

[苏联] B. M. 昆采維奇著



极值控制系统

国防工业出版社



77.7.25

73.8.25
34.6

极值控制系统

〔苏联〕B. M. 昆采维奇著

林樺、曾汉译



国防工业出版社

1964

5351

內容簡介

极值控制系统也称为极值寻找器，是最新发展起来的一种工程控制系统。它能連續地寻求设备的最佳、最有效的工作条件；对生产过程的自动化具有十分重大的意义。

本书分析了各种类型的极值控制系统，对几种极值调节器作了介绍，并给出了在控制生产过程中实际应用极值调节系统的资料。

本书可供从事生产过程自动化的工程技术人员、科学研究人员以及有关专业大专师生参考。

СИСТЕМЫ ЭКСТРЕМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ

[苏联] В. М. Кунцевич

ГОСТЕХИЗДАТ УССР 1961

*

极 值 控 制 系 统

林 樺、曾 汉 譯

*

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业许可证出字第 074 号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

787×1092¹/₃₂ 印张 4³/₄ 100千字

1964年10月第一版 1964年10月第一次印刷 印数：0,001—4,100册

统一书号：15034·762 定价：(科七) 0.65 元

目 录

第一章 无外搜索讯号发生器的連續作用极值

系統的研究	5
极值系統的分类	5
对象的特性可用拋物綫逼近的极值調节系統	7
改善极值調节系統中过渡过程质量的方法	15
对象的特性可用直綫段逼近的极值調节系統	22
考虑到量測元件慣性时对采用特殊調节規律的极值調节系統的研究	27

第二章 具有脉冲和数字元件的步进式极值系統

前言	31
步进式极值調节器	32
“綫性”步进式极值調节系統	44
最简单的步进式继电极值調节系統的研究	48
用差分相平面分析最简单的脉冲极值系統	49
具有延时环节的脉冲极值系統的研究	57
具有脉冲校正和非綫性校正的非綫性脉冲系統的研究	59
极值点連續移动时极值系統工作的研究	65
确定继电器式脉冲极值系統中自振蕩頻率和振幅的近似頻率法	71
具有数字計算裝置的步进式极值調节器	79

第三章 具有調制作用的极值調节系統

前言	91
具有同步檢波器的极值調节系統	92

具有同步檢波器的極值系統的實驗研究·····	99
具有同步檢波器的極值系統的計算方法及其 穩定性的研究·····	104
提高具有調制作用的極值調節系統的工作質量和改善 調節器結構的方法·····	107
當擾動以統計形式給定時，具有同步檢波器的開環極值調節系 統抗干擾性的研究·····	115
採用不同頻率的双調制信號時，極值系統在開環狀態下抗干擾 性的研究·····	117
閉環極值系統抗干擾性的研究·····	121
第四章 應用極值調節系統控制生產過程的實例·····	131
提高鍋爐設備的效率·····	131
極值調節在化學淨水器（軟水室）中石灰自動配料 上的應用·····	141
參考文獻·····	143

77.7.25

73.8.25
34.6

极值控制系统

〔苏联〕B. M. 昆采维奇著

林樺、曾汉译



国防工业出版社

1964

5351

內容簡介

极值控制系统也称为极值寻找器，是最新发展起来的一种工程控制系统。它能連續地寻求设备的最佳、最有效的工作条件；对生产过程的自动化具有十分重大的意义。

本书分析了各种类型的极值控制系统，对几种极值调节器作了介绍，并给出了在控制生产过程中实际应用极值调节系统的资料。

本书可供从事生产过程自动化的工程技术人员、科学研究人员以及有关专业大专师生参考。

СИСТЕМЫ ЭКСТРЕМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ

[苏联] В. М. Кунцевич

ГОСТЕХИЗДАТ УССР 1961

*

极值控制系统

林樺、曾汉譯

*

国防工业出版社出版

北京市书刊出版业营业许可证出字第 074 号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

787×1092¹/₃₂ 印张 4³/₄ 100千字

1964年10月第一版 1964年10月第一次印刷 印数：0,001—4,100册

统一书号：15034·762 定价：(科七) 0.65 元

目 录

第一章 无外搜索讯号发生器的連續作用极值

系統的研究	5
极值系統的分类	5
对象的特性可用拋物綫逼近的极值調节系統	7
改善极值調节系統中过渡过程质量的方法	15
对象的特性可用直綫段逼近的极值調节系統	22
考虑到量測元件慣性时对采用特殊調节規律的极值調节系統的研究	27

