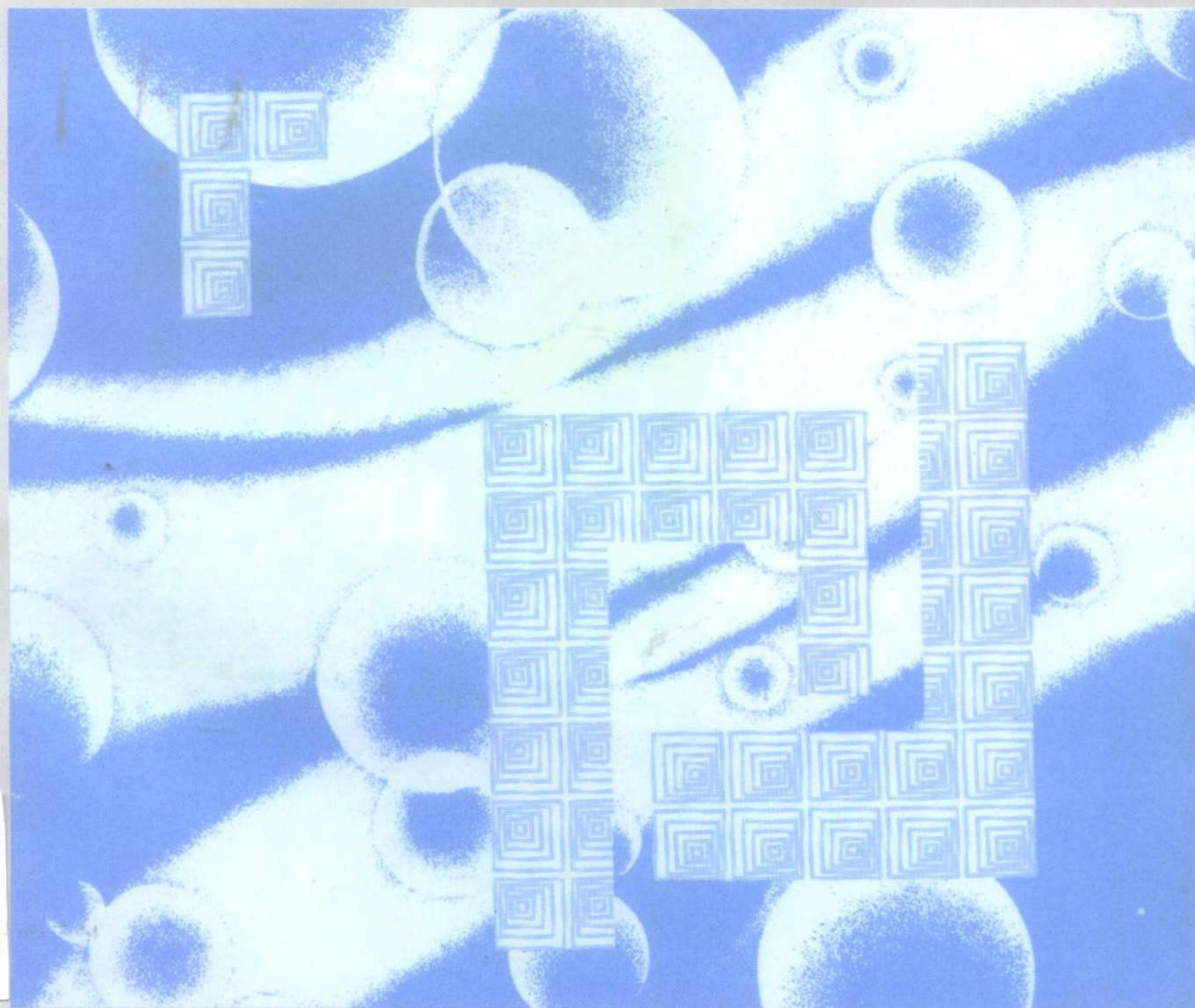


顺序控制

——新理论及设计法

〔日本〕电气学会

翻译 韩生廉 吴惠仙



同济大学出版社



内 容 提 要

EAIS/118

本书全面系统地总结和归纳了顺序控制领域的最新成果。全书共七章,分别叙述了顺序控制技术的历史和基本概念;深入探讨了顺序控制系统的特征、组成、控制语言,基于 Petri 网的表现法与解析法和系统的设计方法以及知识工程在顺序控制系统中的应用。

本书适合我国高校有关院系本科生、研究生作教材,也可供工程技术人员和科研人员使用。

本书根据日本电气学会编辑发行的《シーケンス制御工学》1992年9月第2版翻译出版。本书由日本电气学会授权同济大学出版社独家翻译出版中文版本。

书 名 顺序控制

著 者	[日本] 关口隆 等
译 者	韩生廉 吴惠仙
审 校 者	蒋式勤
出 版 者	同济大学出版社
印 刷 者	同济大学印刷厂
发 行 者	同济大学出版社总发行

开 本	787 × 1092 1/16
印 张	12.25
字 数	310 千字
版 次	1998 年 9 月第 1 版
印 次	1998 年 9 月第 1 次
印 数	1—5000

