

自动化丛书

自动系统中的电校正元件

〔苏联〕П. К. 克魯格 E. K. 克魯格著 甘和貴譯

上海科学技术出版社

自动系统中的电校正元件

75.8/259

出版社

73.6
257

自动化丛书

自动系统中的电校正元件

〔苏联〕 T. K. 克魯格 E. K. 克魯格 著

甘和貴 譯 張均惠 校

31562/08

上海科学技术出版社

內 容 提 要

本书介紹自动調节系統中校正裝置的元件和綫路,其中包括无源四端网络及其与电子放大器的实际連接綫路,以及采用电动机的校正綫路和工作于載波頻率的四端网络。最后介紹了产生正比于执行电动机轉速的电压的綫路和裝置。

本书讀者对象为从事于生产过程自动化方面工作的工程技術人員。

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ КОРРЕКТИРУЮЩИЕ ЭЛЕМЕНТЫ В СХЕМАХ АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ И РЕГУЛИРОВАНИЯ

Г. К. Круг, В. К. Круг

Госэнергоиздат • 1959

自动化丛书(1)

自动系統中的电校正元件

甘和貴 譯 張均惠 校

上海科学技术出版社出版 (上海瑞金二路450号)

上海市书刊出版业营业許可証出093号

商务印书館上海厂印刷 新华书店上海发行所发行

开本 787×1092 1/32 印張 2 14/32 插頁 2 版面字数 52,000

1962年9月第1版 1962年9月第1次印刷 印数 1—2,700

統一书号 15119·1684 定价(十二) 0.36 元

封面設計 朱仰慈

自动化丛书編輯委员会

主 編			編 委		
趙 安 泰	虞 冠 新				
編 委			編 委		
王 自 琦	叶 福 年				
甘 和 貴	汪 时 雍				
吳 增 謙	吳 培 根				
徐 俊 榮	黃 淞				
詹 紀 鴻	龔 淡 樵				

編者的話

近数十年来,随着世界各国科学技术、工业生产和軍事技术的飞跃发展,已促使“自动学与远动学”逐步成为一門嶄新的学科;同时,由于自动学与远动学的理論与技术日臻完善,也进一步促使科学技术、工业生产和軍事技术的突飞猛晋,如导彈、宇宙飞船、原子能的和平利用以及各类生产过程自动化工厂的出現,莫不与自动化技术的发展密切相关。因此,自动化在国民經济与国防中,已占有极为重要的地位。

在中国共产党的领导下,自动化技术在我国已有很大的进展,但从当前及今后要求来看,还需要繼續推广和普及专业知識,扩大技术队伍和提高理論水平。因此,及时地出版一些自动化技术的图书,供这个专业的技术人員参考,确是十分迫切需要的。

苏联国家动力出版社的“自动化丛书”选材广博,內容較新,也較切合实用,其中大部分作者都是苏联在这方面的专家,各册又具有理論与实际結合、深入淺出的特点,适合我国目前这方面的有关工程技术人員参考。我們現以选譯这套自动化丛书为基础,并适当編写一些专题論著,組成一套以有关工程技术人員及大专学生为讀者对象的“自动化丛书”,內容包括自动学和远动学的理論,自动装置、元件和仪器的設計、制造和应用等等。我們希望这套丛书的出版能对从事自动化方面的有关人員有所裨益。

由于我們的水平有限,在选题和譯校工作中,都可能有不妥之处,希望广大讀者和国内专家們指正。

自动化丛书編輯委员会

02241

— i —

譯 者 序

自动調节系統的設計,大致上可分为下列几个步驟:

1. 首先对調节对象的靜态、动态特性进行分析,提出整个調节系統應該具有的性能指标;
2. 選擇并确定自动調节系統的结构图和工程上实现的方法;
3. 根据对調节系統动态品质的要求,求出校正裝置的傳遞函数;
4. 确定校正裝置的具体綫路、結構和它应具有的参数;
5. 用計算或实验的方法,对整个系統进行分析,驗證系統能否滿足原定指标。

