

工控技术精品丛书

PLC

模拟量与通信控制应用实践

李金城 编著



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

工控技术精品丛书

PLC 模拟量与通信控制 应用实践

李金城 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书以三菱 FX_{2N} PLC 为目标机型,介绍了 PLC 在模拟量控制和通信控制中的应用。在模拟量控制中,重点介绍了三菱 FX_{2N} PLC 模拟量特殊模块和 PID 控制应用;在通信控制应用中,重点介绍了利用串行通信指令 RS 进行 PLC 与变频器等智能设备的通信控制及通信程序编制。

本书编写深入浅出、通俗易懂、内容详细、思路清晰、联系实际、注重应用。力图使读者通过本书的学习尽快全面地掌握 PLC 模拟量控制和 PLC 对变频器等智能设备的通信控制应用技术。书中编写了大量的应用实例,可供读者在实践中参考。

本书的阅读对象是从事工业控制自动化的工厂技术人员,刚毕业的工科院校机电专业学生和广大在生产第一线的初、中、高级维修电工。本书适用于一切想通过自学而掌握 PLC 模拟量控制和通信控制的人员,同时,也可作为 PLC 控制技术的培训教材和机电一体化及相关专业的教学参考用书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

PLC 模拟量与通信控制应用实践/李金城编著. —北京:电子工业出版社,2011.1

(工控技术精品丛书)

ISBN 978-7-121-12485-3

I. ①P… II. ①李… III. ①可编程序控制器 IV. ①TM571.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 240811 号

策划编辑:陈韦凯

责任编辑:刘 凡

印 刷:涿州市京南印刷厂

装 订:涿州市桃园装订有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本:787×1 092 1/16 印张:23 字数:589 千字

印 次:2011 年 1 月第 1 次印刷

印 数:4 000 册 定价:45.00 元



凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zllts@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010) 88258888。

前 言

可编程控制器（PLC）是以微处理器为核心技术的通用工业自动化控制装置，它将继电控制技术、计算机技术和通信技术融于一体，具有控制功能强大、使用灵活方便、易于扩展、环境适应性好等一系列优点。它不仅可以取代传统的继电接触控制系统，还可以应用于复杂的过程控制系统（模拟量控制和运动量控制）和组成多层次的工业自动化网络（通信控制）。因此，近年来 PLC 在工业自动化控制、机电一体化和传统产业改造等方面得到了越来越广泛的应用，而学习、掌握和应用 PLC 控制技术则成为广大工业控制从业人员、工科院校机电专业学生和负责生产现场维护的电工所必须掌握的基本知识和技术要求。

目前，学习 PLC 控制技术的教学书籍和自学用书都相当丰富，但大多是针对 PLC 控制介绍和逻辑控制、顺序控制而编写的，专门介绍 PLC 对模拟量控制和对变频器通信控制方面的书籍却很少，编者为此编写了本书。

全书分为上、下两篇共 10 章，以三菱 FX_{2N} PLC 为目标机型，介绍了 PLC 在模拟量控制和通信控制中的应用。在编写过程中，考虑到广大初、中级电工基础知识的不足，为便于他们更快地理解和掌握上述知识的应用，增加了模拟量控制和数字通信控制知识的介绍。而对电工电子技术的基础知识则不予介绍。

本书的阅读对象是从事工业控制自动化的工程技术人员、刚毕业的工科院校机电专业学生和在生产第一线的初、中、高级维修电工，因此，编写时力求深入浅出、通俗易懂，同时联系实际、注重应用。为了使读者能尽快全面地掌握 PLC 模拟量控制和 PLC 对变频器等智能设备的控制应用技术，书中精选了大量的应用实例，供读者在实践中参考。