ISBN 7-5608-1931-1/TP.211

定 价 21.00 元

中文版序言

传统的顺序控制技术,以继电器控制为中心,它重视以现场的技术、经验为基础的个别 Know-how(知识)。因而,尽管顺序控制是生产技术中最基本的控制技术,并拥有相当悠久的历史,但它的体系化、理论化却姗姗来迟。电子技术、计算机技术和通讯技术的迅速发展,使以顺序控制为中心的自动化技术的面貌焕然一新。为了提高生产系统构筑、运行、维护的效率和可靠性,建立顺序控制的新体系和新理论是十分必要的。

日本电气学会面对上述课题,设置了顺序控制工程编辑委员会,系统地总结和归纳了顺序控制的成果,构成了本书。关于顺序控制技术的书籍虽然已有不少,但从工程学的角度把顺序控制体系化的,仅有此书。本书既可以作为大学的教科书,也可以作为技术人员和研究人员的专门参考书籍。正是因为本书充分考虑到生产技术的需要,出版九年以来,已经再版了五次。

中国目前正处于生产技术急速发展的阶段,我们相信,本书对于中国的科学技术人员及作为大学教科书,将和日本有同样的效用。

顺序控制磨炼了自己巧妙地解决离散系统固有的难题的技能,这种技能向我们展示了顺序控制能有效地面对连续系统所遇不到的新课题。从这种意义上也说明了顺序控制理论化的必要性。如果本书能为新系统技术的体系化、理论化抛砖引玉,我们将感到十分荣幸。

本书能在中国出版,我们要向付出了艰苦努力的同济大学教授韩生廉博士等致以深深的谢意。

工学博士 関口隆

1997年7月

序 言

日本电气学会创立于1988年,是学者、工程技术人员及有关电气法人的会员组织。开创时的主要目的是推动电气科学的研究与进步,谋求电气科研成果的推广,为促进科学技术与文化的发展作贡献。100多年来电气学会的活动范围越来越广,它的影响与作用令世人注目。

通信教育学会是电气学会的下属机构,成立于1947年,它的宗旨是通过出版和函授教育的方式完成电气学会赋予的使命。它出版的大学讲座系列书籍最多,被日本及外国各大学作为教材使用。通信教学学会通过函授学院、现场讲座等方式培养和造就了大批的技术人员及管理人员,为数不少的人受到了日本文部大臣的表彰和奖励。

随着科学技术的进步和新的学科领域不断被开拓,要求科技人员在知识方面必须跨越以往的传统领域。这种要求应首先反映在大学工学部讲义科目的多样化、内容的更新、时间的合理配制上。

我们通信教育学会编辑委员会以科学技术的进步和教育方法改革为目的,对全国各个大学与电气工程有关的学科和院系的讲义科目、内容、时间配置等进行了分析,广泛听取了教师和学生的意见,使我们能不断地出版和增订适应新形势的书籍,同时根据产业界的要求,我们也为现场技术人员出版了专门的技术书刊。

电气、电子工程的成果,几乎被所有的领域采纳和利用,电气、电子工程的知识,特别是这些知识的更新,对大学生、研究生和各领域的科技人员都有着无可估量的价值和意义。

通信教育学会制作和发行的教科书和各种书刊在国内外受到了高度评价,在通信教育学会学习的人数已经达到了数百万人,当年的学生已成为日本各个行业的带头人,活跃在各个领域内。

以上述目的和形势为背景编写的这本书,将为我国科学技术的发展和培养电气、电子工程技术人员助一臂之力。

最后,我要向本书提出宝贵意见和建议,提供资料的各大学教师,本书的执笔委员会的各位先生,为本书的制作不辞辛劳的各位工作人员致以衷心的感谢。

编辑委员会 工学博士 关根泰次

编者的话

本书是面向工科学生、研究生、工程技术人员和科研人员的技术书籍。书中收录了有关顺序控制的最新成果。在编写上力求体系化和理论化,力求易理解、易掌握,即使对于初学的学生,也会是一部极有力的教材。

顺序控制是极为重要的技术,它和反馈控制一样,拥有漫长的历史。传统的顺序控制结合了现场的操作技术,是以继电控制为中心的技术。伴随着可编程控制器的普及,新的顺序控制技术日趋成熟。可编程控制器,可以把多种多样的控制功能用软件来实现,并且可以通过通讯网络和计算机及各种控制装置联接起来,构成富有柔性的大规模系统。和计算机融为一体的自动化系统的主要组成部分就是可编程控制器。当我们展望自动化技术的未来时,就会进一步认识到以可编程控制器为中心的、新的顺序控制技术体系化、理论化的必要性。

本书分为七章。第一章绪论叙述了顺序控制的历史和现状,以便读者掌握其发展动向,理解顺序控制的基本概念。

第二章为顺序控制的特征,它是理解和掌握顺序控制系统的重要章节,主要讲述系统结构的特点和基本的信号处理方法。

第三章是顺序控制系统的组成部分。该章以硬件为中心,讲述可编程控制器的结构、工作原理、功能和使用方法。

第四章为顺序控制使用的语言。本章的目的是为了让读者理解 IEC 标准所规定的语言,通过与普遍应用的梯形图的对比,使读者理解 SFC 和其他语言。

第五章为 Petri 网的表现法和解析法,目的是为了让读者在学习(作为 SFC, GRAFCET 等新的表现法的根基)Petri 网的基本知识的基础上,进一步理解和掌握基于 Petri 网的顺序控制系统的表现法和解析法,同时说明在日本以 Petri 网理论为工具所开发的各种方法。