本书討論的問題主要是 3、4 兩項的內容,这是自动調节系統設計中不可分割的部分,同时也是很关键的环节。

这本小册子除了深入淺出地介紹了校正裝置的綜合方法外,作者对許多具体的校正裝置和元件在技术性能和經濟指标方面作了分析、比較,列出了它們的优缺点,这可供我們在实际工作中参考。另外,书中还对調节器参数的整定提出了具体的建議,这对拟将已經备有的調节器投入自动运行的工程技术人员来讲,也是很有帮助的。

作者也許为了避免引用傳遞函数概念而涉及到拉氏变换等較复杂的数学問題,在复頻特性的基础上引出了一个“复放大系数”的概念,显然,这是权宜的办法。如果讀者要进一步掌握調节理論,設法去建立傳遞函数的概念是很必需的。因为就实质而言,全部自动調节理論均基于傳遞函数概念。

甘和貴

1962. 6. 于上海

原 序

从事自动控制工程的人们，在实际工作中经常遇到使调节器与调节对象相协调的问题，以及有关在自动调节和检测系统中引进校正和稳定装置的其他问题。

在许多情况中，为了保证必需的调节质量，一般可依次尝试许多已知的校正方法，来找到使既定系统获得满意效果的校正装置的线路和参数。但是经验证明，为了能顺利地解决校正问题，从事自动调节和检测系统设计及调整的工程师，应该熟悉自动调节理论的基本知识，掌握其中的校正和稳定装置的综合方法。因此，在本书的第一章里，简要地叙述了自动调节理论中某些有关的问题。但限于篇幅，这里只能涉及线性系统的理论。

在实际设计校正和稳定装置时，必须决定：应采用哪些校正作用规律，以及如何选择最合理的技术措施来实现既定的校正作用。

本书引述了许多电的校正和稳定装置的线路，并对它们在自动装置和检测系统中的应用提出了具体的建议。

作 者

目 录

原 序

第一章 自动调节理论中的某些知识	1
1. 自动检测和调节系统的结构和实例	1
2. 有差系统和无差系统	5
3. 用频率特性法决定系统的动态性能	8
4. 自动调节系统的校正	25
5. 校正装置的綜合	38
第二章 校正装置的元件和线路	44
6. 直流无源四端网络	44
7. 无源四端网络和电子放大器连接的线路举例	45
8. 在载波频率下工作的四端网络的校正系统	51
9. 产生正比于执行电动机转速的电压的线路和装置	57
10. 用电机的校正回路	66
参考文献	71

自动調节理論中的某些知識

1. 自动檢測和調节系統的结构和实例

目前一般技术部門中广泛应用自动檢測和調节系統，这些系統的共同点是都有閉环結構，图 1 就是这些系統的结构图。从图中可以看出，这个系統是由一些单个元件組合而成，并且这些元件是单方向地一个作用于另一个，各自执行着确定的任务。

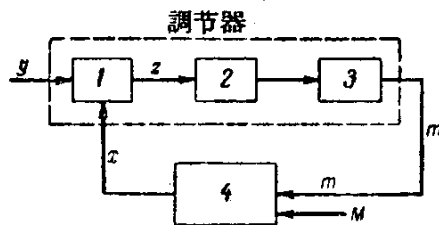


图 1 自动調节系統的结构图

1—測量裝置；2—放大裝置；3—执行裝置；4—調节对象

例如，被調量 x 和給定值 y 在測量裝置 1 中进行比較，如果这两个量不相等，在測量裝置的輸出端就呈現出正比于 $x - y$ 差值的訊号 z 。放大裝置 2 对这个誤差訊号（或称不協調訊号）进行功率放大，使之足以操纵执行裝置 3，执行裝置又作用于調节对象，使被調量发生变化，以减小不協調訊号 z 。