本书适合所有想通过自学掌握 PLC 模拟量控制和通信控制的人员，同时，也可作为 PLC 控制技术的培训教材和机电一体化等专业的教学参考书。

在本书编写的过程中，得到了曾鑫、庞丽、李震涛等的协助。同时，参考了一些书刊内容，并引用了其中一些资料，难以一一列举，在此一并表示衷心感谢。

由于编者水平有限，书中定有疏漏和不足之处，恳请广大读者批评指正，联系邮箱：ljc2009@foxmail.com。

李金城
2010 年 10 月

目 录

上篇 PLC 在模拟量控制中的应用

第 1 章	模拟量控制基础知识	(2)
1.1	模拟量与模拟量控制	(2)
1.1.1	模拟量与数字量	(2)
1.1.2	模拟量控制介绍	(3)
1.1.3	开环控制和闭环控制	(8)
1.1.4	PLC 模拟量控制系统	(12)
1.2	A/D 与 D/A 转换	(14)
1.2.1	模/数 (A/D) 转换	(14)
1.2.2	数/模 (D/A) 转换	(16)
1.3	采样和滤波	(18)
1.3.1	采样	(18)
1.3.2	滤波	(20)
1.3.3	常用数字滤波方法	(22)
1.3.4	数字滤波编程举例	(25)
1.4	标定和标定变换	(27)
1.4.1	标定	(27)
1.4.2	标定变换	(29)
1.5	非线性软件处理	(30)
1.5.1	概述	(30)
1.5.2	非线性软件处理方法	(31)
1.6	数的表示和运算	(33)
1.6.1	定点数和浮点数	(33)
1.6.2	定点运算 (整数运算)	(36)
1.6.3	浮点运算 (小数运算)	(37)
1.6.4	二-十进制浮点数转换	(39)
第 2 章	传感器与执行器	(41)
2.1	传感器	(41)
2.1.1	温度传感器	(41)
2.1.2	压力传感器	(44)
2.1.3	流量传感器	(47)

2.1.4	物位传感器	(50)
2.1.5	传感器的性能指标	(55)
2.2	变送器	(56)
2.2.1	传感器和变送器	(56)
2.2.2	物理量变送器的二线制和四线制	(58)
2.3	执行器	(59)
2.3.1	执行器概述	(60)
2.3.2	电磁阀与调节阀	(60)
2.3.3	电磁开关与电动机	(62)
2.3.4	控制电动机	(64)
第 3 章	三菱 FX _{2N} 模拟量模块应用	(67)
3.1	FX _{2N} 模拟量控制介绍	(67)
3.1.1	FX _{2N} 模拟量特殊功能模块介绍	(67)
3.1.2	特殊模块读/写指令 FROM、TO	(74)
3.2	模拟量输入模块 FX _{2N} -4AD 的应用	(77)
3.2.1	接线和标定	(77)
3.2.2	缓冲存储器 BFM#功能分配	(78)
3.2.3	诊断	(86)
3.2.4	程序编制举例	(86)
3.3	模拟量输出模块 FX _{2N} -4DA 的应用	(88)
3.3.1	接线和标定	(88)
3.3.2	缓冲存储器 BFM#功能分配	(89)
3.3.3	诊断	(92)
3.3.4	程序编制举例	(92)
3.4	模拟量输入模块 FX _{2N} -2AD 和 FX _{2N} -2DA 的应用	(94)
3.4.1	模拟量输入模块 FX _{2N} -2AD 的应用	(94)
3.4.2	模拟量输出模块 FX _{2N} -2DA 的应用	(99)
3.5	温度传感器用模拟量输入模块的应用	(103)
3.5.1	温度传感器用模拟量输入模块 FX _{2N} -4AD-PT 的应用	(104)
3.5.2	温度传感器输入模块 FX _{2N} -4AD-TC 的应用	(108)
第 4 章	PID 控制及其应用	(113)
4.1	PID 控制介绍	(113)
4.1.1	PID 控制入门	(113)
4.1.2	PID 控制介绍	(116)
4.1.3	PID 控制功能的实现	(118)
4.1.4	PID 控制算法介绍	(119)
4.2	基本控制规律和控制参数对过渡过程的影响	(123)
4.2.1	基本控制规律	(123)

4.2.2	PID 控制系统质量指标	(130)
4.2.3	PID 控制参数对过渡过程的影响	(131)
4.2.4	控制规律的选用	(135)
4.3	三菱 PLC PID 指令应用	(136)
4.3.1	PID 指令形式与解读	(136)
4.3.2	PID 控制参数详解	(139)
4.3.3	PID 指令应用错误代码	(141)
4.3.4	PID 指令程序设计	(142)
4.4	PID 控制参数整定	(147)
4.4.1	参数整定前准备工作	(147)
4.4.2	试验法参数整定	(148)
4.4.3	试凑法参数现场整定	(151)
4.4.4	PID 控制参数自整定	(156)
第 5 章	变频器 PID 控制及其应用	(163)
5.1	变频器 PID 控制功能结构	(163)
5.2	三菱 FR-700 变频器 PID 控制	(165)
5.3	放线架变频器 PID 控制	(173)