第六章为顺序控制系统的设计方法。这一章主要讲述了从要求分析到系统设计、软件设计和制作的具体设计手法,并给出了具体实例。

第七章为顺序控制系统在知识工程中的应用。这一章通过具体实例讲解了知识工程中如何应用顺序控制、设计支持系统和控制系统。

本书力图统一对待被控制的机器与对象,将系统设计,控制运行,维护保养,新的顺序控制系统的技术体系化和理论化。但到目前为止,世界上还没有同类的书籍可供参考,因此,不足之处在所难免,请读者批评指正。如果本书能为读者提供研究顺序控制的基础知识,我们将感到万分荣幸。

工学博士 関口隆

目 录

序 言

编者的话

第一章 绪 论	(1)
1.1 新顺序控制技术	(1)
1.2 顺序控制技术的历史	(1)
1.3 顺序控制的基本概念	(2)
第二章 顺序控制系统的特征	(5)
2.1 顺序控制系统的建模	(5)
2.1.1 顺序控制系统的结构	(5)
2.1.2 PC 动作的描述	(5)
2.1.3 控制装置的框图	(6)
2.1.4 控制对象的框图	(6)
2.1.5 顺序控制系统的建模及其特征	(7)
2.1.6 应用举例	(8)
2.2 控制对象的特征	(10)
2.2.1 静态系统和动态系统	(10)
2.2.2 反馈控制与顺序控制	(10)
2.3 顺序控制的处理方法	(13)
2.3.1 组合逻辑	(13)
2.3.2 状态的保持和解除	(15)
2.3.3 状态变化的检测	(15)
2.3.4 信号时间的处理	(15)
2.3.5 联锁	(17)
2.3.6 切换操作	(17)
2.3.7 基于顺序的处理	(17)
2.3.8 顺序的控制	(18)
2.3.9 控制的同步	(18)
2.3.10 竞争的处理	(19)
2.3.11 反复控制	(20)
第三章 顺序控制系统的组成	(21)
3.1 控制器的处理内容和外围电路	(21)
3.1.1 控制器的处理内容	(21)
3.1.2 输入信号与输入回路	(22)
3.1.3 输出信号与输出回路	(23)

3.2 顺序控制系统的控制器	(24)
3.2.1 控制器的种类	(25)
3.2.2 控制器的主要性能	(26)
3.2.3 控制性能的实现	(26)
3.2.4 硬件的比较	(26)
3.2.5 经济性	(26)
3.2.6 控制器的比较	(27)
3.2.7 控制器的应用	(28)
3.3 可编程控制器	(30)
3.3.1 基本结构	(30)
3.3.2 编程	(33)
3.3.3 动作原理	(36)
3.3.4 处理能力	(42)
3.3.5 功能	(43)
3.4 网络系统	(52)
3.4.1 网络的功能	(52)
3.4.2 CIM 上的网络	(52)
3.4.3 PC 网络的构成	(54)
3.4.4 网络的应用	(58)
3.4.5 PC 网络举例	(59)
第四章 顺序控制语言	(64)
4.1 序	(64)
4.2 梯形图	(64)
4.2.1 什么是梯形图	(64)
4.2.2 梯形图的基本要求	(66)
4.2.3 顺序控制的基本功能与梯形图	(67)
4.2.4 梯形图的标准	(68)
4.2.5 梯形图的表现与程序	(68)
4.2.6 与继电器回路图的比较	(73)
4.2.7 梯形图及其数学表示	(74)
4.2.8 梯形图的缺点	(76)
4.3 SFC	(76)
4.3.1 序	(76)
4.3.2 SFC 的思考方法	(76)
4.3.3 SFC	(78)
4.3.4 SFC 的详细说明	(81)
4.3.5 SFC 的展开规则	(83)
4.3.6 结构化	(87)
4.3.7 SFC 的数学表示	(88)

4.3.8 归纳	(91)
4.4 IEC 规则的程序设计语言	(92)
4.4.1 序	(92)
4.4.2 顺序控制语言的分类	(92)
4.4.3 程序语言的要素	(95)
4.4.4 功能	(100)
4.4.5 顺序控制语言与机器语言	(103)
第五章 Petri 网的表现法与解析法	(104)
5.1 Petri 网	(104)
5.1.1 Petri 网的特征	(104)
5.1.2 基本环节的 Petri 网图	(107)
5.1.3 控制环节的 Petri 网图	(109)
5.1.4 顺序控制系统的 Petri 网图	(111)
5.1.5 顺序控制系统的状态方程式	(112)
5.2 控制逻辑的构成法	(116)
5.2.1 不包含限时功能的情况	(116)
5.2.2 含限时功能的情况	(118)
5.2.3 应用举例	(119)
5.3 顺序控制系统的解析法	(124)
5.3.1 使能迁移的求法	(124)
5.3.2 有界系统的使能向量的求法	(125)
5.3.3 迁移引发系列及发生次数的求法	(126)
5.3.4 非正方联结矩阵情况的迁移向量序列及其和的求法	(126)
5.3.5 死锁的可能性	(128)
5.3.6 可达问题的解法	(128)
5.3.7 逆迁移过程的求法	(129)
5.4 立足于 Petri 网的各种表现法	(130)
5.4.1 MFC	(130)
5.4.2 SCR	(132)
5.4.3 顺序设计支持系统	(135)
第六章 顺序控制系统的设计方法	(138)
6.1 设计步骤	(138)
6.2 需求分析	(139)
6.2.1 把握系统所需求的最终目标	(140)
6.2.2 对设备、器件等检测对象的了解	(140)
6.2.3 关于控制装置、控制器件等控制系统知识的整理	(141)
6.2.4 设备器件的运行方式及监视方式等控制功能的抽出与分析	(141)
6.3 需求定义	(144)
6.3.1 控制功能的确定	(145)