除了上面列举的元件外，在自动调节系统中还采用一些起稳定和校正作用的特殊装置。这些装置的作用在于保证系统的稳定性和应有的调节品质。

下面我们来研究一些自动调节和检测系统的实例。

电压调节器

图2是电压调节器的线路。调节器的任务在于保持被调量（即发电机的端电压）为恒值，不受负荷电流变化的影响。图中，发电机电压 u_r 与整定电压 u_{yer} 进行比较。 u_{yer} 的值调整在所需要的电压值上。电压差 $e = u_{yer} - u_r$ 加在放大装置（YY）的输入端，通过这个装置对发电机的激磁绕组（OB）产生作用。因而电压调节系统是闭环的。如果平衡状态的系统受到发电机负荷电流增加的外部扰动，当负荷电流增加时，发电机电压 u_r 下降，从而电压差 $e = u_{yer} - u_r$ 上升，这就引起发电机的激磁电流增加，促使其电压回升。整个系统趋向于要使这个电压自动恢复到原来的电压值 u_r ，但经过一些时间后，系统却稳定在新的平衡状态中，这时的电压比原有值 u_r 要低一些。 e 越小，被调量 u_r 的值就越接近给定值，静态调节误差

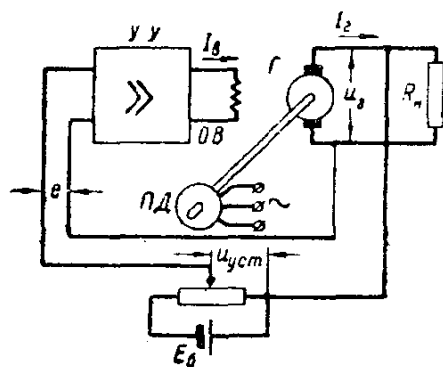


图2 电压调节器

Γ —直流发电机；YY—放大装置； Π —拖动电动机

也就越小。为了在訊号 e 比較小时能获得同样的 u_r 值,就必须增大放大装置的放大系数。但不可能使得 e 值等于零,因为这势必要要求整个系统的放大系数为无穷大。

自动电位計

自动电位計是一种用来自动检测某个量值(譬如温度)的仪器。图3是记录炉子或其他加热设备温度的自动电位計綫路。用热电偶 $T\Pi$ 来測量温度。热电偶产生的热电势 u_t 与温度成正比,与从电位器上取下来的电压 u_n 进行比较,得出的电压差 e 加在放大器上,由放大器輸入端的振动变流器 $B\Pi$ 把这一直流电压变为交流电压,经过电子放大器 ($Y\Pi$) 进行放大,然后作用到两相异步电动机 $HД$ 的控制繞組 OY 上。电动机通过减速器 P 移动记录仪器的托架,滑綫变阻器 Π 的触头就装在这个托架 K 上面。当电动机旋轉时,触头就被移动,电压 u_n 便发生变化。直到放大装置輸入端的电压等于零时,电动机才停止旋轉。由此可得出,只有当 $u_t = u_n$ 时,才能出

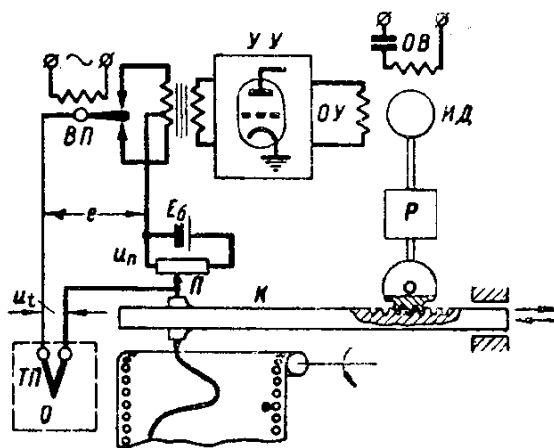


图3 自动电位計

$Y\Pi$ —电子放大装置; $T\Pi$ —热电偶; O —調节对象; $B\Pi$ —振动变流器; P —减速器; K —托架; Π —变阻器

現靜止状态,也就是說,記錄筆尖在圖紙上的位置就是溫度的量值。當溫度平穩地變化時,執行電動機便不斷地移動托架,使電壓 u_m 隨時與熱電偶送來的電壓相平衡。裝在托架上的記錄筆尖就“跟踪”着爐溫的變化,在紙帶上記下溫度的量值來。

