

# 自动化技术进展

I

科学出版社

73.8  
12.5  
1:2

# 自动化技术进展

(I)

王新民 吕应祥

薛景瑄 龔炳錚

科学出版社

## 內 容 簡 介

“自动化技术进展”是介绍自动化领域内各分支学科科学研究工作进展情况 & 发展趋向的综述性文集。

在这一集中,收集了 1962 年在中国自动化学会自动控制理论专业会议上宣讀过的論文共三篇:“自适应控制系统综述”;“脉冲控制理论综述”及“不变性理论及其发展综述”。各篇综述都以 1962 年以前在各种期刊和专著中所刊登的論文为依据,系統、扼要地介绍了这些方面研究工作的进展情况 & 其发展趋向。各篇之后都附有詳細的文献目录。

本文集可供从事自动化事业的科研人員、教师及大学高年級学生等参考之用。

## 自 动 化 技 术 进 展

(I)

王新民 吕应祥 著  
薛景璋 龔炳鈺

\*

科学出版社出版 (北京朝阳門大街 117 号)

北京市书刊出版业营业許可証出字第 061 号

中国科学院印刷厂印刷 新华书店总經售

\* \* \*

1963 年 12 月 第 一 版

书号: 2837 字数: 116,000

1963 年 12 月 第一次印刷

开本: 850×1168 1/32

(京) 0001—5,300

印张: 4 5/8

定价: 0.80 元

2k562 / 01

## 序

近数十年来,自动化技术的发展速度异常迅速。它在生产过程自动化、宇宙航行、原子能的和平利用等方面,都占有极为重要的地位。

解放以后,在中国共产党的领导下,自动化技术在我国亦有了飞跃的发展。它在国民经济及国防建设各部门中,都获得了广泛的应用。从事这方面工作的专业队伍,亦逐渐地成长壮大。

目前,国际上有数十种关于自动化技术的专业性期刊;还有大量的这方面的科学论文刊登在数学、物理、力学、电子学、宇宙航行、原子能等其他专业期刊上。这些论文的总数每年都有数千篇。因此,及时地、系统地、按自动化技术领域各主要分支学科分门别类地对这些科学论文进行综述,明确所研究的问题以及目前解决的程度,并提出需要进一步研究的问题,便于从事这方面的工作人员了解各分支学科的发展情况及趋向,对于我国自动化技术的发展,可以起一定的促进作用。

有鉴于此,中国自动化学会在举行各种专业性会议时,经常组织并邀请有关人员作自动化技术主要分支学科的专题综述报告。本书中收集的三篇论文,都是1962年12月在中国自动化学会自动控制理论专业会议上宣读的综述报告,经与会者讨论,并经作者修改和补充。

第一篇综述是关于自适应控制系统问题。在飞行物体的控制问题中,对象的特性随着时间及外界环境的改变而作剧烈的变化,控制对象的主要参数在一分钟内可能改变数十甚至数百倍;在生产过程中,描述控制对象的微积分方程式可以高达二十阶以上,输入量与输出量数目很多,内在反馈回路错综复杂。在研究类似这些系统的控制问题时,若是采用简单的反馈办法、选取固定形式的

調節規律而求得的控制系統，一般并不能滿足預定的性能要求；因而我們必須不斷地獲得有關系統本身的工作情況以及環境條件，並相應地改變調節規律，使整個控制系統具有適應內部及外界條件變化的性能。這就是自適應控制系統要解決的主要問題。這篇綜述列舉了許多組成自適應系統的方案，討論了各種方案所存在的問題，並對本質上是屬於多迴路、非線性的自適應控制系統的理論問題進行了敘述。