下篇 PLC 通信控制变频器应用实践

第 6 章	PLC 变频器的控制方式	(180)
6.1	开关量控制	(180)
6.1.1	变频器运行控制	(180)
6.1.2	变频器运行频率控制	(184)
6.2	模拟量和脉冲量控制	(187)
6.3	通信控制	(188)
第 7 章	数据通信基础知识	(191)
7.1	数制	(191)
7.1.1	数制三要素	(191)
7.1.2	二、八、十、十六进制数	(192)
7.1.3	二、十六进制数转换成十进制数	(193)
7.1.4	十进制数转换成二、十六进制数	(193)
7.1.5	二、十六进制数互换	(195)
7.2	码制	(195)
7.2.1	8421BCD 码	(195)
7.2.2	格雷码	(196)
7.2.3	ASCII 码	(198)

7.3	数据通信概述	(200)
7.4	数据通信方式	(201)
7.4.1	按传送位数分类	(201)
7.4.2	按传送方向分类	(202)
7.4.3	按数据是否进行调制分类	(203)
7.4.4	按通信介质分类	(204)
7.5	PLC 通信实现	(206)
7.5.1	PLC 与计算机之间的通信方式	(206)
7.5.2	PLC 网络 $N:N$ 通信方式	(207)
7.5.3	PLC 网络 $1:1$ 通信方式	(208)
7.5.4	PLC 与控制设备之间的通信方式	(210)
第 8 章	通信协议	(212)
8.1	通信网络开放系统互连模型 OSI	(212)
8.2	通信协议基本知识	(214)
8.3	RS232 和 RS485 串行接口标准	(215)
8.3.1	RS232 串行通信接口标准	(215)
8.3.2	RS485 串行通信接口标准	(217)
8.3.3	RS485 串行通信应用注意事项	(220)
8.4	通信格式和数据格式	(222)
8.4.1	串行异步通信基础	(222)
8.4.2	异步传送的通信格式	(225)
8.4.3	异步传送的数据格式及常用校验码	(227)
8.5	MODBUS 通信协议	(231)
8.5.1	MODBUS 通信协议介绍	(231)
8.5.2	MODBUS 的 ASCII 通信方式	(232)
8.5.3	MODBUS 的 RTU (远程终端单元) 通信方式	(233)
8.5.4	MODBUS 的功能码	(234)
8.5.5	MODBUS 的查询和应答	(234)
8.6	三菱变频器专用通信协议	(235)
8.6.1	通信时序	(235)
8.6.2	通信格式	(237)
8.6.3	通信数据格式	(240)
8.6.4	通信数据格式的编写	(244)
8.6.5	通信错误代码	(249)
8.7	三菱变频器 MODBUS RTU 通信协议	(249)
8.7.1	通信规格和通信时序	(250)
8.7.2	三菱 FR-A700 变频器 RTU 通信参数设置	(251)
8.7.3	通信数据格式及其编制	(252)