6.3.2 控制功能流程的确定	(147)
6.4 系统设计	(149)
6.4.1 功能区分及接口的确定	(149)
6.4.2 输入输出信号的确定与分配	(151)
6.4.3 程序结构的确定	(152)
6.5 软件设计	(152)
6.5.1 再利用设计	(154)
6.5.2 主程序的设计	(154)
6.5.3 非标准程序的设计	(157)
6.6 软件制作	(158)
6.7 实验	(158)
第七章 知识工程在顺序控制系统中的应用	(159)
7.1 知识工程概要	(159)
7.1.1 知识工程	(159)
7.1.2 知识库系统的构成	(160)
7.1.3 知识工程技术的应用领域	(161)
7.1.4 知识工程在顺序控制中的应用动向	(161)
7.2 基于知识工程的电力系统的运用支持系统	(163)
7.2.1 故障发生区间判别专家系统	(163)
7.2.2 恢复支持专家系统	(165)
7.3 规则型控制方式	(166)
7.3.1 期望与课题	(166)
7.3.2 规则型控制系统——SCD 的概要	(166)
7.4 知识工程的 PC 软件设计支持	(171)
7.4.1 软件设计支持的思考方法	(171)
7.4.2 PC 软件生成系统	(173)
7.5 知识工程的 PC 器件	(177)
7.5.1 PC 器件构成的设计方法	(177)
7.5.2 PC 设计专家系统	(177)
7.6 知识工程今后的课题	(178)
参考文献	(180)

第一章 绪 论

1.1 新顺序控制技术

顺序控制很早就为人们所利用,它是生产现场应用中与反馈控制相媲美的极其重要的控制技术,但遗憾的是,顺序控制的体系化、理论化还远远不如反馈控制。

随着计算机技术的飞速进步,控制技术产生着新的飞跃。反馈控制中基于状态空间概念的现代控制理论,使得古典控制难以实现的最优控制系统的设计、控制系统的结构解析和动作解析等问题得到了解决。而另一方面,随着计算机技术的进步和新型控制器的不断诞生,传统的以继电器为主体的顺序控制技术也焕然一新。新型控制器的控制柜及其构造原理都不同于传统的控制器,所以有必要研究和学习它的有关制造、保养和使用等方面的新技术。

传统的顺序控制是通过以继电器为主体构成的控制回路实现特有的顺序控制步骤的技术。这种通过固定配线方式的动作顺序的实行,可以理解为把顺序的推移对应于机器的动作,所以顺序的推移及异常点的检测就显得清晰容易,控制柜也是根据用户不同的控制顺序要求的非批量产品。

而引入计算机技术的新型控制器,把顺序的实行步骤记忆在存贮器中,因而顺序的变更极其容易。因为硬件的构成不依赖于个别的顺序,所以这样的控制器形成了批量生产方式。

各过程顺序的内容虽然不同,但每个顺序都可以由批量生产的控制器的程序来实现,所以以软件为中心的新的使用技术成为重要的课题。这就是用户易懂的顺序控制专用的程序设计语言;控制器及控制对象的动作解析;适用于仿真的表现方法;容易进行顺序推移和异常检测的系统设计法;应用智能理论的控制方法与设计方法。由于这种控制器具有通讯功能,控制器间的数据传送与计算机的信息交换变得十分容易。这又使以控制器为主的网络技术成为一个新的研究课题,这些新课题的解决,需要顺序控制的新理论。

1.2 顺序控制技术的历史

顺序控制的开端被认为是从1804年Jacquard发明了穿孔带式纺织机开始的。可是在这以前的18世纪已经有了自动纺织机(1741年)和传送带式自动磨粉机(1791年),反馈控制是起源于1784年Watt的离心式调速机的发明,所以顺序控制是与反馈控制具有同样历史的技术。1824年Sturgeon制成了电磁石,在此基础上,1836年Henry发明了电磁继电器。1847年Bool提出了作为顺序控制基础理论的布尔代数,1938年Shannon又把顺序控制理论应用于通讯技术,推动了通讯技术的发展。

在上述理论和技术的基础上形成了顺序控制,到了本世纪40年代,操作者—控制柜—控制对象这种顺序控制系统的原形被确立。50年代随着远距离监视技术的引入,形成了操作者—操作台—控制柜—控制对象的状态控制与监视操作。也就是说,控制被分为两个部分,一部分担当控制操作功能,一部分具有控制动作功能。到了六七十年代远距离监视开始走向集中化、大规模化。