第二篇綜述是關於脈沖控制系統的理論問題。採用脈沖形式來傳遞、加工信息，可以提高裝備與通道的利用率，提高抗干擾性能。若同時採用信號整量化的方法，還可以提高傳遞和加工信息的精確度。目前，脈沖與數字控制系統已廣泛地應用在科學技術的各個領域中。例如，飛行物體的無線電定位和操縱，具有多通道的複雜的工業控制系統，包含有數字計算機的各种控制系統等。研究這類控制系統的組成、分析和綜合是脈沖與數字控制系統理論的主要內容。這篇綜述介紹了近年來在分析與綜合線性、非線性、具有隨機信號等脈沖控制系統所進行的理論工作的主要內容。

第三篇綜述討論不變性原理及其發展。實際控制系統不可避免地要受各種干擾的影響而產生誤差。如何降低，甚至完全消除干擾對系統的影響是研究不變性原理所要解決的中心問題。例如，为了提高控制系統的精確度、改善系統的動態性能等，我們可以根据不變性原理建立起複合控制方法：既採用按偏差的閉路控制方法，同時亦採用按擾動的開路補償方法。這種複合控制方法在陀螺設計、慣性導航、飛行物體的軌道控制、各種隨動系統等方面，都得到了廣泛的應用。這篇綜述比較詳細地介紹了線性常系數系統的不變性原理，並在這個基礎上進一步討論變系數、非線性、多變量、脈沖、極值控制、自整定、具有隨機信號等系統的不變性原理。

這三篇綜述比較全面扼要地介紹了在這三個專題方面的自動控制理論目前的发展情況。每篇綜述的後面，都附有文獻目錄，它基本上包括了1962年以前有關這三個專題的主要論文。

本书是介绍国内外自动化技术进展情况论文集的第一册。中国自动化学会在它今后所举办的各种学术活动中，仍将继续邀请有关人员，就自动化技术的各个主要分支学科的发展情况作综述报告，然后选编成论文集，陆续出版。对于已经进行了综述的专题，根据发展情况，在适当的时候，可以重新进行综述。此外，在这套文集中，还准备收集一些报导我国在自动化技术方面研究成果的中篇著作。

中国自动化学会衷心地希望得到广大读者、专家们及学会会员们的支持和协助，来充实这套论文集的内容，并不断地提高它的质量。

陆元九

代中国自动化学会作序

1963年8月

## 目 录

|                    |            |
|--------------------|------------|
| 一、自适应控制系统綜述·····   | 王新民、呂应祥(1) |
| 二、脉冲控制理論綜述·····    | 薛景瑄(52)    |
| 三、不变性理論及其发展綜述····· | 龔炳錚(75)    |

# 自适应控制系统综述

王新民 吕应祥

近年来,在自动化技术领域内,自适应控制日益引起人们广泛的兴趣和普遍的重视。在文献中正在不断地、大量地涌现出有关自适应控制理论和实际应用的报导。

自适应控制系统是根据自适应观点建立起来的控制系统<sup>[1]</sup>。它能够不断地根据自己获得的有关系统本身或周围条件的信息,改变自己的参数或结构,使控制系统始终具有良好的动态特性。在更完善的自适应系统中,它还可能具有“学习”的机能,根据自己累积起来的控制经验,不断地改善自己的控制性能。

自适应控制系统的产生及其迅速成长是与当前国防尖端技术的发展和生产过程综合自动化迫切的需要密切相关的。在五十年代中期,自动调节理论已发展到相当完善的地步。但是,应用这些理论尚不能圆满解决实际所提出的许多重要控制问题。在飞行物体控制中,对象特性往往是由几个低阻尼振荡环节组成,其振荡频率是随外界环境剧烈变化的。在位置控制系统中,时常要求很大的放大倍数以保证需要的静态精确度,而同时又需要系统频带很窄以减少干扰影响。在生产过程中,系统往往非常复杂:对象阶数高达二十次以上,输入量与输出量的数目很多,反馈回路错综复杂等等。应用通常的反馈系统,往往难于圆满地解决上面所述的一些问题,因而迫切需要寻求新的组成系统的思想与观点。与此同时,电子学、计算技术已发展到很高的阶段,人们开始采用数字或模拟计算机作为控制系统的部件。科学家和工程师重新研究了控制系统的基本要求,并根据应用计算机的观点重新组成控制系统。在这样的基础上产生并发展了自适应控制系统及其理论。