第二章 具有脉冲和数字元件的步进式极值系統

前言	31
步进式极值調节器	32
“綫性”步进式极值調节系統	44
最简单的步进式继电极值調节系統的研究	48
用差分相平面分析最简单的脉冲极值系統	49
具有延时环节的脉冲极值系統的研究	57
具有脉冲校正和非綫性校正的非綫性脉冲系統的研究	59
极值点連續移动时极值系統工作的研究	65
确定继电器式脉冲极值系統中自振蕩頻率和振幅的近似頻率法	71
具有数字計算裝置的步进式极值調节器	79

第三章 具有調制作用的极值調节系統

前言	91
具有同步檢波器的极值調节系統	92

具有同步檢波器的極值系統的實驗研究·····	99
具有同步檢波器的極值系統的計算方法及其 穩定性的研究·····	104
提高具有調制作用的極值調節系統的工作質量和改善 調節器結構的方法·····	107
當擾動以統計形式給定時，具有同步檢波器的開環極值調節系 統抗干擾性的研究·····	115
採用不同頻率的双調制信號時，極值系統在開環狀態下抗干擾 性的研究·····	117
閉環極值系統抗干擾性的研究·····	121
第四章 應用極值調節系統控制生產過程的實例·····	131
提高鍋爐設備的效率·····	131
極值調節在化學淨水器（軟水室）中石灰自動配料 上的應用·····	141
參考文獻·····	143

第一章 无外搜索訊号发生器的

連續作用极值系統的研究

极值系統的分类

极值控制系統也称为极值寻找器，是一种已得到极大发展的工程控制系統。这种系統与一般鎮定系統、随动系統或程序控制系統的区别是：它能不断地搜索設備最佳的、最有效的工作条件。这种工程控制系統，对生产过程自动化具有十分重大的意义，沒有这种系統，多数生产过程就不可能全盘自动化。