60年代初,电子技术的进步又使控制回路向电子化、无节点化迈进。晶体管构成的无节点继电器使得控制装置的小型化和可靠性得到改善,而同时又引出了防止产生误操作的新课题。

60年代后半期,集成电路化的微型计算机的出现使得顺序控制器可以在线使用。1968年 General Motors 公司发表了顺序控制器的设计书(见表 1.1⁽⁹⁾),1969 年新型顺序控制器的产品诞生。70 年代中期,这种新型控制器配置了通用微分处理,我们称之为可编程控制器(PC)。

表 1.1 新型控制器具备的条件(GM 公司)

1	新型控制器必须容易编程,并易于修改,即操作顺序容易变更,在现场易使用
2	新型控制器必须易保养,易修理,尽可能以即插即用为基本方式
3	基本元件在现场环境中的可靠性必须高于继电器控制
4	安装成本低,占地面积小
5	基本元件可以向中央数据管理系统传送数据
6	基本元件应比继电器或半导体控制价格便宜

该新型控制器还应适合于下列各项:

- (1) 全部输入适用于 115V 交流电源(译者注:日本的工频交流电压为 115V)。
- (2) 全部输入在 115V 交流电压下,最小电流为 2A,电磁阀、电动机、启动器等可以直接操作。
- (3) 一般情况下,该系统没有大幅度的变更,基本元件可以扩展。
- (4) 各基本元件具有最少可以扩展到 4000 句的可编程内部存储器。

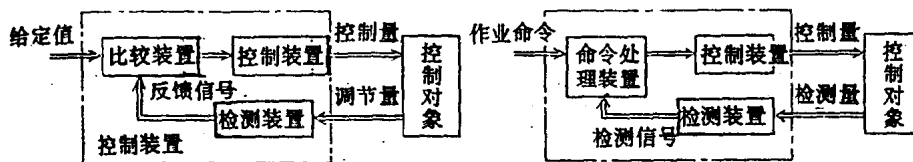
70 年代末,出现了 16 位微处理器、单片式微处理器和多个微处理器的机种,只要用一台 PC 就可以实现具有各种功能的顺序控制。现在我们这样来定义 PC: 为了实现逻辑运算、顺序操作、计时、计数及算术运算等控制动作,能把控制动作命令的形式记忆在存储器中。根据存储器的内容,通过数字量或模拟量的输入输出对各种机械和过程实现控制的数字型工业电子装置。

到了 80 年代,PC 的通信功能更加完善,顺序控制(包含反馈控制、管理信息处理等)的网络在逐步实现。

1.3 顺序控制的基本概念

所谓控制就是为了适合某种目的,在对象上施以必要的操作。所谓适合某种目的,在反馈控制中就是输出要与设定值一致,而在顺序控制中就是使控制动作按预先设定好的顺序进行。为此我们这样来定义顺序控制:按预先设定好的顺序或按一定逻辑设定的顺序使控制动作逐次进行的控制。

图 1.1 是顺序控制与反馈控制的比较示意图。顺序控制没有设定值的概念,而用作业命令代替设定值。作业命令、检测信号及命令处理的输出主要是数字量,命令处理的主要部分由数字电路构成。



(a) 反馈控制系统

(b) 顺序控制系统

图 1.1 反馈控制与顺序控制系统的基本构成

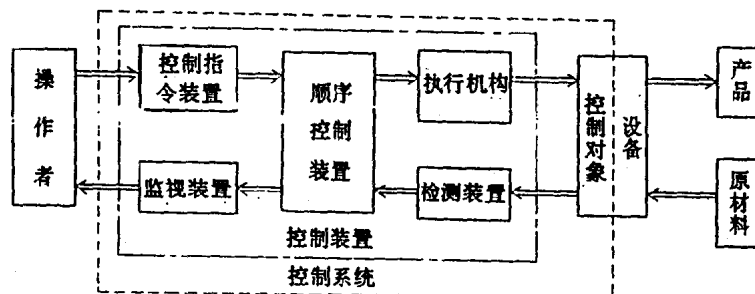


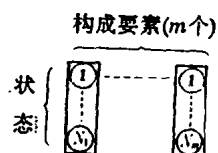
图 1.2 顺序控制系统的基本概念图

顺序控制装置	检测指令装置:	按压式开关、钮扣式开关、旋转式开关等
	控制操作装置:	电磁开关、伺服电机、电磁阀等
	检测装置:	限制开关、电位器、光电开关、温度开关、测速发电机、译码器、编码器等
	监视装置:	指示灯、蜂鸣器、指示计、CRT 显示器等
	顺序控制动作装置:	继电器、计数器、PC(可编程控制器)、计时器等
	复合功能装置:	保护继电器等

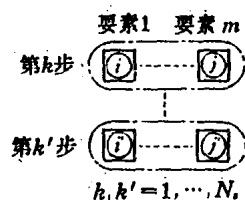
图 1.3 顺序控制装置及其分类

图 1.2 是顺序控制系统的软件结构示意图。图 1.1 命令处理部分的功能由图 1.2 中顺序控制的外围装置来实现。图 1.2 中控制装置的分类和主要的控制部件如图 1.3 所示。

控制对象通常有多个被控参数,各参数的状态由具有有限个值的状态变量(State Variable)来描述。如图 1.4 (a)所示,控制对象包括 m 个参数,可以取 $N_1, \dots, N_n$ 个状态变量,则