在自适应控制系统中,需要根据内部或外界的条件,不断地改变系统的参数或结构。因此,它必需具备两种重要的基本元件:测量与系统内部或外界条件变化有关的信息的元件和实现改变系统结构或参数的元件。前者的任务是在尽可能短的时间内,获得有关内部或外界条件变化的具有一定精确度的信息。后者则是根据获得的信息,按照一定的规范或准则,对系统进行整定。而获取所需的信息和按照一定规范组成系统是自适应控制系统中两个基本问题。

自适应系统是个特殊的多回路系统。除了通常的控制回路以外,它还具有获取所需信息与整定系统参数或结构的特殊回路。它通常包含有为完成某些非线性运算的计算装置或逻辑元件。因此,自适应控制系统是个非线性的多回路系统。由于系统中存在着随机干扰或人为引进的随机信号,在很多情况下还必需研究系统中的随机过程。问题的复杂性还在于在有些系统中存在着被整定参数的自动搜索过程。由此可见,研究自适应控制系统的动力学是项非常复杂和重要的任务。

目前在文献中已发现了大量有关自适应控制方面的文章。在这些工作中采用了各式各样构成系统的原则及其具体实现方案。在文献[2—4]中对有关的工作进行了综述。但是,在这些综述里,有的内容已经过于陈旧<sup>[2]</sup>,有的只是根据少数文章或对某种类型的系统进行总结<sup>[3—4]</sup>。因此,有必要对自适应控制系统另作综述。

本综述内容主要包括三个部分。第一部分是自适应系统的分类。在那里按照获取所需信息的方法和整定系统的规范进行分类,并且论述了各类系统的构成原则及其实现方案。第二部分是对象动态特性的测定。在这一部分内叙述了对象特性测定中的基本问题以及具体的测定方法。第三部分是自适应控制系统的动力学。对各类系统的动力学问题进行了初步的分析。在本综述中,有些部分采用了文献[4]中的某些观点,并作了作者认为合适的修改与补充。

## 一、自适应控制系统的分类

近年来,在文献中发表了大量的有关自适应控制系统方面的著作。在这些著作中,采用了各式各样的构成系统的基本原则,而组成的系统也具备着相互不同的特点。因此,对自适应控制系统进行有系统的分类,揭示出各类系统固有的特征,无疑的,对进一步研究开展有关自适应控制方面的工作有着极其重要的意义。

自适应控制系统可以按照各种不同的观点进行分类。在已有的文献中,有的从达到适应作用的行为作为分类的依据<sup>[2,3]</sup>,有的则从进行自适应时所采用的“自动设计”的方法作为划分类别的准则<sup>[5]</sup>。

按照第一种分类方法,自适应控制系统可划分为五大类别:

(1) **被动式自适应系统** 这类系统在进行适应时,不需要变更系统的参数与结构。

(2) **按输入信号进行调整的自适应系统** 这类系统是按照输入信号的特性,改变自己的参数或结构。

(3) **极值搜索式的自适应系统** 这类系统需要对参数进行整定,使系统的某个质量指标的数值一直保持在极值附近。

(4) **按输出信号进行调整的系统** 这类系统不断测量自己的座标,并对有关参数进行整定,使系统的座标保持在一定的允许范围之内。

(5) **按系统或对象特性进行调整的系统** 这类系统不断地测定自己的特性,按照测得的特性对系统结构或参数进行整定,使系统具有希望的特性。

在有些系统中可以同时具备上述几种适应性能。

“自适应控制系统是具有自动设计回路控制系统”<sup>[5]</sup>。从这种观点出发,文献[5]的作者建议按照系统中采用的自动设计的方式把自适应系统划分为两大类:

(1) **具有按逻辑设计方式自动设计回路型的自适应系统**

在这类系统中,系统参数按照逻辑推理方式进行整定,以保证系统

质量指标经常处在最佳值附近。

## (2) 具有按解析设计方式的自动设计回路型的自适应系统

在这类系统中,参数是跟随着系统或对象的现时特性进行整定,以使系统具有一定的预期的特性。

按照达到适应作用的行为进行分类的缺点,在于没有抓住自适应控制系统的本质问题,而只是按照表面上的一些差异进行划分。因此,在上面两种分类方法中,以第二种分类方法较为恰当。但是,系统自动设计所采用的方式在一定程度上是取决于能够获得的信息。自适应控制系统只是根据可能获得的有关信息进行加工处理,然后按照一定的规范或准则改变系统的结构或某些参数。因此,我们拟按照获得信息的方式进行分类,再按照实现自适应的整定准则或规范对各类系统作进一步的划分。(附带说明,在文献[4]中曾按照自适应整定规范对按照动态特性进行调整的自适应控制系统进行划分)。

根据以上的考虑,我们拟将自适应控制系统划分如下:

1. 间接获取所需信息的自适应系统。
  - 甲. 极值搜索式的自适应系统。
  - 乙. 不经搜索直接进行整定的自适应系统。
2. 直接获取所需信息的自适应系统。
  - 甲. 获取局部信息的自适应系统。
    - A. 保持系统阻尼系数不变。
    - B. 保持系统振荡频率不变。
    - C. 保持系统频率特性大致不变。
  - 乙. 获取完整信息的自适应系统。
    - A. 过渡过程时间最短。
    - B. 时间误差绝对值乘积积分或时间误差平方乘积积分值最小。
    - C. 均方误差值最小。
    - D. 系统输出量的最佳近似。
    - E. 开路传递函数不变。

現仅把上述分类分別作必要的說明。

## 1. 間接获取所需信息的自适应系統

这类系統的特点是:在实现自适应控制时,不需要知道有关系統或对象的动态特性,进行自适应所需的信息是通过某些选定的系統質量指标間接地被获得。在这类系統中往往应用具有各种特性的模型作为获取所需信息的手段。

系統所采用的自适应方式与选用的系統質量指标密切相关。当选用的質量指标具有极值的特性时,系統的自适应通常通过参数最佳值的自动搜索来进行的。当采用其它的質量指标时,系統的参数一般不需自动搜索,而是按一定的准则进行整定。因此,間接获取所需信息的自适应控制系統可以划分为极值搜索式的自适应控制系統和不經搜索直接进行整定的自适应控制系統。

### 甲. 極值搜索式的自适应系統

在这类系統中,質量指标是控制系統参数的具有极值的函数。系統参数通过自动搜索,始終保持在对应于系統質量指标的极值——也就是最佳值——的附近。A. A. 克拉索夫斯基 (Красовский)<sup>[6,7]</sup>、W. K. 泰勒 (Taylor)<sup>[8]</sup>、A. A. 費列巴姆 (Фельдбаум)<sup>[9]</sup>、И. Е. 卡扎科夫 (Казakov)<sup>[10,11]</sup>、B. H. 維里金 (Вырыгин)<sup>[12]</sup>、B. B. 拉凱 (Lackey)<sup>[13]</sup>、R. J. 麦克格雷思、V. C. 賴伊陶烏特和 V. 腊賈腊門 (McGrath, Rideout, Rajaramen)<sup>[14,15]</sup>、J. M. 奈提盖耳 (Nightingale)<sup>[16]</sup>、J. L. 道斯和 R. E. 金 (Douce, King)<sup>[17]</sup> 等人都在这类系統方面进行了些工作。

在文献 [6, 7, 13—15] 中,采用了理想系統的模式,而系統質量指标則是系統輸出信号与模型輸出信号之差  $\epsilon$  的均方值或其他偶函数。系統参数进行自动搜索以使質量指标值保持最佳。图 1 所示的是克拉索夫斯基所采用的系統方块图。图中  $f(t)$  是随机信号,它可以是系統固有的控制信号,也可以是附加的随机試探信号。 $\delta x_i$  是各整定参数的搜索信号,它也是随机的。系統中采用同步检相器以确定  $\epsilon^2$  的梯度,各整定参数按梯度法向极值逼近。