由于分类基础的特征不同，极值調节系統可用不同的方法进行分类。在文献〔11、17、61 和 68〕中，都对极值系統进行了分类。

按照寻找极值的方法，可将現有的极值系統分为二类：

1. 具有預先給定复激特性（按扰动控制）的开环系統；
2. 按被調量和（或）其他内部变量反饋的閉环系統（搜索系統）。

为使第一类极值系統工作，必須預先知道主要扰动与給定扰动下能保持被調量为极值的兩調节作用間的关系，此外，当主要扰动值变化时，还要求上述关系是可复現的。

近来开始大力研究第二类极值系統。为使这类系統工作，并不需要了解极值的大小与其位置的所有函数关系，只要求在一定的条件（这些条件詳見下文）下极值存在就可以了。

除上述两种主要类型的极值系统外，还有同时采用这两种极值寻找方法的复合系统。

本书只研究闭环极值系统（或按照文献〔68〕中引用的术语称为“主动型自整定系统”）。以后，为了书写简短起见，只采用“极值系统”这个术语，所指即闭环控制系统。

在本书中，极值系统按照如下的特征进行分类：

1. 按照极值指标的数目，分为单级值指标系统和多极值指标系统。

2. 按照调节作用的数目，分为单调节作用和多调节作用的系统。

下面将只研究单极值指标和单调节作用的系统。

3. 按照确定极值点位置的方法，分为无外搜索振荡发生器和有外搜索振荡发生器的系统。

自振荡系统〔11、17、26〕和步进式系统〔11、17、34〕可作为前一类系统的例子，而具有调制作用的极值系统〔1、16、37〕是后一种系统的典型代表。

4. 按照量测联系的形式，无外搜索振荡发生器的极值系统可分为连续量测和断续量测的系统，其中也包括具有数字计算装置的系统。

5. 具有外搜索（调制）振荡发生器的系统也可以分为具有连续调制作用和断续调制作用的系统。

6. 按照控制执行元件的方法，极值系统可以分为具有连续纠正对极值点的偏离与周期地（断续）纠正这种偏离的系统。

以上这种将一定结构的极值系统按照若干主要特征进行的分类，还可以做得更加详细。例如，可分为确定的（非随

机的) 搜索訊号和随机的搜索訊号的系統; 恒調节周期和变調节周期或随机調节周期(整量化)的断續系統; 无校正环节和有校正环节的系統。

极值系統的上列主要特征可进行不同的組合而不互相排斥。例如, 有訊号为連續調制而执行元件的控制为連續的〔17〕与断續的〔41〕极值系統。而在断續調制訊号的情况下, 执行元件的工作特性可能是連續的, 也可能是断續的, 等等。

对象的特性可用拋物綫逼近的极值調节系統

为了对极值調节系統作全面而詳尽的評价, 必須研究它的过渡过程〔26〕[●]。为了研究这种系統的过渡过程, 在許多情况下, 可以应用調节理論中很熟悉的決定非綫性調节系統过渡过程的方法。

設在一定的实际条件下, 調节对象的特性(极值特性)具有 1 的形式(图 1), 同时, 調节系統的变量可用极值(最大值)所在点的位置 A 来表征。假定調节对象的实际工作条件发生了阶跃变化, 致极值特性变为 2 的形式, 且极值点处在位置 O 上。这时, 在系統中将产生过渡过程, 且将延續下去, 直到調节对象达到新的极值点 O 上, 或者在 O 点附近建立起振荡状态时为止。

我們选定新的极值位置为座标的原点, 并列决定极值系統中过渡过程的微分方程組。初始条件决定于靜态方程, 应記着对象原来是处在先前的极值位置 A 上, 或者在 A 点附近

● 可参閱 Transients in Optimal Control System, by O. M. Kryzhanovski and V. M. Kuntsevich, ARS-Journal, vol. 30, Jan. 1960, p. 86—92.