8.7.4	通信错误代码	(256)
8.8	通信协议小结	(257)
第 9 章	三菱 FX PLC 与三菱变频器通信控制	(258)
9.1	通信程序常用编程知识	(258)
9.1.1	常用功能指令	(258)
9.1.2	寻址方式	(259)
9.1.3	组合位元件应用	(261)
9.1.4	逻辑位运算	(263)
9.1.5	特殊辅助继电器	(264)
9.2	三菱 FX 系列通信指令解读	(265)
9.2.1	通信程序相关数据存储器和继电器	(265)
9.2.2	串行通信传送指令 RS	(265)
9.2.3	HEX→ASCII 变换指令 ASCI	(267)
9.2.4	ASCII→HEX 变换指令 HEX	(269)
9.2.5	校验码指令 CCD	(271)
9.2.6	常用校验码程序设计参考	(273)
9.3	RS 指令经典法通信程序设计	(276)
9.3.1	程序设计准备工作和程序样式	(276)
9.3.2	三菱变频器专用通信协议通信控制程序设计	(277)
9.3.3	MODBUS RTU 通信程序设计	(295)
9.4	变频器专用通信指令法通信程序设计	(300)
9.4.1	技术支持及应用范围	(301)
9.4.2	变频器专用通信指令应用注意	(302)
9.4.3	变频器专用通信指令解读与通信程序设计	(303)
9.4.4	FX _{3U} PLC 变频器专用通信指令介绍	(309)
9.5	三菱变频器通信控制硬件接口	(313)
9.5.1	FX _{2N} -485-BD 通信板介绍	(313)
9.5.2	FX _{2N} -485-BD 通信板与 FR-E500 变频器连接	(316)
9.5.3	FX _{2N} -485-BD 通信板与 FR-A700 变频器连接	(318)
第 10 章	三菱 FX PLC 与其他变频器通信控制	(320)
10.1	FX _{2N} PLC 与台达变频器 VFD-B 的通信控制	(320)
10.1.1	台达变频器 VFD-B 通信协议	(320)
10.1.2	台达变频器 VFD-B 通信参数设置	(322)
10.1.3	FX _{2N} PLC 与台达变频器 ASCII 方式通信控制程序设计	(322)
10.1.4	FX _{2N} PLC 与台达变频器 RTU 方式通信控制程序设计	(332)
10.2	FX _{2N} PLC 与西门子变频器 MM420 的通信控制	(339)
10.2.1	西门子 MM420 变频器 USS 通信协议	(339)
10.2.2	西门子 MM420 变频器通信参数设置与通信数据格式	(339)

10.2.3 程序设计举例 (340)

附录 A 三菱 FR-E500 变频器通信协议的参数字址定义 (343)

附录 B 三菱 FR-E500 参数数据读出和写入指令代码表 (345)

附录 C 三菱 FR-A700 MODBUS RTU 协议存储器 (349)

附录 D 台达 VFD-B 变频器通信协议的参数字址定义 (354)

参考文献 (357)

上 篇

PLC 在模拟量控制中的应用

第 1 章 模拟量控制基础知识

本章主要介绍关于模拟量控制中的一些基本知识。包括模拟量控制、A/D 与 D/A 转换、采样、滤波、标定、非线性处理，以及定点和浮点运算等。这些知识各自独立性较强，虽互有关联，但并不连贯。读者可以跳过本章直接阅读下一章，也可根据需要选择性阅读部分章节。为了使广大读者了解这些知识，掌握这些知识的应用，讲解时尽量不涉及过多的数学知识和专业知识，力求通俗易懂、易学能用。

1.1 模拟量与模拟量控制

1.1.1 模拟量与数字量

在工业生产控制过程中，特别是在连续型的生产过程中，经常会要求对一些物理量如温度、压力、流量等进行控制。这些物理量都是随时间而连续变化的。在控制领域，把这些随时间连续变化的物理量称为模拟量。

与模拟量相对的是数字量。数字量又称为开关量。在数字量中，只有两种状态，相对于开和关一样。而开关随时间的变化是不连续的，像是一个一个的脉冲波形，所以又称为脉冲量，图 1-1 所示为模拟量和开关量随时间而变化的图示。

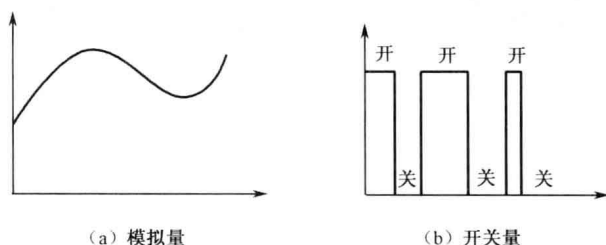


图 1-1 模拟量与开关量

模拟量和开关量是完全不同的物理量，它们之间没有多大关联，研究的方法和应用领域也都不相同。但是通过对二进制数和十进制数的研究却把它们联系了起来。二进制数只有两个数码：0 或 1，正好用开关量的开和关来表示。一个二进制数由多个 0 或 1 组成，也可以用一组开关的开和关来表示。在数字技术中，存储器的状态不是通就是断，相当于开关的开和关。因此，一个多位存储器组（如 16 位存储器）就可以用于表示一个 16 位二进制数。模拟量虽然是连续变化的，但在某个确定的时刻，其值是一定的。如果按照一定的时间来测量模拟量的大小，并想办法把这个模拟量（十进制数）转换成相应的二进制数，送到存储器