在文献[8, 10, 11]中则不采用理想模型,而直接应用系统输入信号与输出信号之差  $e(t)$  的绝对值的平均值作为质量指标。

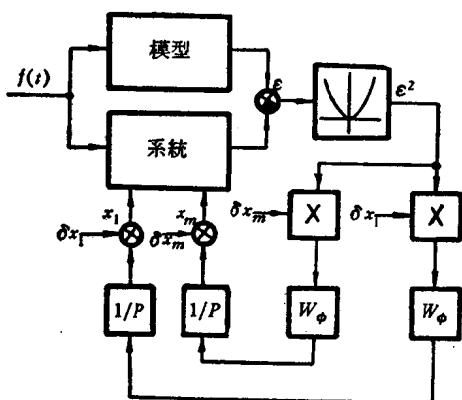


图 1

图 2 是文献[8]中所采用的方块图,系统中所需整定的参数,通过自动搜索,按梯度法向极值逼近,使系统质量指标值处在最佳值附近。

在文献[9]中,除了要求保证质量指标的数值

$$Q = F(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

为最佳外,各个被整定

参数  $x_i$  尚需满足一些附加条件,即:

$$H_j(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq 0,$$

$$j = 1, 2, \dots, n.$$

在极值搜索式的自适应系统中,系统参数是用自动搜索的方法整定的。因此,在进行自适应时,不需要知道对象或系统的传递函数或脉冲过渡过程特性。所以在复杂的自动控制系统中采用这类自适应方法是有其方便之处。但是,当需要搜索整定的参数数目增加时,系统反应

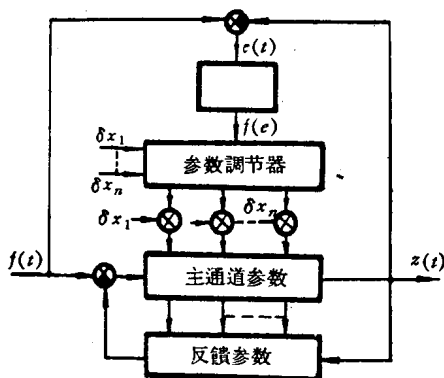


图 2

速度一般将显著下降,稳定性能也将变坏。

## 乙. 不经搜索直接进行整定的自适应系统

在这类系统中,间接获得的信息是按一定的规范或准则直接

整定系统的参数，而不必通过参数的自动搜索。应用具有各种特性的参考模型是这类系统中获取所需要的有关信息的主要方法。

近几年内已经发表了不少有关采用参考模型并按选定的规范直接进行整定的自适应控制系统文章。在 H. P. 韦泰克 (Whitaker) 所研究的系统中<sup>[18]</sup>采用了一个参考模型作为获取有关对象特性信息的方法 (见图 3a)。在没有输入信号时，开关  $S_2$  和  $S_3$  都闭合在接点  $b$  处。而输入信号则是不规则的阶梯函数  $f(t)$  (见图 3b)。每当  $f(t)$  的强度变更时，开关  $S_2$  和  $S_3$  都闭合到接点  $a$  处，经  $T_1$  和  $T_2$  时刻后再分别回复到原来的  $b$  处。显然，两个速度随动系统输出轴的位置增量是与误差准则

$$Q_1 = \int_0^{T_1} \varepsilon(t) dt$$

和

$$Q_2 = \int_0^{T_2} \varepsilon(t) dt$$

成正比。开关  $S_1$  的闭合位置随输入信号  $f(t)$  的极相而变异，以保证误差信号  $\varepsilon(t)$  的极相不因输入信号  $f(t)$  的极相而有所变动。这样，每当  $f(t)$  信号强度变动时，系统参数  $K_x$  和  $\beta_x$  分别作与  $Q_1$  和  $Q_2$  相应的整定，直至误差准则  $Q_1$  和  $Q_2$  满足下列关系式为止，

$$Q_1 = Q_2 = 0.$$

在这种类型的系统中，选定合适的误差准则作为整定参数的规范或准则是组成系统的关键。所选定的整定规范应对它自己所整定的参数有较大的灵敏度，而与其他参数应尽可能地无关。此外，选定的整定规范应唯一地确定一组参数值，并且使被整定的参数以最快速度向这组参数值逼近。