(a) 系统的构成要素数及状态数



(b) 要素状态与顺序步骤

图 1.4 顺序步骤说明图

理论上控制对象可能取得的状态变量的组合数 N_t 为

$$N_t = \prod_{i=1}^m N_i$$

设实际控制对象可能取得的状态变量的组合数为 N_r , 则 $N_r \ll N_t$, 通常把 N_r 叫做顺序控制步骤(参照图 1.4), 所以顺序控制是按各个步骤预先规定好的规则而进行的。

设定条件的满足是步骤进行的保证, 顺序控制进行的条件有两种, 第一种进行条件只是时间的函数; 第二种进行条件是来来自外部的输入信号的函数, 前者为时间驱动型(time-driven type), 后者为外部事件驱动型(external event-driven type), 它把系统中的一个状态作为现在的状态和输入信号的函数。

顺序的步骤推进是瞬间内进行的, 因为控制对象的状态变量可以用有限个值来表示, 所以也可以用离散值(discrete value)来表示。而控制器的状态变量同样可以用离散值来描述, 所以也可以说, 顺序控制系统是状态变量为离散值, 在步骤实行中保持该状态变量不变, 并使其瞬间非连续变化的离散系统。当条件满足时, 步骤的推进立即实行, 步骤的推进是非同步的。当顺序控制系统是由若干个子系统构成时, 各子系统也是离散系统, 各子系统的步骤推进本质上是并行的, 也就是说, 顺序控制系统是具有非同步、并行性的离散系统。

第二章 顺序控制系统的特征

2.1 顺序控制系统的建模

顺序控制系统如第一章所述的那样, 可以作为一个离散系统来建模, 下面是离散系统的建模方法。

2.1.1 顺序控制系统的结构

图 1.2 描述了顺序控制系统的基本结构, 控制对象的动作可以作为一个离散系统来建模, 控制命令单元、控制操作单元、检测单元及监视单元的动作都可以用离散变量来描述。

顺序控制的基本控制动作, 有逻辑运算、计数和计时(限时), 我们称它们为工作环节。逻辑运算环节、计数环节以及计时环节的输入输出变量为两值量或逻辑量。PC 具备这些基本控制动作的功能, 可以说, PC 就是控制动作单元, 或者说 PC 是控制动作单元的中心。控制系统中描述控制动作的最重要的部分就是控制动作单元。因此, 控制系统的建模是以 PC 为中心进行的。

2.1.2 可编程控制器动作的描述

PC 的动作如图 2.1 所示。一个周期的最初阶段是采集输入变量, 中间阶段是进行处理, 最后阶段是输出结果。我们假设在采集输入变量期间可以保持 PC 的内部状态和输出结果不变, 在输入变量采集之后立即处理(参照图 2.2), 在输入变量采集期间, 输入变量可以不变, 且状态变量和输出变量在输出期间的开始到输入采集的终了也保持一定, 即设输入变量、状态变量和输出变量的变化在这些时间之外。图 2.2 中的实线为保持定值区间, 虚线为可能变化的区间。

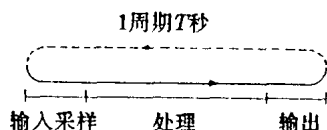


图 2.1 PC 周期处理

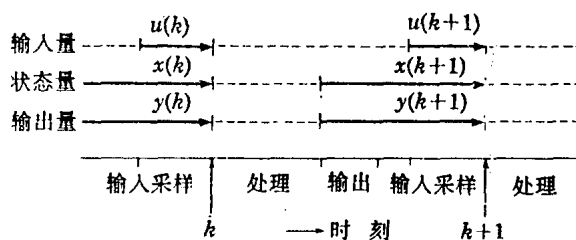


图 2.2 采样时刻的设定

PC 的输入变量, 输出变量、状态变量分别为:

$u(k)$: 表示采样时刻为 kT 时的输入变量的向量。

$x(k)$: 表示采样时刻为 kT 时的状态变量的向量。

$y(k)$: 表示采样时刻为 kT 时的输出变量的向量。

当 PC 的状态推进为事件驱动型时, 在采样时刻 $(k+1)$ 的状态变量 $x(k+1)$ 是 $x(k)$ 和 $u(k)$ 的函数, 而输出变量为同时刻的状态变量的函数。因此, PC 的动作可以表示如下:

$$\begin{cases} x(k+1) = f\{x(k), u(k)\} \\ y(k) = g\{x(k)\} \end{cases} \quad k = 0, 1, 2, \dots \quad (2.1)$$

当 PC 的状态推进为时间驱动型时, PC 的内部包含计时环节, PC 的动作以周期为基本

单位时间, 因此 PC 内部的计时环节的动作时间最好是周期的整数倍。设周期 T 为一定值, 则计时环节可以通过各采样周期产生的外部脉冲输入和计数环节的组合来描述。显然计数环节是外部事件驱动型的, 所以 PC 内部的计时环节可以作为事件驱动型来描述, 也就是说, 即使包含计时环节, PC 的动作也可以用式(2.1)来表示。

式(2.1)中 PC 的输入变量 $u(k)$ 由来自控制命令单元和检测单元的输出变量构成, 输出变量 $y(k)$ 是控制操作单元和监视单元的输入变量。因此, 我们可以把式(2.1)的关系用图 2.3 来表示。

