

新控制原理

张南纶 著

国防工业出版社

<http://www.ndip.cn>

新控制原理

张南纶 著

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

新控制原理是指逻辑控制原理。逻辑控制的核心是“工况”这一概念,人们按工况认识和控制对象运动。

全书共分七章,包括控制的基本概念、逻辑基础——泛布尔代数、基本控制作用、控制器参数与性能关系的计算、稳定性分析、控制器的工程设计、因果关系的概念、性能与控制作用的因果性解释、复杂系统运动逻辑控制的一般性概念等方面内容。

本书可作为工科院校控制专业的研究生、本科生、专科生的教材,也可供相关的工程技术人员和科研工作者参考。

图书在版编目(CIP)数据

新控制原理/张南纶著. —北京:国防工业出版社,
2005.1

ISBN 7-118-03586-6

I. 新... II. 张... III. 逻辑控制—理论
IV. TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 092287 号

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

天利华印刷装订有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 15 341 千字

2005 年 1 月第 1 版 2005 年 1 月北京第 1 次印刷

印数:1—4000 册 定价:23.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店: 68428422

发行邮购: 68414474

发行传真: 68411535

发行业务: 68472764

前 言

逻辑控制是研究人类进行控制活动时的思维控制模型或规律以及这些模型或规律在实际控制中的应用。

逻辑学是研究人类思维规律的科学,也包括研究人类进行控制活动时的思维模式和规律,因此逻辑控制属于逻辑学科;但将研究后得到的模型、规律应用到控制系统中去,这便是控制学科的工作。控制工作者只是认为:以往控制中对象的数学模型被现在研究所得的可以判断真假的复杂命题组成的逻辑控制模型所取代了。显然,逻辑控制处于逻辑和控制学科的边缘领域。

谈及思维控制模型是指通过有意识的思维活动所得到的知识。这便与我们使用语言密切相关。

首先要针对控制活动用语言建立可以判断真假的命题,再进一步将系统控制的语言组合成各种形式的复杂命题。在组合方法上必须有一定规则,只要严格依照这一规则,就完全能够对实际控制活动的工况真假作出惟一判断。再进一步,按照这个惟一的已判断好的工况进行“如何操作、控制”思维并作出决策,系统就能够得到控制。

我的同事和我对上述意义下的思维控制模型做了点工作:在逻辑上发现了一条有异于布尔代数公理的规律,一个因素内的多个相互否定的状态服从的逻辑规则称为状态律,建立了泛布尔代数,重新认识了普遍适用的三条思维规律,即同一律、矛盾律和排中律,重新认识了因果关系,重新认识了归纳推理;在控制方面我们认识到,人们按工况认识和控制对象运动。二阶系统的运行工况(或模式)与相平面上的各个区域一一对应,而二阶系统运动则由受到各区域控制作用力控制的相平面——受控相平面而决定。工况是系统最小逻辑单元,即泛布尔代数中的泛小项,它对应于控制系统的最基本性能(如,上升时间、超调量、稳态误差等)。给出了相应适当的控制作用,则相轨迹和响应可按性能的要求而改变,系统便可以用单一控制作用来完成最基本性能指标的调整,甚至于改变了对象模型还能保持良好的性能。在逻辑控制系统中,系统的稳定性主要由控制器的参数来决定,而对象的稳定性要求也不严格了,对不稳定对象实施这种控制,系统也能保持稳定性能。总而言之,新控制原理——逻辑控制原理是:根据不同的运行工况(相平面分区)而实施不同的控制作用,在运动中改变原有系统微分方程(相平面不同区域有不同的微分方程)、运动轨迹,因而控制效果更好。三阶对象按此原理也能控制,但需要考虑相空间的分区问题以及相应的控制作用力的大小——受控相空间决定了三阶系统的运动。在这里逻辑规则、判断工况起着重要的基础作用,具体对对象实现这种控制便成为逻辑控制。

我们将探讨的结果汇集成本书。

至于为什么逻辑伴随着经验和语言习惯的生成过程而产生?为什么人们按工况认识和控制对象运动?人类在进行控制思维活动时,实际大脑进行了什么样的生理变化?这些问题至今无人所知。在逻辑和控制的边缘上,有各种各样的问题等待我们去探索。

