的非綫性問題便是屬於這一類的。由於這些原因，上述題材就未列入本書中。在選擇本書所要論述的現代化的調整理論的材料時，特

別重視對於調整理論創始人 И. А. 維什涅格拉斯基所提出的基本方向的直接發展的工作。與此同時對於 П. П. 契貝謝夫的研究和 А. В. 米哈伊洛夫的工作也給予了詳細的論述。

本書第一章簡要地敘述在汽輪機、水輪機、噴氣式發動機、鼓風機和其他機器製造對象的現代化自動控制系統中所採用的各種調整系統^①。講述這些系統的目的是給今後在進行調整過程的品質和穩定性分析時所作的各種理論計算提供原始材料。同樣，在第二章內簡單論述了有關繪制和分析調整對象和調整器的敏感元件的靜特性的材料。第四章到第十五章是本書的主要內容，第五章到第九章是討論具有集中參數的綫性調整系統的穩定性的經典的和現代化的分析法，第十一章到第十五章是論述上述系統的調整過程品質的各種不同的分析法。本書和前版不同的地方是在分析調整過程的品質時，除了以前論述過的研究方法外，並在第十一章和第十五章內提出了應用拉普拉斯變換法和頻率特性法。所以本書對連續作用系統的古典的和現代的綫性自動調整理論基礎作了全面的論述，不過對於調整技術和調整機械問題本書未曾討論，因為這些是特殊的問題超出了本書的範圍。

3. III. 布洛赫

① 正文下面附註的參考資料對所討論的相應的系統有更詳細的論述。

目 录

緒 論	7
第一章 机器的自动調整系統	13
§ 1. 基本概念和定义	13
§ 2. 直接調整系統	16
§ 3. 非直接調整系統	18
§ 4. 具有硬性回饋的非直接調整系統	19
§ 5. 衡行調整系統	20
§ 6. 調整系統的骨架圖	22
第二章 靜特性	39
§ 7. 机器的靜特性	39
§ 8. 調整器敏感元件的平衡条件	43
§ 9. 平衡的角速度曲綫	45
§ 10. 角速度調整器的实际敏感元件的平衡方程式	47
§ 11. 压力調整器的敏感元件的平衡方程式	55
§ 12. 不灵敏度	57
§ 13. 敏感元件的特性	59
§ 14. 数字例题	60
第三章 根据契貝謝夫法計算不均衡度小的 調整器的敏感元件	66
§ 15. 問題的提出	66
§ 16. 契貝謝夫調整器的敏感元件的平衡方程式	70
§ 17. 契貝謝夫調整器的敏感元件的参数的計算	72
第四章 調整动力学的基本方程式	76
§ 18. 运动方程式的綫性化	76
§ 19. 敏感元件的运动方程式	78
§ 20. 机器的运动方程式	89
§ 21. 伺服馬达的运动方程式	96

§ 22. 帶有衡行器的伺服馬達的運動方程式	99
§ 23. 調整系統的典型方程式	102
第五章 調整系統的穩定性的分析	108
§ 24. 一階系統	108
§ 25. 二階系統	108
§ 26. 三階系統	111
§ 27. 拉烏斯-古爾維茨的一般的穩定准則	113
第六章 調整系統的參數對調整的過程的影響	120
§ 28. 調整器的參數對直接調整的過程的影響	120
§ 29. 維什涅格拉斯基圖	122
§ 30. 調整器的參數對非直接調整的過程的影響	124
第七章 米哈依洛夫穩定准則	134
§ 31. 幅角原則	134
§ 32. 米哈依洛夫穩定准則	136
§ 33. 特性曲線的繪制	138
§ 34. 穩定系統的特性曲線	142
§ 35. 不穩定的特征	152
§ 36. 穩定的調整系統的參數的選擇	154
§ 37. 結構上不穩定的回路	158
第八章 根據開環的調整回路的方程式分析穩定性	164
§ 38. 開環回路的方程式	164
§ 39. 穩定條件	170
§ 40. 開環回路中的振盪的變換	177
§ 41. 米哈依洛夫-奈卡維斯特穩定准則	180
§ 42. 幅相特性曲線的繪制	185
§ 43. 典型環節的幅相特性	187
§ 44. 單回路的幅相特性	195
§ 45. 具有微商主擾的環節的幅相特性	197
§ 46. 根據幅相特性分析穩定性	198
第九章 根據參數劃分穩定區域	207
§ 47. 根據一個參數劃分穩定區域	207
§ 48. 根據兩個參數劃分穩定區域	212