振荡。

以下将认为调节系统受到了“充分微小的扰动”。这时，在极值点附近，具有极值的曲线方程可用二次函数来表示。此外，曲线也可用折线的形式来表示。

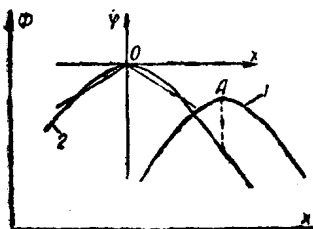


图1 调节对象的特性。

再进一步，我们还假定调节对象可用文献〔26〕中所述的等效线路来表示，也就是说，可用具有极值的无惯性环节和计及对象惯性的线性环节相串联的形式来表示（图2a）。

作了这些初步说明以后，下面直接分析几种具有极值指标软反馈的极值调节系统。

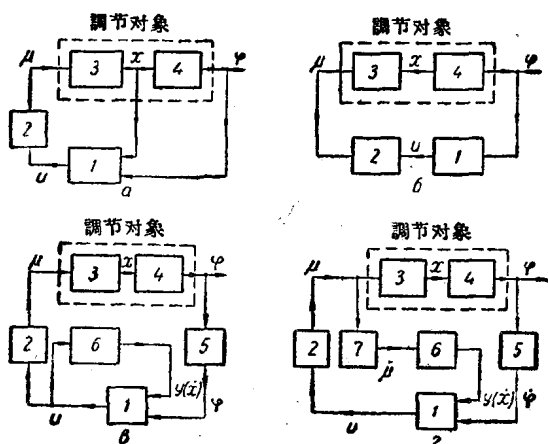


图2 极值调节系统的结构图：

a—具有变量 x 的直接反馈；b—没有变量 x 的反馈；

B、2—具有调节对象线性部分的模型。

1—极值调节器；2—执行电动机；3—调节对象的线性部分；

4—非线性环节；5—微分器；6—线性环节；7—测速发电机。

具有比例控制的极值调节系统。线性极值调节系统 现在来研究具有比例量测元件的极值调节系统。

在所述假定下，图 2 所示系统的各个环节的方程为：
执行电动机

$$\dot{\mu} = \alpha_1 \mu; \quad (1-1)$$

调节对象的线性部分

$$\tau \dot{x} + x = \alpha_2 \mu; \quad (1-2)$$

具有极值特性的非线性环节（受扰动后）

$$\varphi = -\alpha_3 x^2 \quad (1-3)$$

极值调节器

$$u = \frac{d\varphi}{dx} = \frac{\dot{\varphi}}{\dot{x}}, \quad (1-4)$$

式中 u, μ, φ, x ——表征系统状态的变量；

$\dot{\mu}, \dot{\varphi}, \dot{x}$ ——上述变量对时间的导数；

$\tau, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ ——常数。

初始条件由系统受扰动前所处的状态决定。可以认为，系统受扰动前处于原来的极值点 A 上。在这种情况下，就可以确定系统运动的初始条件，而对微分方程组 (1-1)、(1-2)、(1-3) 和 (1-4) 进行积分后，就可决定运动的方程。

消去上述方程组中的变量 u, μ 和 φ ，便得到线性微分方程

$$\tau \ddot{x} + \dot{x} + 2\alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 x = 0, \quad (1-5)$$

它决定着系统中的过渡过程。此后，极值系统中过渡过程的分析，就可以依照研究一般线性调节系统中过渡过程的大家熟知的法则进行。

对应于微分方程 (1-5) 的特征方程的根为：

$$p_{1,2} = \frac{-1 \pm \sqrt{1 - 8\tau\alpha_1\alpha_2\alpha_3}}{2\tau} \quad (1-6)$$

通常，系統的总放大系数和時間常数都很大，从而 $\tau\alpha_1\alpha_2\alpha_3 > 0.125$ ，因此，在系統中就出現衰减的振蕩过程

$$x = Ae^{-\frac{t}{2\tau}} \sin(\omega t + \psi_0), \quad (1-7)$$

式中頻率 $\omega = \frac{1}{2\tau} \sqrt{8\alpha_1\alpha_2\alpha_3 - 1}$ ，而振幅 A 和相角 ψ_0 取決于初始条件： $t = 0$ 时， $x = x_0$ ， $\dot{x} = \dot{x}_0$ 。

利用方程 (1-3) 和 (1-7)，可求出：

$$\varphi = -\frac{\alpha_3}{2} A^2 e^{-\frac{t}{\tau}} [1 - \cos(2\omega t + 2\psi_0)]。 \quad (1-8)$$

由方程 (1-7) 和 (1-8) 可見，衰减度只取決于对象的時間常数 τ ，而頻率則随放大系数的变化而变化。

因为方程 (1-5) 是綫性的，所以即使执行电动机和調节对象的方程是更高阶的綫性方程，整个极值調节系統也还能用相应的較高阶的綫性微分方程来描述，从而可以按一般的法則进行研究。

继电极值調节系統 具有理想继电量測元件的极值調节系統。我們来研究这样一种极值調节系統，其中比例量測元件用继电型的量測元件来代替，这种元件的方程具有如下的形式：

$$u = \sin \frac{d\varphi}{dx} = \sin \frac{\dot{\varphi}}{\dot{x}}。 \quad (1-9)$$

这种調节系統中的过渡过程是用微分方程組 (1-1)、(1-2)、(1-3) 和 (1-9) 来描述的。消去这些方程中的中間变量，便得到 x 的非綫性微分方程：

$$\tau \ddot{x} + \dot{x} + \alpha_1 \alpha_2 \sin x = 0。 \quad (1-10)$$

非綫性微分方程 (1-10) 可用文献 [47、51] 中所介紹的方法求解。而方程 (1-10) 所描述的过渡过程用 x , v 相平面来研究更为方便, 这里 $v = \dot{x}$ 。

非綫性微分方程 (1-10) 可用如下两个方程表示:

$$\tau v \frac{dv}{dx} + v + \alpha_1 \alpha_2 = 0, \text{ 当 } x > 0 \text{ 时}; \quad (1-11)$$