目 录

第一章 逻辑控制概述	1
1.1 水位控制	1
1.1.1 人工控制过程	1
1.1.2 控制过程的因果性语言陈述	2
1.2 基本概念与术语	4
1.3 逻辑控制系统的特点和要求	7
1.4 非工程领域的逻辑控制问题	10
1.5 本书概貌	12
第二章 逻辑基础——泛布尔代数	13
2.1 逻辑运算的实际来源	13
2.1.1 形式逻辑问题	13
2.1.2 一类复杂开关电路问题	16
2.2 泛布尔代数公理体系	19
2.2.1 数学模型	19
2.2.2 泛布尔代数公理体系	21
2.3 泛布尔函数的标准形式	28
2.3.1 泛布尔函数的表示	28
2.3.2 泛布尔函数式的标准形式	33
2.3.3 泛小项	35
2.3.4 “与或”式标准形式和范式定理	39
2.4 公式化简方法	40
2.4.1 化简的一般原则	40
2.4.2 利用状态律(A9)的合并项法	41
2.4.3 利用状态变量本身性质的合并项法	42
2.4.4 消除法	43
2.4.5 吸收项法	44
2.5 图域化简方法	44
2.5.1 逻辑图的构造方法	44
2.5.2 在逻辑图上表示泛布尔函数	49
2.5.3 泛布尔函数的图域化简方法	50
2.6 文献及历史回顾	58
参考文献	59

第三章 基本控制作用	60
3.1 逻辑控制产生背景	60
3.1.1 控制决策的中心问题	60
3.1.2 PID 控制	60
3.1.3 模糊控制的启示	62
3.2 逻辑控制的基本形式	62
3.2.1 基本型逻辑控制器产生前的思考	62
3.2.2 系统控制策略的语言陈述	63
3.2.3 控制作用的工程化表示	66
3.2.4 控制作用的相平面表示	67
3.2.5 逻辑控制器两种结构	67
3.3 基本控制作用(1):稳态控制作用	69
3.3.1 预备性叙述	69
3.3.2 系统工况与性能指标	74
3.3.3 控制作用与系统运动的一般性叙述	76
3.3.4 稳态控制作用分析	77
3.3.5 K_0 控制作用小结	80
3.4 基本控制作用(2):动态控制作用	81
3.4.1 引言	81
3.4.2 动态控制作用详述	81
3.5 零带对性能指标的影响	96
3.5.1 误差零带的平移	96
3.5.2 误差零带的宽窄	97
3.6 文献及历史回顾	98
参考文献	99
第四章 参数计算及稳定性分析	100
4.1 理想五态控制器	100
4.1.1 引言	100
4.1.2 理想五态控制器	100
4.1.3 分析工具	101
4.1.4 五个控制作用	102
4.1.5 计算原理简述	104
4.1.6 控制过程简述	105
4.1.7 不同对象仿真举例	107
4.2 控制过程计算说明	111
4.2.1 二阶欠阻尼对象控制过程说明	111
4.2.2 二阶临界阻尼对象控制过程说明	118
4.2.3 二阶过阻尼对象控制过程说明	119
4.3 五态控制器参数分析	121

4.3.1	二阶欠阻尼系统	122
4.3.2	二阶临界阻尼系统	125
4.3.3	二阶过阻尼系统	127
4.4	稳定性分析	129
4.4.1	阻尼系数 $\xi=0, \omega_n^2>0$, 系统处于无阻尼状态	131
4.4.2	阻尼系数 $\xi>1, \omega_n>0$, 系统处于过阻尼状态	134
4.4.3	阻尼系数 $1>\xi>0, \omega_n>0$, 系统处于欠阻尼状态	136
4.4.4	阻尼系数 $0>\xi>-1, \omega_n>0$	137
4.4.5	阻尼系数 $\xi<-1, \omega_n>0$	139
4.4.6	具有正、负实根的对象	140
4.4.7	稳定性与控制作用关系小结	142
4.5	文献及历史回顾	142
	参考文献	143
第五章	柔性控制及控制器工程设计	144
5.1	斜坡输入下的跟踪	144
5.1.1	斜坡输入下的跟踪过程总说明	144
5.1.2	基本控制作用	146
5.2	柔性控制系统	152
5.2.1	柔性控制器结构	152
5.2.2	柔性控制与刚性控制异同	153
5.2.3	仿真举例	156
5.3	控制器工程设计初步	157
5.3.1	控制器工程设计思路	158
5.3.2	受控相平面图	158
5.3.3	控制标志线	160
5.3.4	各作用力大小的实际确定	161
5.3.5	规则表	165
5.3.6	控制规则的实施	165
5.4	文献及历史回顾	166
	参考文献	167
第六章	因果联系及寻求方法	168
6.1	现象的因果联系	168
6.1.1	必要且充分条件意义下的征兆	169
6.1.2	必要条件意义下的征兆及充分条件意义下的征兆	171
6.1.3	必要条件意义下的原因及结果	173
6.1.4	必要且充分条件意义下的原因及结果	174
6.1.5	因果关系讨论小结	176
6.2	因果联系的寻求方法	177
6.2.1	寻求必要条件意义下的征兆	177