§ 49. 根据一个环节的两个参数来确定稳定区域	217
第十章 非周期稳定准则	223
§ 50. 二阶系统	223
§ 51. 維什涅格拉斯基条件	223
§ 52. 非周期稳定的一般准则	226
§ 53. 根据环节的特性进行分析	230
§ 54. 埃依列尔准则	232
§ 55. 斯圖姆方法的应用	233
第十一章 过渡过程	236
§ 56. 拉普拉斯变换	236
§ 57. 初始条件	241
§ 58. 过渡过程的繪制	255
§ 59. 系数的循环关系式	261
§ 60. 方程式的循环关系	270
第十二章 过渡过程的品質分析	272
§ 61. 前言	272
§ 62. 最簡單的系統中的調整品質的分析	274
§ 63. 調整品質的积分准则	290
§ 64. 自动調整系統的穩定度和振盪性	301
§ 65. 根的分佈区域的确定	314
§ 66. 超調整的循环关系	319
§ 67. 估計超調整的計算公式	326
第十三章 單調性, 不变号和無超調整等准则	341
§ 68. 單調性的必要標誌	341
§ 69. 具有單調性过渡过程的最簡單系統	350
§ 70. 具有复数根的三阶系統	353
§ 71. 三阶系統的計算例題	366
§ 72. 四阶的調整系統	374
§ 73. 單調的过渡过程的存在定理	378
§ 74. 單环系統的單調性的条件	408
§ 75. 無超調整的標誌	417
§ 76. 过渡过程的不变号的標誌	418

§ 77. 一般准則和充分条件	424
§ 78. 調整品質的評價	430
§ 79. 过渡过程的时间	439
第十四章 过渡过程曲綫的分佈区域的評定	443
§ 80. 过渡过程的上界和下界	443
§ 81. 有重根的特性方程式的过渡过程	445
§ 82. 过渡过程的評定	451
第十五章 分析調整品質的頻率法	457
§ 83. 过渡过程与其变换函数間的关系	457
§ 84. 閉环調整回路中的振盪的变换函数	458
§ 85. 根据頻率特性評定調整的品質	467
§ 86. 近似的評價	472
§ 87. 單調的过渡过程的調整时间	477
第十六章 为已知的調整对象決定調整器的参数	487
§ 88. 問題的提出	487
§ 89. 具有硬性回饋的系統	489
§ 90. 限制参数选择的特殊条件	494
§ 91. 具有非硬性回饋的系統	495
§ 92. 單調条件的保証	502
§ 93. 考虑超調整选择参数	507

卷 头 語

本書是 1950 年出版的“機器的調整”一書經過修改和作了許多補充後的再版，其中的第九、十一、十四、十五等章都是重新編著的，而第一、十二、十三和十六等章也作過重大的修改並添加了新的材料。

在現代所出版的機構和機器原理這一類的教科書中，對於機器的現代化調整理論的最重要部份並不講述。但是如果沒有充實的調整理論和機器的穩定性理論的學識，要想使自己成為熟練的設計或機械工程師，並且使自己具有最先進的科學水平，能在機器製造領域內解決自動化上的最重要問題（黨和政府所提出的一些決議），這完全是不能想像的。