中,便把这个由二进制数所表示的量称为数字量,这样模拟量就和数字量有了联系。图 1-2 所示为模拟量如何变成数字量。

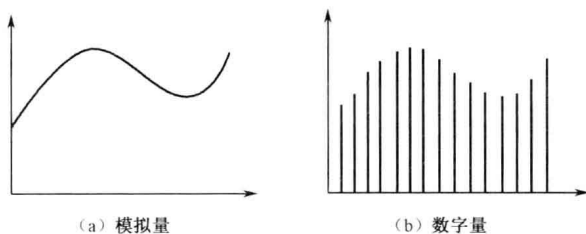


图 1-2 模拟量与数字量

由图 1-2 可以看出,数字量的幅值变化与模拟量的变化是大致相同的。因此,用数字量的幅值(它们已被寄存在存储器中)来处理模拟量,可以得到与模拟量直接被处理时的相同效果。但是也可以看出,模拟量在时间上和取值上都是连续的;而数字量在时间上和取值上都是不连续的(称为离散的)。因此,数字量仅是在某些时间点上等于模拟量的值。

1.1.2 模拟量控制介绍

模拟量控制是指对模拟量所进行的控制。模拟量控制大都出现在生产过程中,所以又称为过程控制。

1. 模拟量控制系统组成

从信息的角度来看,所有的控制系统都是一个信息的采集和处理的过程,如图 1-3 所示。

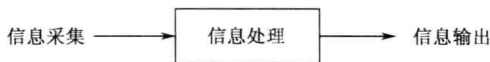


图 1-3 控制系统框图

对模拟量控制来说,图中的信息输出就是控制系统的被控制模拟量,称为被控制量或被控制值。而信息采集则包含两部分:一部分是控制系统为控制需要的输入信息,称为控制量或控制值,它可以是开关量、模拟量或事先设定的值;另一部分是不请自来的各种干扰信息,简称干扰。其来源神秘,成分复杂,对控制系统起到干扰破坏的作用。

在模拟量控制系统中,被控制模拟量总要有有一个载体,如温度控制,是电炉温度还是房间空调的温度,这个载体(电炉,房间)叫做被控对象。在工业生产过程中,被控对象是指各种装置和设备。作为被控对象,其本身并不具备控制被控制量的能力,而是由某个元器件来执行的。电炉的温度是由电炉内的电阻丝通电发热而引起上升的,房间的温度是由空调器工作来完成温度的上升或下降的。其中,电阻丝、空调器起到了执行控制输出模拟量的功能,称为执行器。输入信息控制量经过信息处理向执行器发出控制信号,指挥执行器工作对被控对象进行调节,使被控制量达到所期望的变化。这个进行信息处理的环节就称为控制器。这样,对模拟量控制系统来说就有了如图 1-4 所示的系统组成框图。

图 1-4 中,仅示意性地把干扰信息画在被控对象上。实际上在整个系统的组成中,每个部分(包括控制器,执行器)都会产生干扰信息。

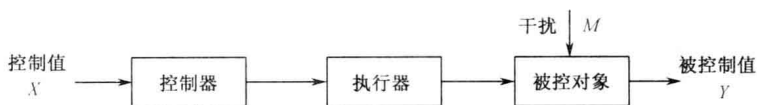


图 1-4 模拟量开环控制系统组成框图

从数学角度来分析图中的关系，则被控制值 Y 是控制值 X 和干扰 M 的函数：

$$Y = f(X, M)$$

在没有干扰的情况下， Y 是 X 的函数，控制系统就是按照这个关系进行控制的。当发生干扰后，被控制值就会受到 M 的影响而偏离原来的期望值。而且，干扰常常是随机的，也不便检测。图 1-4 所示的控制系统能否对干扰进行自动调节呢？显然是不可能的，因为这个系统不对被控制值进行检测，只根据控制值进行控制，发生干扰后，只能听任被控制值偏离期望值，使控制质量下降，干扰严重时系统甚至不能正常工作。这就是图 1-4 所示的控制系统严重缺陷。