溫度調節器

上面所述的是溫度自動檢測綫路,圖4則為溫度調節器的結構圖。這裡仍然使用自動電位計來檢測溫度。這個自動電位計裝有附加的變阻器 P_1 ,其可動觸頭和托架緊密耦合,因此觸頭的位置就指出了溫度的大小。 P_2 為溫度調節器的定值變阻器,根據所要求的溫度來確定其觸頭位置。兩個觸頭之間的不協調電壓 $u_{p_2} - u_{p_1}$ 加在放大裝置 YY 上。這個放

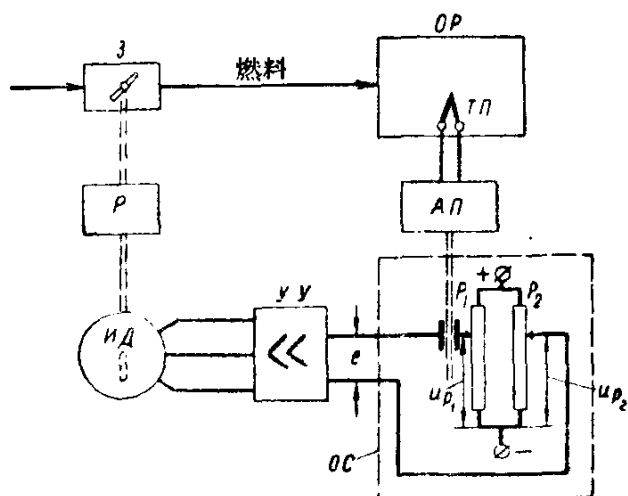


圖4 溫度調節器

OP—調節對象; ТП—熱電偶; YY—放大裝置; АП—自動電位計; ИД—執行電動機; P—減速器^①; 3—爐門;
 P_1 和 P_2 —變阻器; ОС—比較機構

① 原文为 Регулятор。——譯注

大装置操纵执行电动机 $ИД$, $ИД$ 再去转动调节机构。在这个例子中, 调节机构就是炉门, 随着炉门的转动, 通过的燃料就相应地增加或减少, 从而使得炉温往定值温度方向变化。

在上述各例中, 调节精度都是由系统各个元件的参数来决定的。

2. 有差系统和无差系统

由图 2、3 和 4 的实例中可以看出, 自动调节系统是由许多互相作用的环节依次连接成的链条。每个环节的特性由它的输入量和输出量来表征。所谓某环节或若干串联环节的静特性, 就是指其输出量和输入量之间的关系。

$x_{БВХ}$ 对 $x_{ВХ}$ 之比称为环节的静态放大系数 $k = \frac{x_{БВХ}}{x_{ВХ}}$ 。

假如 $x_{БВХ} = \varphi(x_{ВХ})$ 的关系为非线性的 (图 5), 则可在个别线段上将其线性化。

设 $x_{БВХ}$ 和 $x_{ВХ}$ 在稳定工况时的值相应地为 $x_{БВХ0}$ 和 $x_{ВХ0}$, 如考虑到偏离值 $\Delta x_{БВХ}$ 和 $\Delta x_{ВХ}$ 不大, 则曲线 $x_{БВХ} = \varphi(x_{ВХ})$ 上的这一线段, 可以用点 $x_{ВХ0}$ 处的切线来代替。