在機器調整領域內工作的工程師和技術人員，對於現代化的電氣系統和電子系統的穩定性的分析法的研究和調整過程的品質的研究所已取得的最新成果是很少知道的。同時，由於在現代化的機器製造技術方面出現了新的調整對象（例如自動仿模機床、流水式的自動綫和自動工廠、噴氣式發動機等等）。它們對調整系統的要求不斷地增加，而計算這些調整對象是需要全部現代化的調整理論的成果的（不管這些成果是從那一個調整領域內得到的）。

現在調整理論已在順利地向前發展，而在這些研究中，繼承了 П.Л.契貝謝夫，И.А.維什涅格拉斯基、Н.Е.茹可夫斯基等所奠定的傳統的蘇聯調整理論學派是居于主導地位的。在現代的科學情況下，要把科學的全部發展方向包羅在一本書中是完全不可能的，何況還要對它作有系統的論述。有許多現代化的調整理論部分都是可以獨立成書的題材。例如斷續調整理論和調整理論的非綫性問題便是屬於這一類的。由於這些原因，上述題材就未列入本書中。在選擇本書所要論述的現代化的調整理論的材料時，特

別重視對於調整理論創始人 И. А. 維什涅格拉斯基所提出的基本方向的直接發展的工作。與此同時對於 П. Л. 契貝謝夫的研究和 А. В. 米哈伊洛夫的工作也給予了詳細的論述。

本書第一章簡要地敘述在汽輪機、水輪機、噴氣式發動機、鼓風機和其他機器製造對象的現代化自動控制系統中所採用的各種調整系統^①。講述這些系統的目的是給今後在進行調整過程的品質和穩定性分析時所作的各種理論計算提供原始材料。同樣，在第二章內簡單論述了有關繪制和分析調整對象和調整器的敏感元件的靜特性的材料。第四章到第十五章是本書的主要內容，第五章到第九章是討論具有集中參數的綫性調整系統的穩定性的經典的和現代化的分析法，第十一章到第十五章是論述上述系統的調整過程品質的各種不同的分析法。本書和前版不同的地方是在分析調整過程的品質時，除了以前論述過的研究方法外，並在第十一章和第十五章內提出了應用拉普拉斯變換法和頻率特性法。所以本書對連續作用系統的古典的和現代的綫性自動調整理論基礎作了全面的論述，不過對於調整技術和調整機械問題本書未曾討論，因為這些是特殊的問題超出了本書的範圍。

3. III. 布洛赫

① 正文下面附註的參考資料對所討論的相應的系統有更詳細的論述。

目 录

緒 論	7
第一章 机器的自动調整系統	13
§ 1. 基本概念和定义	13
§ 2. 直接調整系統	16
§ 3. 非直接調整系統	18
§ 4. 具有硬性回饋的非直接調整系統	19
§ 5. 衡行調整系統	20
§ 6. 調整系統的骨架圖	22
第二章 靜特性	39
§ 7. 机器的靜特性	39
§ 8. 調整器敏感元件的平衡条件	43
§ 9. 平衡的角速度曲綫	45
§ 10. 角速度調整器的实际敏感元件的平衡方程式	47
§ 11. 压力調整器的敏感元件的平衡方程式	55
§ 12. 不灵敏度	57
§ 13. 敏感元件的特性	59
§ 14. 数字例题	60
第三章 根据契貝謝夫法計算不均衡度小的 調整器的敏感元件	66
§ 15. 問題的提出	66
§ 16. 契貝謝夫調整器的敏感元件的平衡方程式	70
§ 17. 契貝謝夫調整器的敏感元件的参数的計算	72
第四章 調整动力学的基本方程式	76
§ 18. 运动方程式的綫性化	76
§ 19. 敏感元件的运动方程式	78
§ 20. 机器的运动方程式	89
§ 21. 伺服馬达的运动方程式	96