在实际生产中，干扰是不可避免的。所以必须找到一种办法使干扰发生后，控制系统本身能对被控制值进行自动调节，使之回到正常的期望值上来。

通过对图 1-3 所示控制系统进行人工调节的启发（详见 1.1.3 节），只要把被控制值的变化送到控制系统的输入端，与控制值 X 比较，根据比较的结果来修改控制器的输入值，使已经偏离的被控制值朝期望值的方向变化，经过一定时间后，又回到期望值。这就形成了如图 1-5 所示的模拟量闭环控制系统组成框图。

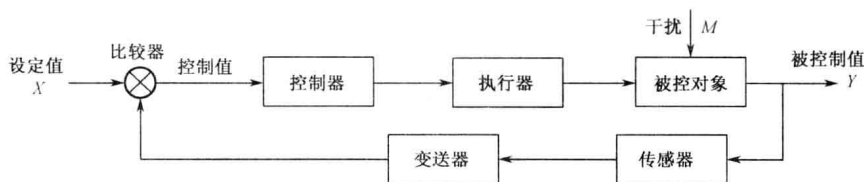


图 1-5 模拟量闭环控制系统组成框图

图 1-5 中，传感器是一种检测元件，其主要功能是将非电物理量（温度、压力、流量等）转换成电量（电流，电压），送到由电子电路构成的控制器中。而变送器则用于将传感器所转换的电量转化成统一的标准电压、电流再送到控制器中（关于传感器变送器的知识，见第 2 章）。

观察一下图中的信号流向：信号从输出被控制值 Y 通过传感器、变送器又回到输入端。这种输出返回到输入端而影响对控制器的输入的做法称为反馈，其信号通路称为反馈通路，而把从输入到输出的信号通路称为正向通路。由信号正向通路和反馈通路构成了一个闭合的环，闭环控制由此而来。图 1-4 所示的没有反馈的控制系统称为开环控制。

闭环控制是将输出量直接或间接反馈到输入端形成闭环，所以又称为反馈控制系统。反馈控制是自动控制的主要形式，在工程上常把在运行中使输出量和期望值保持一致的反馈控制系统称为自动调节系统，而把用于精确地跟随或复现某种过程的反馈控制系统称为伺服系统或随动系统。

闭环控制系统由控制器、受控对象和反馈通路组成。在闭环控制系统中，只要被控制量偏离规定值，就会产生相应的控制作用消除偏差。因此，它具有抑制干扰的能力，对元件特性变化不敏感，并能改善系统的响应特性。闭环控制具有较强的抗干扰能力。

2. 模拟量控制系统分类

模拟量控制分类的方法很多,不同的角度有不同的分类。下面仅从输出值的变化对模拟量控制分类做简要介绍。

1) 定值控制系统

若系统输入量为一定值,要求系统的输出量也保持恒定,此类系统称为定值控制系统。这类控制系统的任务是保证在扰动作用下被控制量始终保持在给定值上,生产过程中的恒转速控制、恒温控制、恒压控制、恒流量控制、恒液位高度控制等大量的控制系统都属于这一类系统。

定值控制系统比较容易理解,不再赘制说明。

对于定值控制系统,着重研究各种扰动对输出量的影响,以及如何抑制扰动对输出量的影响,使输出量保持在预期值上。

2) 随动控制系统

若系统的输入量的变化规律是未知的时间函数(通常是随机的),要求输出量能够准确、迅速跟随输入量的变化,此类系统称为随动控制系统,如雷达自动跟踪系统、刀架跟踪系统、轮舵控制系统等。随动控制系统可以是开环系统,也可以是闭环系统。