6.2.2	寻求充分条件意义下的征兆	181
6.2.3	寻求必要且充分条件意义下的征兆	182
6.2.4	寻求必要条件意义下的原因及结果	184
6.2.5	寻求必要且充分条件意义下的原因及结果	185
6.2.6	归纳推理产生的原因	187
6.3	建立在逻辑思维上的控制	189
6.3.1	传统逻辑的思维规律	189
6.3.2	状态变量性质及状态律提示的思维规律	190
6.3.3	控制基础是逻辑的	191
6.4	因果分析应用举例	195
6.4.1	帕金森氏病诊断数据分析	195
6.4.2	因果关系的反演规律的提示	197
6.4.3	病例中所蕴含的全部逻辑规则	198
6.5	文献及历史回顾	201
	参考文献	201
第七章	复杂系统控制	202
7.1	迟延系统的控制	202
7.1.1	利用控制作用 K_0 的迟延系统控制方法	202
7.1.2	将迟延环节变换成系统内部工况的控制方法	208
7.2	非线性系统的相平面分析	209
7.2.1	研究非线性控制系统的意义	209
7.2.2	处理非线性控制系统的思路	209
7.2.3	常见的非线性特性	210
7.2.4	各种非线性环节的处理方法	212
7.3	系统运动逻辑控制的一般性概念	216
7.3.1	引言	216
7.3.2	系统运动逻辑控制的一般性概念	216
7.3.3	工况	218
7.3.4	规则	222
7.3.5	三维逻辑控制器	223
7.3.6	基于逻辑控制模型的控制实践	228
7.4	文献及历史回顾	229
	参考文献	229

第一章 逻辑控制概述

逻辑控制早已广泛应用于工程和科学的各个领域之中。从灯光开断、电机通断直至复杂的顺序控制,其理论基础是布尔代数。但是因为布尔代数的变量取值和变量的状态均为二,因而限制了其应用范围。控制中常见的单环定值控制系统也不易用布尔代数实施控制,更不用说高阶、多环复杂系统的控制了。

本书奉献给读者的逻辑控制,其基础是泛布尔代数。因为其变量取值和所取的状态分开而呈现出良好的应用前景,并使逻辑控制模型的讨论成为可能。为了对逻辑控制的概貌有一个认识,我们以“水位控制”为例开始逻辑控制的叙述。

1.1 水位控制

研究一个水位控制系统,希望利用人工的观察判断和操作维持水位在设定刻度附近允许范围内。操作员利用控制阀来调节流入槽内的流量 q , 流量随控制阀 k 的阀门开度而变化,用此来控制水位 h 的高低。图 1.1.1 是用人进行手动控制的示意图。

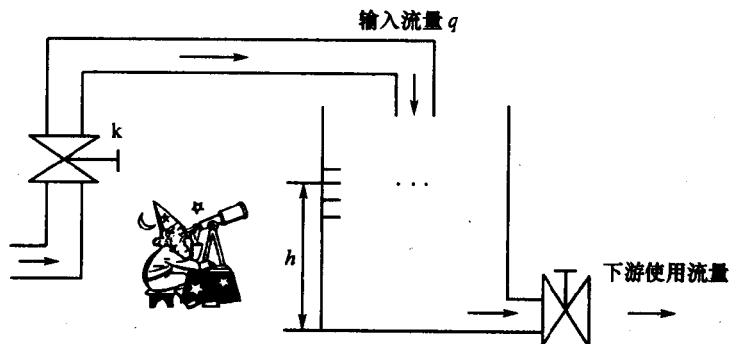


图 1.1.1 水位人工控制示意图

1.1.1 人工控制过程

当人的眼睛观察到实际水位低于设定刻度允许范围时,操作员用手正向旋转阀门 k 使阀门开度增大,结果输入流量 q 增加,因而水位上升至期望水位。

当人的眼睛观察到实际水位就在设定刻度附近允许范围内时,操作员不动阀门 k ,即保持原来的阀门开度,以便维持原来状态不变,或者说维持原输入流量,从而水位维持在设定刻度附近允许范围内。

当人的眼睛观察到实际水位高于设定刻度允许范围时,操作员用手反向旋转阀门 k ,

使阀门开度减少,结果输入流量 q 减少,因而水位下降至期望水位。

水位手动控制方块图如图 1.1.2 所示。显然,上述控制过程可以用条件—操作表 1.1.1 来表示。

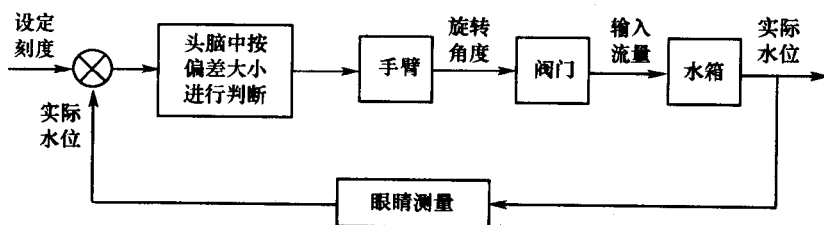


图 1.1.2 水位手动控制方块图

表 1.1.1 水位手动控制表

条 件	操 作
实际水位低于设定刻度允许范围	正向旋转阀门
实际水位就在设定刻度允许范围内	保持不动
实际水位高于设定刻度允许范围	反向旋转阀门

1.1.2 控制过程的因果性语言陈述

上述思维控制过程可用“条件—操作”这类因果性语言陈述如下：

如果实际水位低于设定刻度允许范围,则正向旋转阀门;