§ 22. 帶有衡行器的伺服馬達的運動方程式	99
§ 23. 調整系統的典型方程式	102
第五章 調整系統的穩定性的分析	108
§ 24. 一階系統	108
§ 25. 二階系統	108
§ 26. 三階系統	111
§ 27. 拉烏斯-古爾維茨的一般的穩定准則	113
第六章 調整系統的參數對調整的過程的影響	120
§ 28. 調整器的參數對直接調整的過程的影響	120
§ 29. 維什涅格拉斯基圖	122
§ 30. 調整器的參數對非直接調整的過程的影響	124
第七章 米哈依洛夫穩定准則	134
§ 31. 幅角原則	134
§ 32. 米哈依洛夫穩定准則	136
§ 33. 特性曲線的繪制	138
§ 34. 穩定系統的特性曲線	142
§ 35. 不穩定的特征	152
§ 36. 穩定的調整系統的參數的選擇	154
§ 37. 結構上不穩定的回路	158
第八章 根據開環的調整回路的方程式分析穩定性	164
§ 38. 開環回路的方程式	164
§ 39. 穩定條件	170
§ 40. 開環回路中的振盪的變換	177
§ 41. 米哈依洛夫-奈卡維斯特穩定准則	180
§ 42. 幅相特性曲線的繪制	185
§ 43. 典型環節的幅相特性	187
§ 44. 單環路的幅相特性	195
§ 45. 具有微分主擾的環節的幅相特性	197
§ 46. 根據幅相特性分析穩定性	198
第九章 根據參數劃分穩定區域	207
§ 47. 根據一個參數劃分穩定區域	207
§ 48. 根據兩個參數劃分穩定區域	212

§ 49. 根据一个环节的两个参数来确定稳定区域	217
第十章 非周期稳定准则	223
§ 50. 二阶系统	223
§ 51. 維什涅格拉斯基条件	223
§ 52. 非周期稳定的一般准则	226
§ 53. 根据环节的特性进行分析	230
§ 54. 埃依列尔准则	232
§ 55. 斯圖姆方法的应用	233
第十一章 过渡过程	236
§ 56. 拉普拉斯变换	236
§ 57. 初始条件	241
§ 58. 过渡过程的繪制	255
§ 59. 系数的循环关系式	261
§ 60. 方程式的循环关系	270
第十二章 过渡过程的品质分析	272
§ 61. 前言	272
§ 62. 最简单的系统中的调整品质的分析	274
§ 63. 调整品质的积分准则	290
§ 64. 自动调整系统的稳定性和振荡性	301
§ 65. 根的分佈区域的确定	314
§ 66. 超调整的循环关系	319
§ 67. 估计超调整的計算公式	326
第十三章 單調性, 不变号和無超調整等准则	341
§ 68. 單調性的必要標誌	341
§ 69. 具有單調性过渡过程的最簡單系統	350
§ 70. 具有复数根的三阶系統	353
§ 71. 三阶系統的計算例題	366
§ 72. 四阶的調整系統	374
§ 73. 單調的过渡过程的存在定理	378
§ 74. 單环系統的單調性的条件	408
§ 75. 無超調整的標誌	417
§ 76. 过渡过程的不变号的標誌	418

§ 77. 一般准则和充分条件	424
§ 78. 調整品質的評價	430
§ 79. 过渡过程的时间	439
第十四章 过渡过程曲綫的分佈区域的評定	443
§ 80. 过渡过程的上界和下界	443
§ 81. 有重根的特性方程式的过渡过程	445
§ 82. 过渡过程的評定	451
第十五章 分析調整品質的頻率法	457
§ 83. 过渡过程与其变换函数間的关系	457
§ 84. 閉环調整回路中的振盪的变换函数	458
§ 85. 根据頻率特性評定調整的品質	467
§ 86. 近似的評價	472
§ 87. 單調的过渡过程的調整時間	477
第十六章 为已知的調整对象決定調整器的参数	487
§ 88. 問題的提出	487
§ 89. 具有硬性回饋的系統	489
§ 90. 限制参数選擇的特殊条件	494
§ 91. 具有非硬性回饋的系統	495
§ 92. 單調条件的保証	502
§ 93. 考虑超調整選擇参数	507