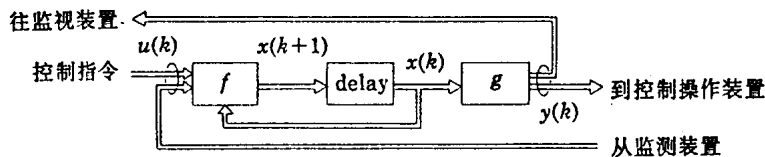


图 2.3 PC 的方框图

2.1.3 控制装置的框图

可以认为控制命令单元、控制操作单元、监视单元以及检测单元不存在时间延迟环节, 设它们的输入输出关系为:

控制命令单元: $u_c(k) = f_c\{s(k)\}$

u_c 为控制命令的输出, s 为输入, f_c 为函数

控制操作单元: $v(k) = g_c\{y_c(k)\}$

v 为操作单元的输出, y_c 为输入, g_c 为函数

检测单元: $u_d(k) = f_d\{w(k)\}$

u_d 为检测单元的输出, w 为输入, f_d 为函数

监视单元: $r(k) = g_d\{y_d(k)\}$

r 为监视单元的输出, y_d 为输入, g_d 为函数

则可以得到图 2.4 所示的控制装置框图。

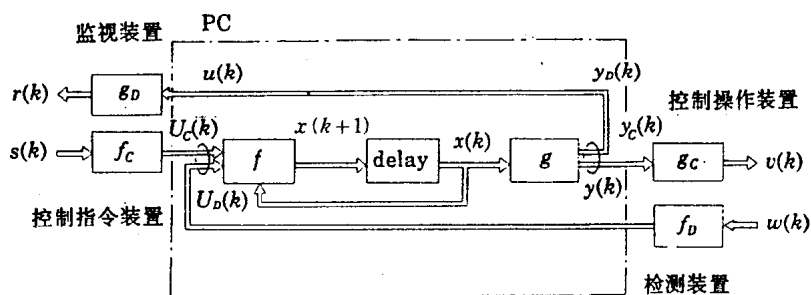


图 2.4 控制装置的方框图

2.1.4 控制对象的框图

在采样时刻 kT , 控制对象的输入变量, 状态变量和输出变量分别为:

$v(k)$: 控制对象的输入向量

$z(k)$: 控制对象的状态向量

$w(k)$: 控制对象的输出向量

控制对象的动作为事件驱动型, 因此, 可以得到下面的状态方程式与输出方程式。

$$\begin{cases} z(k+1) = h\{z(k), v(k)\} \\ w(k) = q\{z(k), v(k)\} \end{cases} \quad k = 0, 1, 2, \dots \quad (2.2)$$

图 2.5 是表示(2.2)式关系的框图。

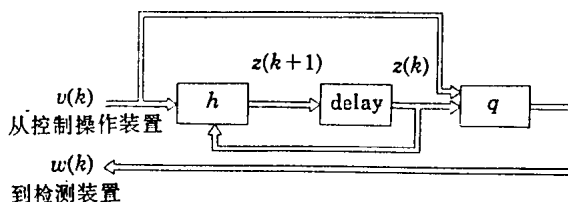


图 2.5 控制对象的方框图

2.1.5 顺序控制系统的建模及其特征

把控制装置框图(图 2.4)和控制对象框图(图 2.5)结合起来, 就成为顺序控制系统的框图(图 2.6)。由图 2.6 我们可以写出如下控制对象的状态方程式、控制装置的状态方程式和输出方程式如下。

$$\begin{cases} \text{控制对象的状态方程: } z(k+1) = H\{z(k), x(k)\} \\ \text{控制装置的状态方程: } x(k+1) = F\{x(k), z(k), s(k)\} \\ \text{控制装置的输出方程: } r(k) = G\{x(k)\} \end{cases} \quad (2.3)$$