环节的静态放大系数与稳定状态的值有关, 并等于其增量之比

$$k = \frac{\Delta x_{БВХ}}{\Delta x_{ВХ}} = \operatorname{tg} \alpha$$

图 5 是表示如何根据试验特性曲线来决定环节的静态放大系数。

在自动检测和调节的闭环系统中, 被调量偏离给定值 (整定值) 的大小与引起这种偏离的外部扰动量之间的关系, 有着重要的意义。

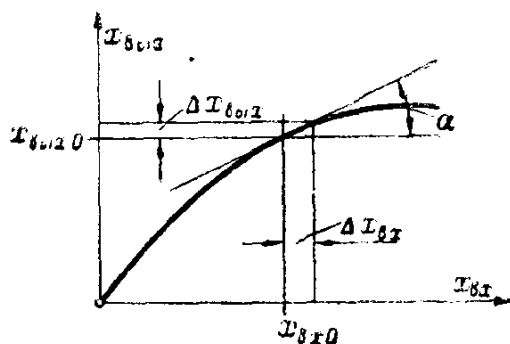


图5 根据实验特性曲线来决定环节的静态放大系数

根据这种关系，可将自动调节系统分为两类：即有差系统和无差系统。被调量在稳定状态下，对于给定值的偏离正比于引起这个偏离的扰动量的系统叫做有差系统。在这样的系统中，对调节对象的作用大小与上述偏离值成正比。因此，在这样的系统中，由于调节器本身工作原理的限制，总存在着静态调节误差。

在静止状态时，静态误差跟扰动量无关并总等于零的系统称做无差系统。

在无差系统里，对调节对象的作用大小与被调量偏离给定值的大小和偏离持续时间的乘积成正比，也即正比于偏离值对时间的积分。下面我们来说明有差调节器和无差调节器的作用原理。

现列出电压调节器(图2)的静力学方程式：

比较机构的方程式

$$e = u_{\text{ref}} - u_r \quad (1)$$

当放大装置工作在线性段时，发电机的激磁电流 I_B 与不协调量成正比

$$I_B = k_{\text{yc}} e \quad (2)$$

式中 k_{yc} ——放大器的放大系数。

不考虑磁路的饱和状况, 对直流发电机可以列出下面两式

$$E_r = I_r k_r \quad (3)$$

$$u_r = E_r - I_r R_a \quad (4)$$

式中 E_r ——发电机的电动势, 正比于激磁电流;

R_a ——发电机电枢电阻;

u_r, I_r ——发电机负载电压和电流。

联解式 (1)、(2)、(3) 和 (4), 得

$$u_r = \frac{k_{yc} k_r}{1 + k_{yc} k_r} u_{ycr} - \frac{1}{1 + k_{yc} k_r} R_a I_r \quad (5)$$

$$e = \frac{1}{1 + k_{yc} k_r} u_{ycr} + \frac{1}{1 + k_{yc} k_r} R_a I_r \quad (6)$$

$k_{yc} k_r = k_p$ 称为开环系统的静态放大系数。

图 6 的 $u_r = f(I_r)$ 是在系统没有调节器时 [曲线 1, 式 (4)] 和系统有调节器时 [曲线 2, 式 (5)] 的情况。由曲线 2 可以看出, 这是有差调节器, 因为误差量随负载电流的增加而增加。