緒 論

最初在工業上应用的自动調整器是直接与蒸汽机的發明有关的，蒸汽机的發明是十八世紀后半叶的偉大的技术發明。第一部蒸汽机由卓越的俄罗斯机械师 И. И. 波尔祖諾夫 (Ползунов) 在 1765 年發明后，就促使它的發明者制造一种适当的浮子式水位調整器。

第一个电气的調整器是 В. Н. 契柯勒夫 (В. Н. Чиколез) 在 1869 年發明的。这里还应指出，俄罗斯研究工作者在建立第一个由 А. П. 达維多夫 (А. П. Давыдов) 在 1877 年所設計的随动系統方面也有其卓越的地位。

在 1784 年，瓦特在蒸汽机上采用了第一个离心式角速度調整器，这种調整器直到現在还保持着它作为一种反应角速度变化的裝置的基本特点。十九世紀的机械制造技术的发展(所用發動机的容量和速度均已增加)給調整器制造业在选择調整器的型式和选择最合适的調整系統时提出了一系列新的問題，这些問題最初純粹是靠实践来解决的，并没有应有的理論計算和理論根据。在調整問題的发展过程中，其实践超过了理論，且調整理論的发展尚在萌芽的状态，以致对于实践所提出的一系列問題，尚不能有任何满意的回答。在实践上最初所提出的問題中，有一个是建立等週調整器(изохронный регулятор)的問題。大家都知道通常的直接动作的离心式調整器是直接作用在蒸汽机的調整機構上的，保証按照負載的大小輸送蒸汽，但不能維持恒定的轉速。

在实际上所采用的調整器系統中，縱使降低其調整过程的不均衡度，也仍不能保証机器的角速度在全部調整範圍內与所需的恒定值間有較小的偏差。何況在蒸汽机中若采用不均衡度甚小的調整器就会發生振盪和使調整过程不穩定。

在機器的直接調整系統中，要對其發生振盪和不穩定性的原因作一正確的理論解釋，只有在現代的調整理論創始人И.А. 維什涅格拉斯基的理論研究問世以後才有可能，他的研究是現代的經典著作。

如果以今天的眼光來評定И.А. 維什涅格拉斯基的著作，認為從其優點上來看，在我国的科學上有权以此而自豪的話，那俄羅斯的理論思想在其他方面的優秀的創造性成果（這些成果對調整問題的實際意義僅在今天的新技术的時代中才顯示出來）就很可惜地被完全遺忘了，甚至在現代出版的機器調整的著作中和有關的技术史的評論中都沒有提到。這裡所指的有П.П. 契貝謝夫在1871年發表的著作“論离心式均衡器”，這也是蘇聯學者所發表的頭一部關於調整器理論的理論巨著。契貝謝夫是一位天才的數學家，他與某些數學家不同，他不迴避實踐（特別是機器製造業的實踐）所提出的實際問題。大家都知道，П.П. 契貝謝夫在其外出的期間里，他不但接待傑出的數學家，而且他花了許多時間去視察各種工業企業，並研究這些企業所采用的技術。

契貝謝夫精通調整器製造業的實際要求，同時對等週調整器的問題作了理論的研究並很好的解決了它，這是不足為奇的。契貝謝夫有把在技術和機械製造領域內的理論探討進行到底、直到獲得實際結果為止的正確習慣，他根據自己的理論研究作出一個等週調整器的模型，可惜得很，它並沒有保留下來。應當指出，自從維什涅格拉斯基的理論著作問世以後，它已斷定無差率（等週的）調整器在蒸汽機的直接調整系統中是不穩定的，於是很自然他們就認為契貝謝夫的調整器理論的研究是沒有任何實際意義的，他的著作也就被遺忘了。只有在我們的時代里，由於現代化技術的調整對象具有很大的正自均衡特性和間接調整系統的發展，故П.П. 契貝謝夫的卓越成果自然又重新被人注意，他的等週調整器又被人想起了。在具有自均衡特性的機器的現代化的直接和間接調整系統中，有充足的根據可以實際采用契貝謝夫的調整器。

繼契貝謝夫的著作發表以後，在1873年又同時用俄文、德文