在 R. C. 斯密思 (Smith) 的工作中<sup>[19]</sup>采用了正弦形的试探信号，加至模型和系统的输入端 (参见图 4)。计算装置根据系统及模型输出信号的幅度或相移，对系统调整装置的放大倍数进行整定，以使系统输出信号的幅度或相移不变。

J. J. 邦乔尔努 (Bongiorno) 则考虑采用参考模型和反馈系

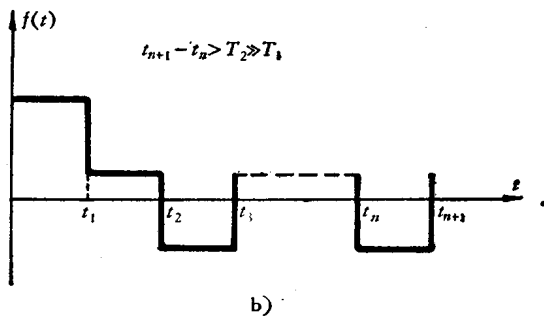
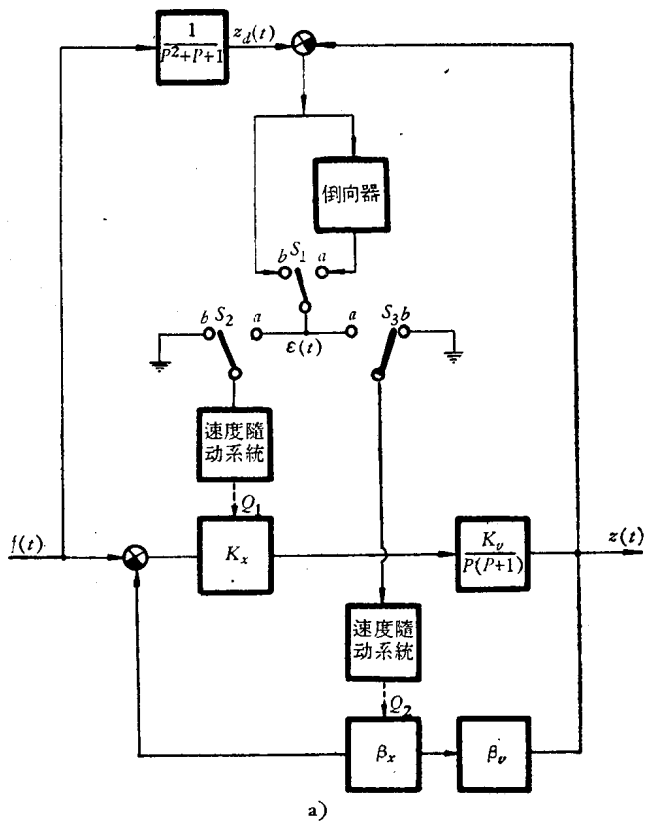


图 3

統相結合的办法来改变自适应控制系統的性能<sup>[20]</sup>。在他的系統中(參見圖 5)採用的參考模型不一定具有理想系統的特性。因此控制對象比較容易整定得與模型相似。至於系統所需要的理想特性,則可以由外面的校正裝置與反饋系統來保證。在這系統中不需採用任何試探信號,因此,可以減輕控制系統有關部件的磨損。