和
$$\tau v \frac{dv}{dx} + v - \alpha_1 \alpha_2 = 0, \text{ 当 } x < 0 \text{ 时}。 \quad (1-12)$$

对 $x > 0$ 时的方程 (1-11) 积分, 可得

$$x = x_0 - \tau(v - v_0) + \tau \alpha_1 \alpha_2 \ln \left(\frac{1 + \frac{v}{\alpha_1 \alpha_2}}{1 + \frac{v_0}{\alpha_1 \alpha_2}} \right), \quad (1-13)$$

而对 $x < 0$ 时的方程 (1-12) 积分, 可得

$$x = x_0 - \tau(v - v_0) + \tau \alpha_1 \alpha_2 \ln \left(\frac{1 - \frac{v}{\alpha_1 \alpha_2}}{1 - \frac{v_0}{\alpha_1 \alpha_2}} \right), \quad (1-14)$$

上两式中, 符号 x_0 和 v_0 表示相应的初始条件。

图 3 a 为按照公式 (1-13) 和 (1-14) 繪制的极值系統的相軌迹。

利用在相平面上研究非綫性系統过渡过程的方法, 还可以研究調节規律 (測量元件) 更复杂的极值調节系統。

具有实际继电測量元件的极值調节系統。 現在来研究一个用方程 (1-1)、(1-2) 和 (1-3) 描述的极值調节系統。此外, 系統的調节規律可写成

$$\left. \begin{aligned} u &= \sin \left(\frac{d\varphi}{dx} - \Delta \right), & \text{当 } \frac{d}{dt} \left(\frac{d\varphi}{dx} \right) > 0 \text{ 时}; \\ u &= \sin \left(\frac{d\varphi}{dx} + \Delta \right), & \text{当 } \frac{d}{dt} \left(\frac{d\varphi}{dx} \right) < 0 \text{ 时}, \end{aligned} \right\} \quad (1-15)$$

式中 2Δ —— 双位极化继电器的滯环宽度。

在图 36 上繪出了这个系統的相軌迹。为了繪制相軌迹，利用了公式 (1-13) 和 (1-14)，同时，依据方程 (1-15)，在 $EFGH$ 綫右边的区域滿足方程 (1-13)，而左边的区域滿足方程 (1-14)。

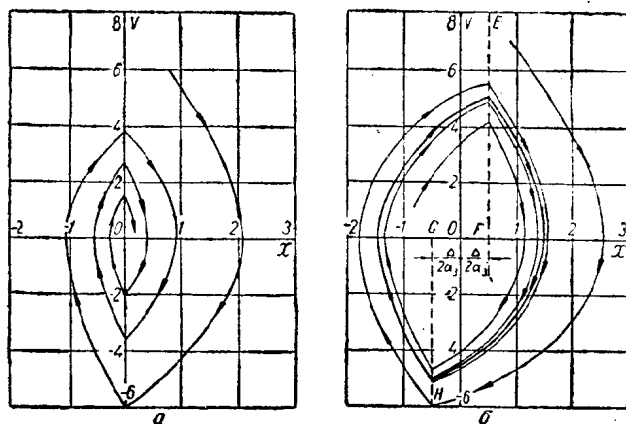


图 3 当 $\alpha_1\alpha_2=10$, $\alpha_3=0.5$, $\tau=1$ 时极值調节系統的相軌迹:

a —調节規律为 (1-9) 式; δ —調节規律为 (1-15) 式。 $\Delta=0.5$ 。

由图 3 6 可見，在相平面上存在着稳定的极环，不論初始条件是怎样的，系統总是向这个极环返回的。

具有邏輯作用元件的极值調节系統[17]。图 4 就是这种系統的結構图。

我們来研究变量 x 的量測联系可以實現的情况。为了簡單起見，将认为这个系統中的继电器 $2P\Pi$ 的特性是理想的，而继电器 $1P\Pi$ 具有实际的特性。这时，具有邏輯作用元件的系統的調节規律可写成

$$u = \sin(\dot{\varphi} + \Delta) \sin \dot{x}_0. \quad (1-16)$$