如果实际水位就在设定刻度允许范围,则保持不动;

如果实际水位高于设定刻度允许范围,则反向旋转阀门。

将上述陈述中的联结词“如果……则……”更换成“因为……所以要……”或者更换成“若……就……”也是同样的意思,都表达系统的因果性陈述。

注意:这种“控制”中的各种命题能够用数学符号来代表。这些符号能够根据固定的逻辑规则加以处理,而得到适当的推理结论。

“实际水位低于设定刻度允许范围”用 x_1^1 表示,而 x_1^2 、 x_1^3 分别表示“实际水位就在设定刻度允许范围内”和“实际水位高于设定刻度允许范围”。我们可以严格地用逻辑真、假来断定命题的真假。用 0 代表“假”,1 代表“真”。那么“条件”的叙述则服从一些固定的逻辑规则。

这一逻辑规则是:在整个控制过程中 x_1^1 、 x_1^2 及 x_1^3 必须有一个条件为真,而且这三个条件彼此不可能同时为真,即

$$\begin{cases} x_1^1 + x_1^2 + x_1^3 = 1 \\ x_1^1 \cdot x_1^2 = x_1^1 \cdot x_1^3 = x_1^2 \cdot x_1^3 = 0 \end{cases} \quad (1.1.1)$$

这即是说,实际水位的观测值只能比“设定刻度允许范围高”或者比“设定刻度允许范围低”或者“就在刻度范围内”,而这三种情况只有一种情况成立,而不可能二种情况同时成立。很自然地,利用上述逻辑规则还能推出一些适当的结论。例如,若操作员观察到实

际水位不低于设定刻度允许范围,即 x_1^1 为假,又观察到实际水位不高于设定刻度允许范围,即 x_1^3 为假,则推理得出实际水位在刻度允许范围内,即 x_1^2 为真。

若将条件(命题)与操作(命题)联合起来考察也服从另外一些固定的因果性逻辑法则。我们将在本书第六章中予以介绍。

计算机是很容易处理上述逻辑问题的。计算机完成了上述处理过程就代替了人脑判断推理的工作。这样的控制系统是逻辑自动控制系统,简称“逻辑控制系统”。符号的运用使我们能用相当简单的形式表达非常复杂的控制,因此逻辑推理的错误将会减少到最低限度。这也为进一步探索创造了机会。

按上述控制方式已经能给予大致的控制了,但系统的控制性能还可以提高。有经验的人不仅观察偏差,而且观察偏差变化,则性能更好的控制过程可以用表 1.1.2 表示。

表 1.1.2 按偏差和偏差变化进行水位控制的规则表

偏差变化 偏差	水位继续变低	水位保持不变	水位继续变高
实际水位低于设定 刻度允许范围	正向旋转阀门使 阀门开度最大	正向旋转阀门 使阀门开度大	正向旋转阀门 使阀门开度稍大
实际水位就在设定 刻度允许范围	正向旋转阀门 使阀门开度微小	不旋转阀门使阀门 开度保持不变	反向旋转阀门使 阀门开度微小
实际水位高于设定 刻度允许范围	反向旋转阀门 使阀门开度稍小	反向旋转阀门 使阀门开度小	反向旋转阀门 使阀门开度最小