图 1-6 所示是在工业生产中经常用到的随动比例控制原理图。生产上要求将物料 Q_B 与物料 Q_A 配成一定比例送往下一工序。物料 Q_A 代表生产负荷,经常发生变化。如果 Q_A 发生变化,要求 Q_B 也需随之按比例发生变化,使 Q_A/Q_B 之值保持不变。图 1-6 (a) 所示为开环控制系统。当 Q_A 发生变化时,经传感变送,以一定的比例 K 放大后,作为 Q_B 的输出值,控制 Q_B 调节阀。图 1-6 (b) 所示为闭环控制系统。 Q_A 经传感器变送比例放大后,作为 Q_B 控制器的设定值。如果 Q_A 发生变化,则 Q_B 的设定值也发生变化,控制器会随之动作,改变 Q_B 输出使之保持 Q_A/Q_B 的比例不变;若如果 Q_A 不变, Q_B 本身发生变化,由传感变送后送至控制器,同样控制器动作,使 Q_B 的输出恢复原值而且保持此值不变。

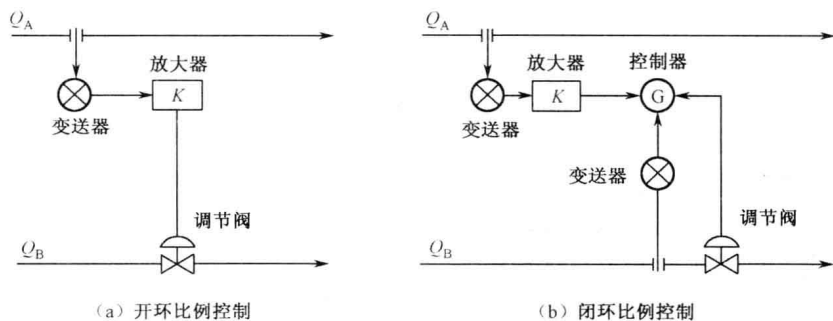


图 1-6 随动比例控制原理图

对于随动控制系统,由于系统的输入量是随时变化的,所以研究的重点是系统输出量跟随输入量的准确性和快速性。

3) 程序控制系统

若系统的输入量不为常值,但其变化规律是预先知道和确定的,要求输出量与给定量的变化规律相同,此类系统称为程序控制系统。例如,热处理炉温度控制系统的升温、保温、降温过程都是按照预先设定的规律进行控制的,所以该系统属于程序控制系统。此外数控机床的工作台移动系统、自动生产线等都属于程序控制系统。程序控制系统可以是开环系统,也可以是闭环系统。

除了以上的分类方法外,还有其他一些方法,如按照系统输出量和输入量间的关系分为线性控制系统、非线性控制系统;按照系统中的参数变化对时间的变化情况分为定常系统、时变系统;按系统主要组成元件的类型分为电气控制系统、机械控制系统、液压控制系统、气动控制系统;按控制方式分为开环控制系统、闭环控制系统、无静差控制系统及复合控制系统;按控制方法分为单回路反馈控制、串级控制、前馈控制、比值控制等。

对 PLC 模拟量控制应用来说,大多数是线性定常定值控制。

3. 模拟量控制系统要求与性能指标

模拟量控制是自动控制的一种。因此,对自动控制系统的要求和性能指标分析也适用于模拟量控制系统。

1) 模拟量控制要求

模拟量控制系统不管是属于哪种类型,其控制要求都是一样的,即稳定性、准确性和快速性,简称稳、准、快。

(1) 稳定性。所谓稳定性,是指系统的被控制量一旦受到某种干扰而偏离控制要求的期望值时,能够在一定时间后利用系统的自身调节作用波动较小地恢复到期望值。对定值控制系统,就要回到设定值所对应的期望值。对于随动系统,输出值应随着设定值的变化而变化。对于程序控制系统。其输出必须按照预定设计的规律进行输出。

稳定性对控制系统的重要性是不言而喻的。它是首要指标,是决定系统正常工作的先决条件。一个系统不稳定,精度再高、响应再快都没有用。

(2) 准确性。准确性实际上是系统的精度。一个系统由于受到各种因素的影响,如结构、所用硬件误差或机械、气动、液动等元件的损耗、精度误差等,在偏离期望值后再回到稳态值,总会和期望值有误差。这种稳态误差在实际中是必定存在的,完全消除是不可能的。而系统准确性的要求是这个误差应尽可能小一些。越小,则表示系统的精度越高。和稳定性不同的是,稳定性是越稳定越好,在连续生产的控制线上,甚至会花费巨大代价去求得控制系统的稳定。但准确性并不是越精越好,一般情况下,以满足生产产品质量和产量要求为度。超过这个度,必须要考虑经济成本和性价比。

