

现代调节器 及其应用

王永初 任秀珍编著 重庆出版社

现代调节器

及其应用

王永初 任秀珍编著

重 庆 出 版 社
一九八六年·重庆

责任编辑：张镇海

封面设计：熊克强

现代调节器及其应用 王永初 任秀珍编著

重 庆 出 版 社 出 版 (重庆李子坝正街102号)
新 华 书 店 重 庆 发 行 所 发 行
重 庆 印 制 一 厂 印 刷

*

开本: 787×1092 1/32 印张: 19.625 插页: 5 字数: 402千
1986年12月第一版 1986年12月第一次印刷
科技新书目: 121—206 印数: 1—2,800

书号: 15114·12 (平装本) 定价: 3.40元

前 言

自动化装置中最主要的一种仪表就是调节器，有人认为调节器对自动化系统的作用相当于人脑对人体的作用一样重要。近十多年来，调节器经历了许多变化，众多新型的调节器相继出现，可以预料，在不久的将来会有更多新型的调节控制仪表投入市场，在国民经济中发挥作用。可是，目前有些人仅仅了解PID调节器，对于许多新型的调节控制仪表不够熟悉。有些人甚至认为PID调节器已经满足要求了，似乎没有多大必要来研究新型的装置。其实，近十多年来，控制理论和仪表元器件发展相当迅速，调节器的发展不能不适应时代的科学技术潮流，本书介绍的许多新型调节装置就是一个例证。在这部书里，我们将向读者介绍四十多种工业调节器，包括许多新型与特殊的调节装置；其实新型调节器远远不止这些。我们认为掌握了新型调节器实际上就是掌握了新型控制系统的设计，应该充分认识到研究新型调节器的重要性；这些新型调节器的规律很容易移植到微处理机中来，这也是智能调节装置的基础。

陈思录同志在百忙中审阅了本书，提出许多宝贵的修改

意见，我们表示衷心的感谢。尽管我们呕心沥血地编写了此书，但是因为我们水平不高，见识有限，书中错误与缺点肯定不少，恳切欢迎同行专家和读者批评指正。

编著者

83年9月

• 2 •

内 容 提 要

本书着重介绍根据现代控制理论发展起来的新型调节器，如非线性类调节器、数字类调节器、鲁棒调节器、节能调节器、自适应调节器和智能调节器等；此外，对常用的PID调节器、位式调节器、补偿器等也作了新的探讨。本书共介绍40余种调节器，对这些调节器的作用原理、线路组成、参数调试及应用实例都作了详细的阐述。

本书供工业自动化、自动化仪表等专业的师生，以及生产过程控制、仪器仪表方面的有关科技人员参考。

目 录

第一章 概述	(1)
一、调节器在自动化系统中的作用.....	(1)
二、什么样的控制系统才有调节能力.....	(4)
三、工业调节器的发展.....	(5)
四、调节器的设计依据.....	(10)
第二章 PID 调节器	(18)
一、状态调节器.....	(19)
(一) 状态空间的描述方法.....	(19)
(二) 状态调节器的设计.....	(22)
二、连续PID 调节器.....	(27)
(一) 气动PID调节器.....	(28)
(二) 电动PID调节器.....	(36)
三、多阶微分PID 调节器.....	(80)
四、抗积分饱和PID调节器.....	(89)
(一) 抗积分饱和调节器.....	(89)
(二) 抗积分饱和PID调节器的组成.....	(91)
(三) DTT-2105 抗积分饱和调节器.....	(95)