图 1.1.3 给出了按偏差和偏差变化控制的方块图。

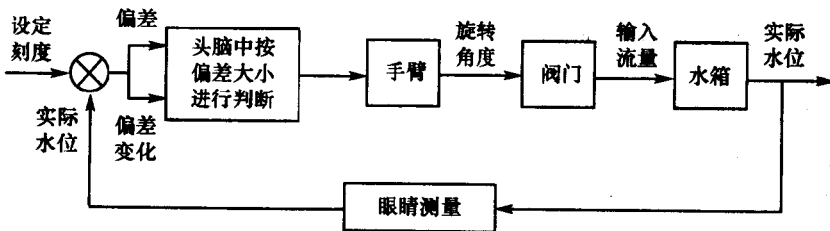


图 1.1.3 按偏差和偏差变化的水位人工控制方块图

显然,计算机完成上述过程也是逻辑控制系统。一般的逻辑控制系统如图 1.1.4 所示。

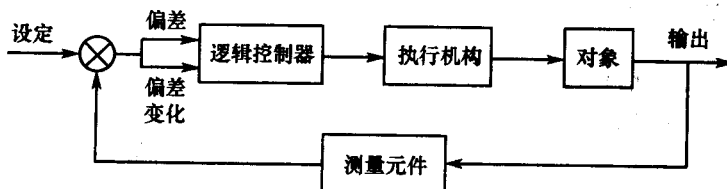


图 1.1.4 一般的逻辑控制系统组成框图

在自动控制的发展历程中,PID 控制是历史最久的基本控制方式。但以 PID 为代表的线性调节规律远非尽善尽美。传统的 PID 控制存在以下缺点:

- (1) 未解决系统性能指标、稳定性、准确性与快速性的矛盾;
- (2) 采用积分作用解决稳态误差,必然增大系统相位滞后而严重削弱系统响应速度;
- (3) 使用范围有限,实际整定困难;
- (4) 对对象参数变化敏感,参数鲁棒性不强。

人们尝试用变结构控制,在系统穿越不连续曲线面(超平面流形)时,采用逻辑开关强迫切换成不同的控制规律以改善系统性能指标,但是逻辑模型未讨论清楚,因而也产生另外一些不易克服的矛盾。

注意到上面“控制”中的各种命题能够用逻辑符号来代表。这些符号能够根据固定的逻辑规则加以处理,而得到适当的控制作用。整个系统也能有条不紊地工作。我们将开始这种逻辑控制基本概念与术语的叙述。

1.2 基本概念与术语

每一门科学都有其独特的概念、术语,逻辑控制也是如此。本节将对逻辑控制系统中采用的一些术语下一个定义。

1. 控制系统

由有因果联系的若干部分组合而成的具有特定功能的整体称为系统。系统不限于物理系统,可以理解为包含了物理的、生物的、经济的系统。

使系统达到要求性能的手段和方法称为控制。控制系统是指通过一定的控制方法,使系统达到要求的性能。这样的系统称为控制系统。

本书主要研究逻辑控制原理,而逻辑则与人的思维有关。

2. 概念

概念是反映对象本质属性和特征的思维形态。人们的思维活动就是一个运用概念,进行判断和推理的过程。

3. 思维

思维是人脑的机能,是对客观世界间接的概括的反映,语言则是实现思维和反映思维的工具。

4. 命题

命题是具有真假属性的语句。例如,“实际水位低于设定刻度允许范围”就是命题。

命题的真值是将命题的真和假称为命题的真值,真命题有真的真值,假命题有假的真值。

简单命题是不包括其它命题作为其构成成分的命题。例如,“实际水位低于设定刻度允许范围”就是一简单命题。

因果性命题是陈述某一命题是另一命题的因果性条件的命题。例如,“如果实际水位低于设定刻度允许范围,则正向旋转阀门”就是因果性命题。

系统陈述是系统因果性陈述,简称系统陈述,包括系统内所有因果性命题作为构成成分的命题组。例如:

“如果实际水位低于设定刻度允许范围,则正向旋转阀门;
如果实际水位就在设定刻度允许范围,则保持不动;
如果实际水位高于设定刻度允许范围,则反向旋转阀门。”

就是一系统陈述。

逻辑形式是指各种不同类型的判断和推理所具有的共同结构。本书研究与系统因果性陈述相关的结构。

5. 逻辑规则

逻辑规则是指在运用逻辑形式时遵守的各条规则的总称。

我们不仅要了解逻辑上的概念及术语,还要关心系统运动情况,因为这是逻辑控制中组成命题的基础。下面叙述关于系统运动的几个概念和术语。

6. 因素

因素是系统表现出来的特征的抽象。在控制中我们称因素是系统表现出来的运动特征的抽象。例如,系统运动中所呈现的“给定值的偏差”、“偏差变化”、“偏差变化的变化”等等。这些关于系统运动性质的抽象是人们作出对运动判断、控制、决策的直接起点。它不是反映某一个系统的运动的个别特征,而是一般系统运动的特征。

偏差、偏差变化、偏差变化的变化等因素是直接由人们长期观察系统运动的特征而形成的,来自于一种可观察的现象,是经验事实的一种抽象。它们是系统运动特征的不相容并列概念。

7. 状态变量

状态变量简称变量是取真值为0、1的逻辑变量,是系统表现出的运动特性在数量方面的抽象。

系统表现出来的运动特征是偏差、偏差变化、偏差变化的变化等,但这些因素概念并未给出数量方面的说明,而“偏差为负”、“偏差变化为正”等则是人们在因素基础之上的进一步断定、分类,称为状态变量。状态变量是人们在因素基础上,对系统运动判断、控制、决策的直接依据。状态变量又是对因素这一运动特征抽象的进一步量化的说明。状态变量也超出了作为对个别系统运动进行判断、控制、决策的个别特征,而是对一般系统运动进行判断、控制、决策都共同有效的特征。