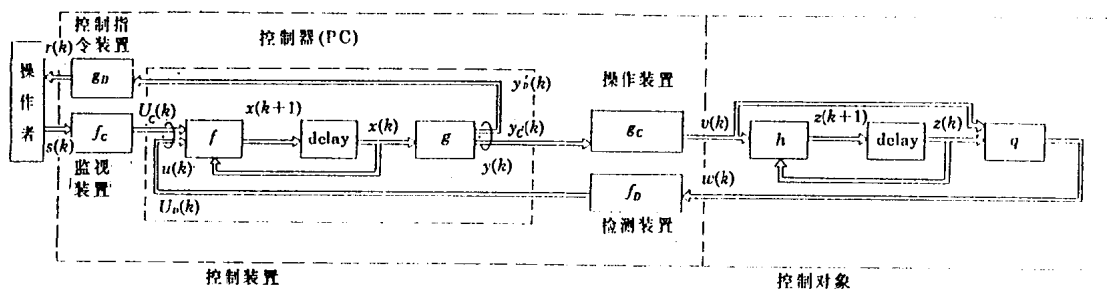


图 2.6 顺序控制系统的方框图

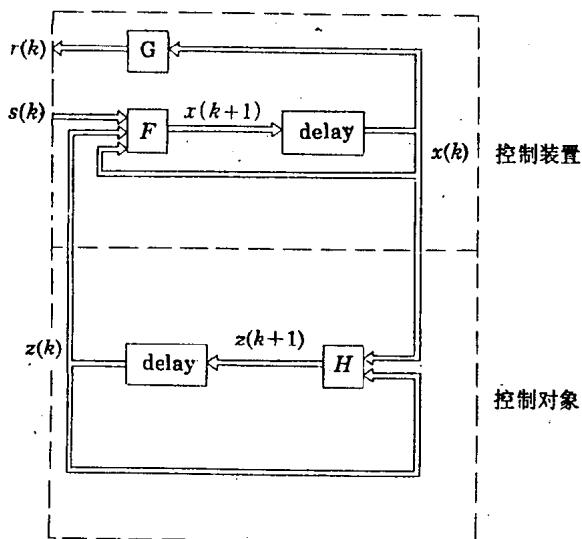


图 2.7 顺序控制系统的简化框图

式(2.3)的关系可以用图 2.7 来表示, 它是包含延迟环节的两个子系统的结合。如果我们只看 PC 的框图(图 2.3)就会知道可以把 PC 作为 Moore 型的顺序回路来表示。但是, 一般顺序回路处理的是能够明确规定的输入序列, 而 PC 所处理的对象, 输入序列未必能明确规定。如图 2.7 所示, 包含 PC 的控制装置与控制对象的动作之间具有很强的相关性, 这是顺序控制系统的重要特征, 式(2.1)~(2.3)的函数通常为非线性。

式(2.3)和图 2.7 告诉我们, 如果把 PC 的周期作为基本单位时间来建模, 那么可以把顺序控制系统作为事件驱动型系统来描述。控制对象的控制步骤的推进依赖于来自控制装置的控制操作, 而控制装置的状态推进则依赖于来自控制对象的信号。控制装置内的计时环节可以按由外部脉冲驱动的事件驱动型来建模。因此, 式(2.3)的函数 F 、 G 、 H , 都是不依赖于时间的函数。

2.1.6 应用举例

让我们来看一个计量槽系统(图 2.8)的例子。槽内的液面在下限时(限位开关 1 闭, 2 开), 电磁阀 1 和 2 都关闭, 处于停止状态, 指示灯亮表示计量结束, 并准备下一次的计量。在这种状态下, 如果按下按钮开关, 电磁阀 1 开, 进入计量状态。原料装满时限位开关 1 开, 电磁阀 1 闭, 电磁阀 2 开, 进入排出状态。液面到达下限时, 限位开关 2 开, 电磁阀 2 闭, 又返回停止状态。

如果把图 2.8 和图 1.2 对应起来看, 可以写出:

控制对象: 计量槽;

原料输入管;

原料输出管。

控制装置: 顺序控制单元: PC;

控制操作单元: 电磁阀 1, 2;

检测单元: 限位开关 1, 2;

控制命令单元: 按钮式开关;

监视单元: 指示灯。

1. 控制对象的建模

状态变量的选择方法依赖于把握对象的程度, 这里我们用如下变量来表示控制对象。

z_1 : 表示液面位置在上限值以上, 下限值以下或在中间的三值变量。

z_2 : 表示原料输入管中是否有原料流动的两值变量。

z_3 : 表示原料输出管中是否有原料流动的两值变量。

则控制对象可能取得的状态有 $3 \times 2 \times 2 = 12$ 个, 但正常动作时顺序步骤如下:

步骤 0 (初始状态): 液面在下限值以下, 输入管、输出管内均无原料流动, 排出结束, 处于停止状态。

步骤 1: 液面在下限值以下, 输入管内有原料流动而输出管内无原料流动, 注入开始。

步骤 2: 液面在中间, 输入管和输出管的状态与步骤 1 相同, 注入中。

步骤 3: 液面在上限以上, 输入管、输出管内均无原料流动, 注入结束。

步骤 4: 液面在上限以上, 输入管内无原料流动, 输出管内有原料流动, 输出开始。

步骤 5: 液面在中间, 输入管、输出管状态同步骤 4, 输出中。

步骤 6: 与步骤 0 相同。

剩下的 6 种状态表示异常状态。

控制对象的输入变量为:

u_1 : 电磁阀 1 开、闭的两值变量。

u_2 : 电磁阀 2 开、闭的两值变量。

输入管、输出管的状态取决于电磁阀的开闭, 所以式(2.2)的状态方程如下:

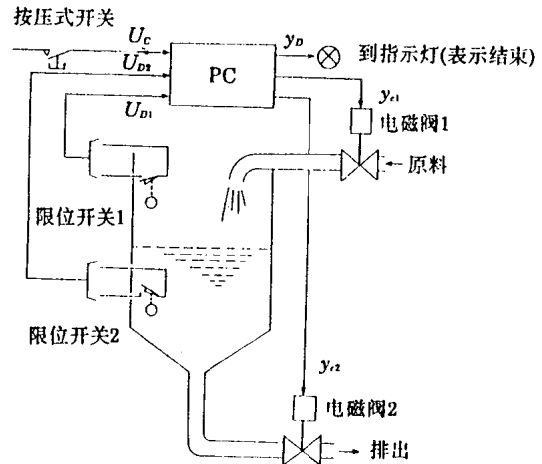


图 2.8 计量槽系统