五、浮压调节器 (或称阀位调节器).....	(97)
(一) 浮压调节系统.....	(97)
(二) 浮压调节原理.....	(99)
(三) 浮压调节器的线路组成.....	(104)
六、PI-P 切换调节器.....	(108)
(一) PI-P 切换调节.....	(108)
(二) PI-P 切换调节器的组成.....	(109)
(三) 调节器参数的确定.....	(114)
七、给定伺服跟踪调节器.....	(114)
(一) 给定伺服跟踪调节器的应用.....	(114)
(二) 调节器的组成.....	(116)
八、数字时序程序给定PID 调节器.....	(121)
(一) 时间程序给定温度调节.....	(121)
(二) 程序给定器的组成.....	(122)
第三章 非线性调节器.....	(133)
一、继电型调节器.....	(133)
(一) 典型系统的构成.....	(133)
(二) 继电调节器的构成.....	(134)
(三) 调节器的设计.....	(137)
(四) C_4 与 C_5 可调的位式开关部件.....	(153)
(五) 继电型调节器的应用.....	(156)
二、二位式调节器.....	(158)
(一) 二位调节.....	(158)
(二) 二位式调节器线路的组成.....	(159)
(三) 极限环的估计.....	(161)

三、时间比例调节器	(162)
(一) 时间比例调节	(162)
(二) 时间比例调节器的组成	(163)
(三) 调节器参数的确定	(168)
(四) 输入回路	(170)
(五) 时间比例调节器的整定	(174)
四、开关反馈型二位PID调节器	(176)
(一) 离散二位PID调节	(176)
(二) 调节器的组成线路	(177)
(三) 调节器的参数整定	(183)
五、变比例增益PI调节器	(185)
(一) 变比例增益PI调节	(185)
(二) 调节器的组成	(186)
(三) 线路参数的确定	(189)
六、间歇调节器	(190)
(一) 间歇调节	(190)
(二) 间歇开关调节器的组成	(192)
(三) 调节器参数的确定	(194)
七、采样调节器	(196)
(一) 采样调节	(196)
(二) 调节器的组成	(197)
(三) 采样调节器参数的确定	(198)
第四章 线性补偿调节器	(208)
一、串联补偿器	(208)
(一) 常用的线性补偿器	(208)

(二) 表征系统特性的参数·····	(211)
(三) 线性补偿器参数的确定·····	(216)
二、反馈补偿器·····	(227)
(一) 常见的反馈补偿器·····	(227)
(二) 补偿器参数的确定·····	(230)
三、均匀调节器·····	(233)
(一) 均匀调节·····	(233)
(二) 均匀调节器的组成·····	(234)
(三) 结构参数的分析·····	(238)
四、纯滞后补偿调节器·····	(241)
(一) 纯滞后补偿调节·····	(241)
(二) 纯滞后单元的实现·····	(242)
(三) 纯滞后补偿器核心线路的组成·····	(249)
五、前馈调节器·····	(249)
(一) 前馈调节·····	(249)
(二) 补偿函数的确定·····	(251)
(三) 前馈调节器的组成·····	(253)
六、P-L 调节器·····	(256)
(一) P-L 调节·····	(256)
(二) P-L 调节器的组成·····	(257)
(三) 调节器结构参数的确定·····	(259)
七、微分先行PID 调节器·····	(264)
(一) 先行微分的作用·····	(264)
(二) 微分先行PID 调节器的组成·····	(265)
八、中间微分PID 调节器·····	(267)

(一) 中间微分调节	(267)
(二) 中间微分调节器的组成	(269)
(三) 调节器结构参数的确定	(270)
第五章 多变量调节器	(273)
一、自整配比调节器	(273)
(一) 自整配比调节	(273)
(二) 自整配比调节器的组成	(275)
(三) 自整配比调节器的参数确定	(277)
二、取代调节器	(278)
(一) 取代调节	(278)
(二) 取代调节器的组成	(278)
三、负荷分配器	(282)
(一) 负荷分配调节	(282)
(二) 负荷分配调节器的组成	(283)
(三) 调节器参数的确定	(284)
四、综合调节器	(286)
(一) 综合调节	(286)
(二) 综合调节器的组成	(287)
(三) 调节器的参数设置	(295)
五、补偿式解耦调节器	(298)
(一) 解耦调节	(298)
(二) 解耦调节器的组成	(298)
(三) 解耦调节器的参数确定	(303)
六、对角优势解耦调节器	(305)
(一) 对角优势的定义	(305)