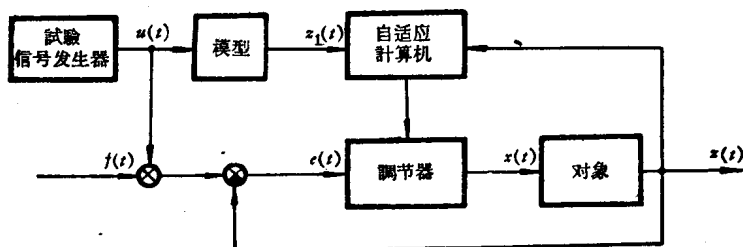


圖 4

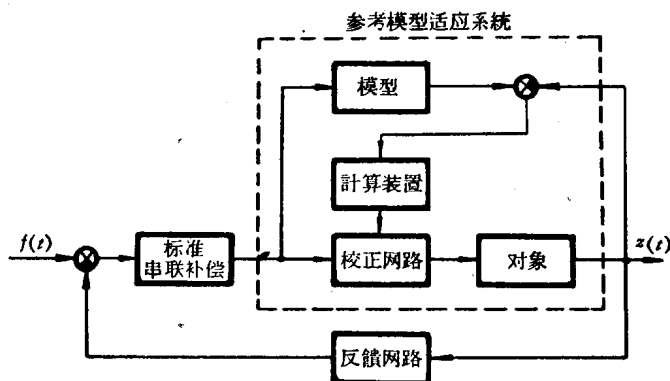


圖 5

利用參考模型對系統參數直接進行整定的自适应系統一般都應用在系統比較簡單、階次比較低的場合里。在文獻[21]中 E. A. 休伯 (Huber) 提出了一種應用在高階系統的一種想法。在他所建議的系統里,採用的模型具有與理想系統傳遞函數成倒數的傳遞函數 (在一定的頻率範圍內兩者的幅頻特性乘積是個常數)。因此,模型輸出信號  $z_1(t)$  與系統輸入信號在一定意義上相等 (參見

图6)。图中的截止網路是为了滤去  $z_1(z)$  和  $f(z)$  中的高频成分。两个截止網路的输出信号经过比较后送至计算装置。后者输出再经整定装置,直接整定系统的校正装置,使系统传递函数始终是模型传递函数的倒数。

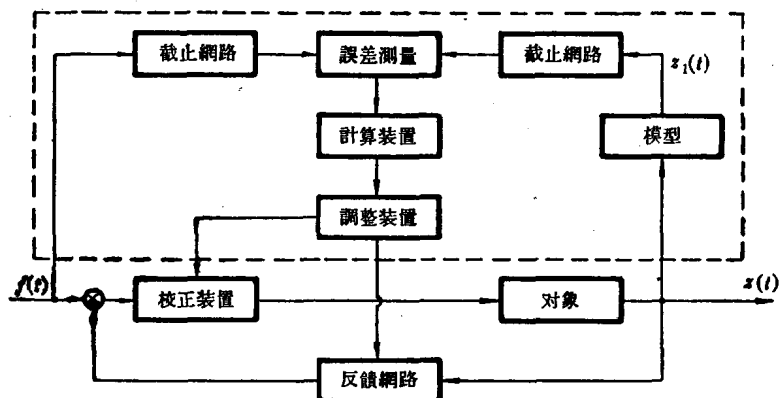


图 6

从以上的讨论可见,在这类系统里,系统参数可以直接整定,而不通过自动搜索。因此,这类系统的反应速度可以比较高。但是,一般来说,这类系统大都用在对象阶数较低的情况。而参考模型的选择和自适应整定规范的确定是这类系统中的关键问题。

## 2. 直接获取所需信息的自适应系统

在这类系统中,实现自适应所需的有关信息是用直接测量的方法得到的。

在获取控制对象或系统的有关信息时,可以测定它的脉冲过渡过程特性、传递函数或频率特性,也可以测定足以表征这些特性的几个主要参数。因此,可以把这类系统划分为获取局部信息的自适应控制系统和获取完整信息的自适应控制系统。(注:这里所说的完整信息是指对象或系统的传递函数、脉冲过渡过程特性等,与文献[22,23]中所指的有所不同)。

在测定对象或系统特性时,可以引入各种试探信号,也可以利