状态变量和因素概念之间有属种关系的量的说明。例如,“偏差变化”是一个因素,而“偏差变化为正”是一个状态变量,二者之间便有属种关系的量的说明。

上述两种抽象均是表征性抽象,都是对可观察的系统运动特征的初始抽象。下面介绍的则是另一类更复杂的表征性抽象。

8. 工况

工况又称模式或运行模式,描述了系统的工作状况或运行模式;它是不同因素中的状态变量的逻辑积。例如,“偏差为正且偏差变化为正”就是一个工况。在这里,偏差、偏差变化是两个因素,而“偏差为正”和“偏差变化为正”是两个因素在数量上的说明,是状态变量;工况则是两个状态变量“偏差为正”及“偏差变化为正”的逻辑积,是一个复杂的表征性抽象。

一个工况在相平面上对应着某一特定区域。例如,“偏差为正且偏差变化为正”就是特指相平面上那特定区域。一个系统的工作状况或运行模式就可在整个相平面上得以了

解。

通过这样一类复杂的表征性抽象,人们得以全部认识系统运动状况,并且在此基础上利用认识的规律作出判断、决策而形成原理性抽象。

9. 思维控制模型

思维控制模型亦称概念控制模型,是研究者通过抽象化、理想化的想象对被研究控制系统(系统原型)的性质和控制本质关系的再现。思维控制模型可以借助语言、符号、图表及其它方式形成并固定下来,使系统达到要求性能。模型虽然由人建立,但它作为客观存在受自然界客观规律支配。通过思维控制模型形成并发展理论及方法,这是科学研究中常用的方法。但要注意:对于同一对象可以建立不同的思维控制模型。例如,对于前一节所叙述的水位控制系统,我们便给出了两个思维控制模型。

10. 逻辑控制模型

逻辑控制模型简称模型,反映了系统行为变化的控制根据。其定义是:系统的行为或所有的控制动作由该系统所有的输入因素的状态变量组合所决定的一组符号化规则来描述。这组规则称为该系统的逻辑控制模型,或者说,逻辑控制模型是思维控制模型的符号化表示。对于同一控制对象可以有不同的逻辑控制模型。

11. 逻辑控制

逻辑控制是泛指按一组概念表示的系统运行工况模式和对应的操作、决策的“逻辑控制模型”进行的控制,并使系统达到要求的性能。这样一个过程称为逻辑控制。显然,逻辑控制包含着一组命题的真假判定,这也构成逻辑控制的本质特征。

12. 闭环系统

系统输出的运动特征信号对控制作用能产生直接影响的系统称为闭环系统。显然,按工况不同而产生不同的控制作用的逻辑控制系统便是闭环系统,其组成框图如图1.2.1所示。

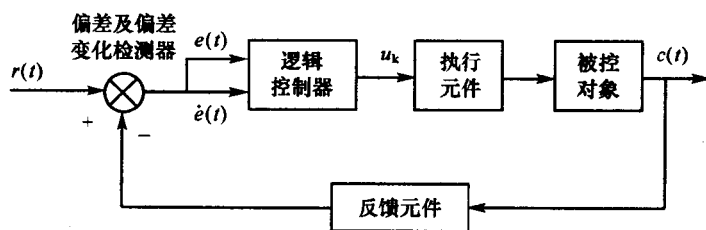


图 1.2.1 逻辑控制系统组成框图

系统输出的运动特征信号对控制作用不能产生直接影响的系统称为开环系统。显然,同一工况而有同样的控制作用的逻辑控制系统也是某种意义下的开环系统。

同时具有闭环系统和开环系统特征的控制系统称为闭环系统。本书主要叙述的逻辑控制系统就是这种闭环系统。

最后我们列出熟知的一些概念和术语。

参考输入 $r(t)$: 输入到控制系统的主令信号。

反馈输入 $b(t)$: 与输出量成正比或某种函数关系,量纲与参考输入信号相同的信号。

控制器输入(1)、 $e(t)$: 误差信号,又称偏差信号,是参考输入与反馈之差的信号,是

系统表现出来的运动特征之一。

控制器输入(2)、 $\dot{e}(t)$:误差变化信号,又称偏差变化信号,是本次偏差信号与上次采样偏差信号之差的信号,也是系统表现出来的运动特征之一。

对二阶系统而言, $e(t)$ 与 $\dot{e}(t)$ 信号构成逻辑控制器输入信号,是机器模拟人们思维、作出系统运动工况(模式)的判断,给出相应动作的直接起点。