(3) 快速性。快速性是指控制系统的响应速度,即当控制系统受到某种原因而使输出偏离期望值时,系统的自动调节作用在多长时间里、以什么样的方式回到期望值。快速性要求是系统能很快且又非常平稳的回到期望值。响应速度快是很多模拟量控制系统所追求的。特别是随动系统中,如果输入值变化很快,而输出值不能及时跟上,变成马后炮,那会影响到系统的控制质量。当然,平稳地过渡到期望值,也是所要求的,在回到期望值的过程中,如

果波动太大（振荡幅度很大）、波动时间太长（振荡时间长），对系统的稳定性会产生影响。

快速性虽然重要，但也和准确性一样，以满足控制要求为度，在经济成本及其他方面相同时，当然是越快越好。

2) 模拟量控制系统性能指标

衡量一个模拟量控制系统的性能可以从静态和动态两方面特性来考虑。

(1) 静态特性。以定值系统为例，当输入设定值不变时，控制系统能够有稳定的输出期望值。这时，就说系统处于稳定状态，也叫静态。这时，输入和输出之间的关系称为系统的静态特性。当然必须说明，静态只是系统对外所呈现的状态，而在系统内部仍然处于运动的状态，静态也可以说是一种动态平衡状态。

系统的静态特性是模拟量控制系统的重要品质指标。它涉及如何确定控制方案、设计控制装置、进行扰动分析。

(2) 动态特性。一个系统原本处于静态，但是当出现了干扰，使输出发生变化时，系统原来的平衡就受到破坏。这时，系统的调节作用就会动作，克服干扰，力图使系统恢复原有的平衡或建立新的平衡。这种从一种静态到另一种新的静态的过程称为过渡过程，也叫动态。这时，系统的输出随时间而变化的关系称为系统的动态特性。

在控制系统中，了解动态特性比静态特性更重要。静态特性可以说是动态特性的一种极限情况。例如在定值控制中，干扰是不断地产生的，控制系统在不断地自我调节，整个系统总是处于动态过程中。

动态特性对系统的稳定性特别重要。如图 1-7 所示是定值控制系统加入阶跃信号后可能出现的几种动态特性。图 1-7 (b) 所示是发散振荡，输出值越来越大，显然这是一种不稳定的动态特征，结果只能是控制停止。图 1-7 (c) 所示是衰减振荡其输出值慢慢变小，经过一段时间后，最后趋于一种平衡稳定状态。这种过渡过程正是控制系统所需要的动态特性。图 1-7 (d) 所示为单调发散，虽然没有振荡，但是输出越来越大，和发散振荡一样，是一种不稳定的动态特征。图 1-7 (e) 所示为等幅振荡，是一种介于图 1-7 (b)、(c) 之间的动态特性，处于稳定和不稳定状态的临界点，如果输出的这种摆动并不影响生产过程和产品的质量，还可以勉强采用，特别是振荡的幅度很小时。但一般情况下，若发生了这种情况，必须对系统进行改进，使其动态特性变至图 1-7 (c) 所示情况。

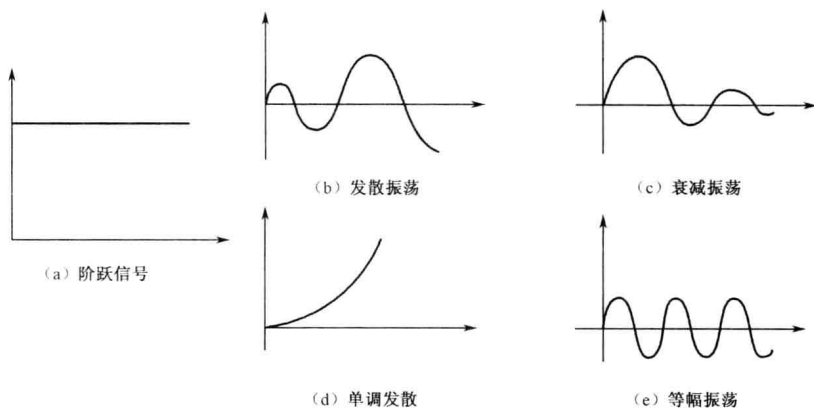


图 1-7 定值控制动态特性