(二) 判断对角优势矩阵的方法·····	(308)
(三) 解耦调节器的组成·····	(309)
(四) 调节器参数的确定·····	(311)
第六章 最优调节器·····	(321)
一、偏差最小的优化调节器·····	(323)
(一) 调节模式的选择·····	(323)
(二) 调节器的组成·····	(324)
(三) 调节器参数的确定·····	(326)
二、时间最优调节器·····	(334)
(一) 一阶惯性对象·····	(335)
(二) 一阶积分或二阶积分对象·····	(341)
(三) $\frac{K_0}{s(Ts+1)}$ 对象·····	(347)
(四) 通用时间最优调节器·····	(349)
(五) 时间最优控制准则·····	(352)
三、双模与三模调节器·····	(353)
(一) 双模调节·····	(353)
(二) 双模调节器·····	(354)
(三) 三模调节器·····	(356)
四、极值调节器·····	(357)
(一) 步进式极值调节器·····	(358)
(二) 利用正弦波作试探信号 的极值调节器·····	(364)
(三) 极值调节器的参数整定·····	(374)
五、节能调节器·····	(380)

(一) 节能控制.....	(380)
(二) 节能控制的原理.....	(380)
(三) 调节器的组成.....	(383)
(四) 调节器线路参数的确定.....	(386)
六、具有观测器的最优调节器.....	(387)
(一) 具有观测器的反馈控制系统.....	(387)
(二) 调节器的设计.....	(392)
七、SPC调节器.....	(404)
(一) SPC控制系统.....	(404)
(二) SPC调节器的组成.....	(406)
(三) SPC调节器的应用.....	(408)
第七章 自适应调节器.....	(411)
一、对象静态增益变化的自适应调节器.....	(412)
(一) 静态增益变化的自适应调节.....	(412)
(二) 静态增益变化自适应调节器.....	(413)
的组成原理.....	(413)
(三) 调节器的组成.....	(416)
(四) 调节器的参数选择.....	(419)
二、时间常数变化的自适应调节器.....	(424)
(一) 时间常数变化的自适应控制.....	(424)
(二) 调节器的组成.....	(427)
三、通用自适应调节器.....	(432)
四、鲁棒调节器.....	(433)
(一) 鲁棒调节.....	(434)
(二) 鲁棒调节器的组成.....	(437)

五、维持操作频率恒定的自适应调节器·····	(452)
(一) 恒操作频率的控制方法·····	(452)
(二) 自适应调节器的组成·····	(453)
(三) 调节器的参数选择·····	(458)
第八章 智能调节器·····	(462)
一、微处理机·····	(462)
(一) 微处理机的组成·····	(462)
(二) 微处理器·····	(463)
(三) 存贮器·····	(485)
(四) 微处理机的输入与输出接口·····	(490)
二、基本控制模式·····	(511)
(一) 调节功能模块的实现·····	(511)
(二) 调节模块的应用·····	(530)
(三) 非线性功能模块·····	(544)
三、利用微处理机实现智能控制·····	(554)
(一) 计算机自动修改静态模型的系数·····	(555)
(二) 利用微处理机实现 二次型数字调节器·····	(569)
(三) 利用微处理机实现超稳定性控制·····	(578)
参考文献·····	(613)

第一章 概 述

一、调节器在自动化系统中的作用

调节器是自动化系统的中枢，相当于头脑在一个人中的作用一样。当检测仪表与调节阀按规定的方法^[1]选择时，自动化系统设计的主要工作可归结为调节器的选型或制作。只有在调节器正确选择的场合下，才可以期望通过调节器的参数整定获得一个令人满意的控制品质。兹举直流电机调速系统为例。图 1-1 为可控硅控制的直流电机转速控制系统的组成框图。图中放大器、触发器与可控硅起着执行/调节机构的作用，接受串联校正电路的输出电压信号，去改变可控硅