逻辑控制器:特指一类控制器,接受偏差信号及偏差变化信号,并对上述信号进行数量上的抽象形成状态变量,由状态变量各种可能情况的组合(即工况)决定给出控制对象的相应输出信号。这样的控制器称为逻辑控制器。

控制量 U_k :由逻辑控制器决定,作用到被控对象的信号。

执行元件:作用于被控对象,并使其完成预定性能的组件。

被控对象:简称对象,被控制的设备或过程。

被控量:或称系统输出 $c(t)$,简记 c ,是被控制的物理量。

反馈元件:将被控量转换为反馈输入信号的装置。它可以对被控量进行测量并转换成能与输入信号进行比较的量纲和数值。所以反馈元件也称测量元件。

误差检测器:又称比较环节,它的输出等于输入和反馈信号之差。箭头有“+”号为加,“-”为减。

很明显,根据不同工况实施不同的控制作用,这也是本书的主要论述部分。

1.3 逻辑控制系统的特点和要求

相比于常规控制方法,逻辑控制有以下特点。

1. 理论基础不同

逻辑控制的理论基础是泛布尔代数,一种新的逻辑工具。实践控制时强调的是逻辑控制模型。常规控制的理论基础是微分方程。在实践控制时强调的是对象的数学模型。

2. 控制的方法不同

逻辑控制方法是判断由状态变量组成的反映偏差及偏差变化趋势的系统运行工况,根据不同工况按事先规定好的控制量进行输出,因而带有“主动控制”方式。

常规控制方法是按系统偏差进行控制。它不能事先规定它的控制量,而只是改变其控制量直到输出与设定值一致为止。因而带有“被动控制”方式。

3. “控制”观点不同

逻辑控制是将控制看成系统能量消耗与补充的过程。能量不够则补充,能量多余则消耗。定值控制就是寻找能量消耗与补充平衡处,以期达到系统的平衡区域或相平面期望区域。

常规控制则是将控制看成改善系统时域响应的工具,以期达到设定值。

4. “控制”表达的意义不同

在逻辑控制中,状态变量所表示的含义均为数学表达式,例如“偏差为负”即为 $e < 0$,但是所有表达式只是构成零散、孤立的具体表达式,而只在通过逻辑将所有表达式联成一个整体才能形成控制器。因而“控制”可以表述成是逻辑的、主导的、决策的作用。

常规控制则缺少逻辑的主导的决策的“控制”。“控制”可以表述成以数学微分方程、

零极点配置为主导的 PID 控制。

5. 控制性能处理方式不同

在逻辑控制中,由于引入了工况或模式的概念(该概念对应的是系统的最小逻辑单元),因此原控制系统的性能指标,如上升时间、延迟时间、超调量、稳态误差等就表现在逻辑系统中的一个工况中。因而该工况对应的事先规定好的控制量便被单独赋有完成该性能指标的任务。换言之,系统的某一性能由工况对应的控制作用单独完成,即性能指标被分解,完成性能指标的方法简单可行。

常规控制不能很好地完成性能分解,只能寻求某几种性能指标的折中。

6. 控制器的结构不同

控制器被看成由 9 个工况及对应的控制作用力构成,其结构如图 1.3.1 所示。即是说,原系统被看成是 9 个不同工况,不同作用力的控制功能的叠加。这给实际设计控制系统带来方便。若超调性能要求高,我们可以单独设计或增加设施以便在“偏差为负,偏差变化为负”工况时完成系统迅速消耗能量的任务。