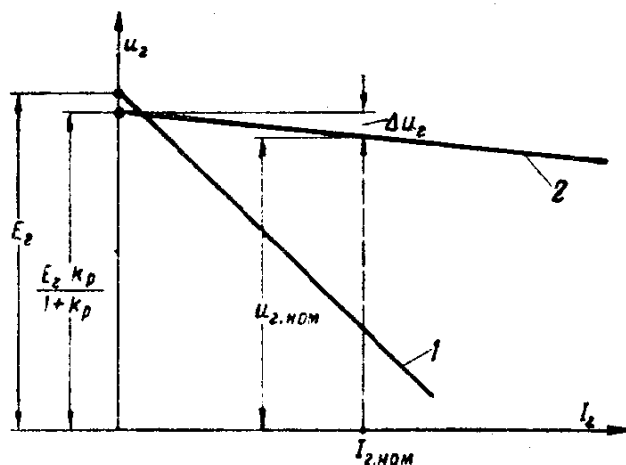


图 6 有差系统特性

1—无调节器时的发电机特性; 2—有调节器时的发电机特性

系統的靜差率 $\frac{\Delta u_r}{u_{rH}} [\%]$ 与 $\frac{1}{1+k_{yc}k_r}$ 成正比, 但当 $k_{yc}k_r \gg 1$ 时, 則与开环系統的放大系数成反比。

开环系統的放大系数越大, 調节精度就越高。

图 4 的溫度調节器以及图 3 的自动电位計都属于无差系統。在这两个系統中, 放大器操纵电动机, 电动机的轉速 n 与不協調訊号成正比 $n = K_p e$, 因而, 电动机减速器輸出軸的偏轉角正比于不協調訊号对時間的积分

$$\theta = k \int_{t_1}^{t_2} n dt = k K_p \int_{t_1}^{t_2} e dt \quad (7)$$

在自动电位計系統中, 当电位器的触头移动到 θ 角度上时, 从其触头間引出的电压与热电偶的热电势相均衡, 也就是当 $e=0$ 的时候, 系統达到平衡状态。在溫度調节系統中 (图 4), 炉門要一直移动到被測溫度值等于它的給定值时才停止下来, 这时, 不協調量等于零, 并与系統中的扰动无关 (如燃料供应的变化, 給定值的变化等等)。

由于这两个系統中存在着不協調量的积分环节 (即电动机), 避免了靜态調节誤差。

实际上, 这些系統的靜态誤差并非完全等于零。由于电动机軸上存在着摩擦, 这就在系統中造成一定的不灵敏区, 因此, 相应于此的不協調量决定了无差系統的誤差。

假如在执行电动机 (图 4) 軸上作用着轉矩 (如力图使关闭管道的炉門保持在一定位置的应力), 則这些系統也可能由于負荷扰动引起靜誤差, 可是, 这些系統对給定值扰动說来仍是无差系統。

3. 用頻率特性法决定系統的动态性能

在計算和研究自动調节系統时, 除了靜态特性外, 还必須

弄清楚系统的动态性能,也即系统在过渡状态中的情况。

在有外扰动时,闭环系统中便产生过渡状态。外扰动可以是以负荷变化的形式作用到调节对象上,但也可以是,譬如说,以给定值的变化对调节器产生作用(图1)。在一般情况下,外扰动可以为任意形式,但在自动调节理论中最经常采用的是单位阶跃形式的典型扰动。

如果对处于平衡状态的系统施加扰动,就引起过渡过程。根据系统的参数情况,这个过程可以是衰减性质的,也可以是发散性质的。对前一种情况讲来,我们说系统闭环稳定,因为经过若干时间后,系统自然地趋于平衡状态。处于第二种情况,系统是不稳定的,因为系统不能恢复平衡状态。

为了研究闭环的自动调节系统(CAP)的稳定性和过渡过程,必须列出系统总的运动微分方程式,解出这个微分方程式就能够得到闭环系统过渡过程的形状来。系统微分方程式是在系统各元、部件方程式的基础上排出的。对用高阶微分方程式描述的系統,如要得到特征方程式的根和它的解,就要涉及到大量的计算工作。

实际上,一般是用频率特性法来研究线性系统。频率特性法有两个显著的优点:首先是过渡过程的图形可以用間接的办法得到,而不要去求特征方程式的根;第二是被研究的系统的频率特性不单可以用计算的方法得到,而且还可以用实验的办法获得。因而,计算的结果可以比較简单地用实验的办法加以验证。

复放大系数

假如在某一环节的輸入端加上等幅的諸波振蕩(图7a),則过一段时间后,在輸出端也出現同样频率的諸波振蕩。但