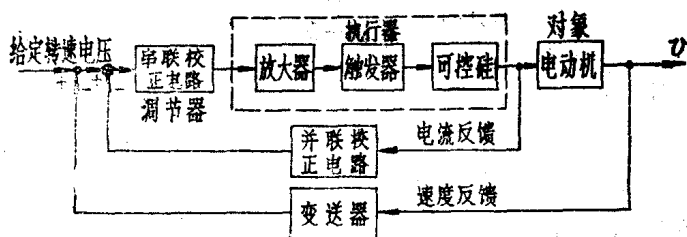


图 1-1 直流电机调速控制系统方框图

的导通角，从而改变直流电机的激励，使得直流电机的转速改变。给定转速电压与反馈电压在串联校正电路输入端进行比较。加入电流反馈回路即并联校正电路的目的是提高控制系统的响应速度，降低外界扰动的影响。在这样的一个系统中，并联校正电路与串联校正电路的作用相当于调节器，直流电机转速控制系统设计的好坏，在很大程度上取决于这两个电路的形式与参数的选择。

图 1-2(a)、(b) 表示某造纸厂造纸机转速控制系统所采用的并联与串联校正电路。由图 1-2 可以求得电路的输出对

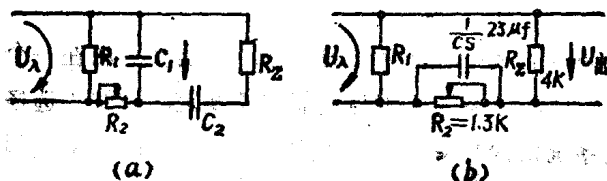


图 1-2 并联与串联校正电路

(a) 并联校正用的电路; (b) 串联校正用的电路。

于输入的传递函数。在图 1-2(a)中，由于 C_1 较小，计算时略去不计，则得并联校正电路的传递函数为

$$M_1(s) = \frac{K_M s}{T_M s + 1} \quad (1-1)$$

其中

$$K_M = R_2 C_2$$

$$T_M = (R_1 + R_2) C_2$$

调整 R_2 可以调整 T_M 的大小。由图 1-2(b) 得到的传递函数为

$$M_2(s) = \frac{K_2(\hat{T}_1 s + 1)}{\hat{T}_2 s + 1} \quad (1-2)$$

其中

$$K_2 = \frac{R_2}{R_2 + R_1}$$

$$\hat{T}_1 = R_2 C_1$$

$$\hat{T}_2 = \frac{R_2 R_2 C_1}{R_2 + R_2}$$

图 1-3(a)、(b) 分别为这两个校正环节的单位阶跃响应曲线。

加入这两个环节以后电机速度控制系统变得稳定，这是为什么呢？

式(1-1)与式(1-2)表示一种信号的运行关系，我们称它为调节模式。在工业控制系统中一般把对给定值与测量值偏差进行运算，然后发出控制指令使执行机构（或调节阀门）动作的调节模式称为调节模型，而称实现调节模型的装置为调节器，并将对某一个测量信号进行补偿的运算关

系称为补偿模型（或校正模型），对实现补偿模型的装置称为补偿器。从广义的角度上说，补偿器是专门用于对某个信号进行动态或静态修正的调节器。

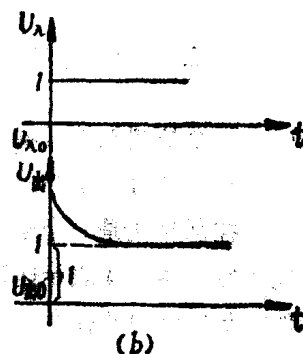
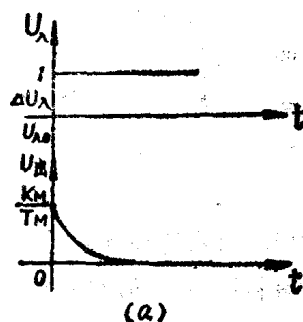


图 1-3 校正环节的阶跃响应曲线

- (a) 并联校正环节的阶跃响应曲线；
(b) 串联校正环节的阶跃响应曲线