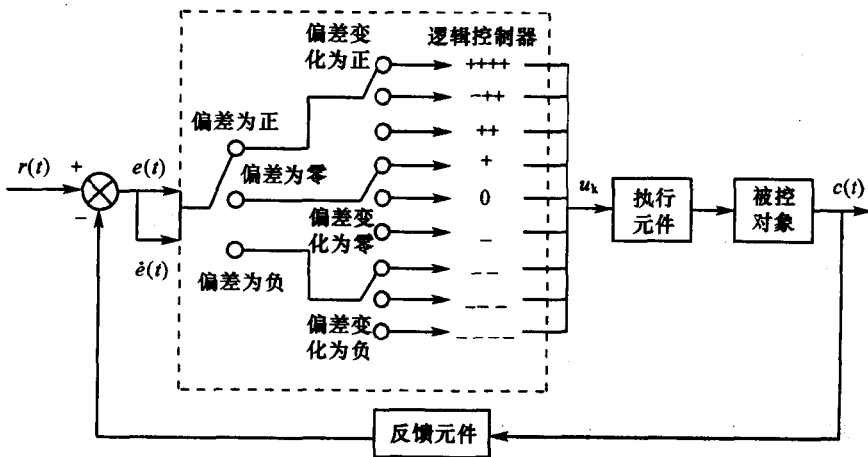


图 1.3.1 逻辑控制器的 9 个工况及对应的作用力

常规控制器无法简单地分解结构。

以上特点在很大程度上克服了前面所叙述的 PID 控制器缺点,并能使逻辑控制得以广泛应用。

总之,设定值为常值的逻辑控制被看成具有一定逻辑结构的不同工况、具有不同作用力的 9 个功能共同作用的结果。在这种情况下,基本性能如上升时间、延迟时间、超调量、稳态性能等就由相应工况的控制作用力所惟一决定。基本性能对应着系统的最小逻辑单元(工况),逻辑地对因素分类促成了系统性能分解,逻辑控制的作用已明白地呈现出来。

通常存在正确运用或错误运用逻辑规则问题。以水位手动控制系统而言,错误地或不应用逻辑规则,系统无法完成工况的正确判断,因而自然达不到预期的控制效果。因此“正确运用逻辑规则”是逻辑控制系统最基本的要求。

除此之外,只有逻辑控制系统的性能满足一定要求时,才算完成任务。对逻辑控制系

统性能的要求有 3 种,即稳定性、动态性能和稳态性能(稳态误差)。

我们直观地叙述稳定性的要求。

“偏差在允许范围内”且“偏差变化在允许范围内”的工况(即系统的稳态平衡区域)称为平衡工况或稳态工况。系统从某一确定工况到平衡工况的过渡过程称为动态过程或暂态过程。单位阶跃响应可能有 4 种形式,如图 1.3.2~图 1.3.7 所示。图 1.3.2、图 1.3.3、图 1.3.4 中的 3 种情况是稳定的,因为它们最终的运动都在平衡工况内进行。图 1.3.2、图 1.3.3 两种情况趋向于相平面原点,而图 1.3.4 的情况则是在“偏差在允许范围内”且“偏差变化在允许范围内”这一平衡工况区域内形成极限环。为看清“允许偏差范围内极限环——等幅振荡”情况,将图 1.3.4 响应曲线相应部分放大,其结果如图 1.3.5 所示。图 1.3.5 清晰地显示“偏差在允许范围内”的振荡情况。图 1.3.6 更进一步清晰地显示“偏差在允许范围内”出现的极限环。图 1.3.7 这种情况是不稳定的,因为最终不能保持在平衡工况区域内。

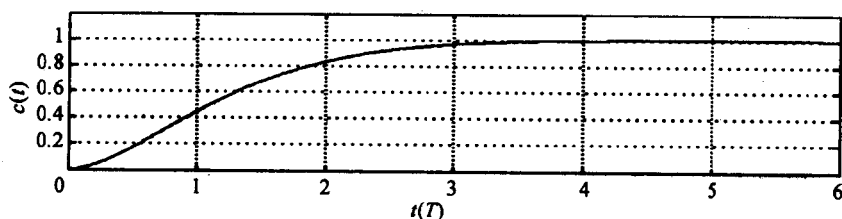


图 1.3.2 单位阶跃的响应之一,单调过程

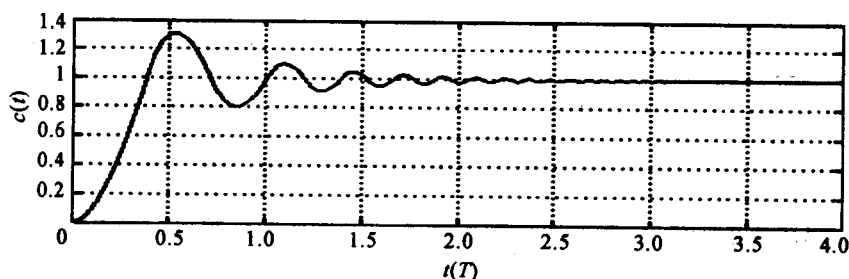


图 1.3.3 单位阶跃的响应之二,衰减振荡过程

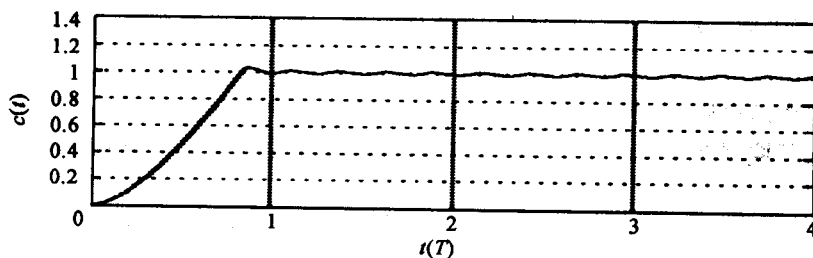


图 1.3.4 单位阶跃的响应之三,在允许偏差范围内等幅振荡运行图