

# 现代测控技术

XIANDAI CEKONG JISHU

主编 胡家华



国防工业出版社

National Defense Industry Press

# 现代测控技术

主 编 胡家华  
副主编 谈宏莹 慕香永

国防工业出版社

·北京·

## 内 容 简 介

本书系统地介绍了现代测控技术的基本概念和基本理论,探讨现代测控系统分析与设计的方法与过程、工程实现的基本要点。全书共分9章,分别介绍了现代测控系统的基本概念、基本组成、信号的采样与恢复、现代测控系统的设计方法,包括控制系统的模拟化设计方法、离散化设计方法、状态空间设计方法、控制系统的模糊控制方法,并讨论了现代测控系统的计算机仿真技术等问题。书中还给出了一些实际举例。

本书可作为高等院校电气工程及其自动化、计算机应用、电子信息、机电一体化、仪器仪表等相关专业本科的教材,也可供有关教师、科研人员和工程技术人员学习参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

现代测控技术/胡家华主编. —北京:国防工业出版社,2012. 12

ISBN 978-7-118-08457-3

I. ①现... II. ①胡... III. ①计算机控制系统  
IV. ①TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 254668 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 100048)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

\*

开本 787 × 1092 1/16 印张 13½ 字数 305 千字

2012 年 12 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 38.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

# 前 言

现代测控技术是以电子、测量、控制等学科为基础,涉及电子技术、计算机技术、测量技术、自动控制技术、信息处理技术、仪器仪表技术及网络技术的一门高新技术,是目前重点发展的应用技术之一。

20世纪20年代基于反馈系统的研究,奠定了自动控制理论的基础,并逐步形成了经典控制理论。随着社会生产的发展,由于空间技术的需要和计算机技术的发展,以多变量控制为特征的现代控制理论得到了重大发展。大系统理论及应用逐渐形成了一个专用领域,结合现代控制理论,形成了控制科学与技术完整的理论体系。科学技术与生产力水平的高速发展,对大规模、复杂和不确定性系统实现自动控制的要求也在不断提高,特别是针对被控对象、环境、控制目标的复杂性及数学模型的不确定性,采用传统的基于精确数学模型的控制理论出现了明显的局限性。随着计算机科学与技术、人工智能、信息科学等学科的发展,智能控制理论和现代控制技术得到了快速发展,以适应不确定复杂系统的控制。

现代测控技术在国民经济和军事领域有着广泛的应用,越来越多的科技人员、教学工作者、基层工程设计者需要了解并掌握现代测控技术。编写本书的目的适应了社会的需求。

本书作者结合多年从事测控领域教学与科研工作的体会,紧扣现代测控技术的热点问题,跟踪测控技术前沿领域的发展,从介绍现代测控技术的发展、功能及特点入手,着重论述了测控系统的结构、新型传感器技术、测控总线技术、控制系统设计的方法、要点、过程等问题,并辅以典型应用实例介绍具体应用。

本书系统地阐述了现代测控系统的分析方法、设计方法和工程实际应用。全书共9章:第1章介绍现代测控技术的基本概念和分类及发展趋势。第2章介绍现代测控系统的组成结构、过程通道、信号变换和数据处理。第3章介绍传感器技术、测控总线技术和串行通信总线技术。第4章介绍测控系统设计和分析所涉及的数学工具和数学方法以及系统稳定性的判断方法和依据。第5章讨论测控系统模拟化设计方法,这些方法是从连续控制系统的设计方法演变而来的,并且重点介绍数字PID控制的设计过程。PID控制是很早发展起来的控制策略。PID控制由于算法简单、可靠性高、参数调整比较方便,被广泛应用于过程控制。因此,在本章中比较详细地讨论了离散PID控制器的结构、算法和参数整定。第6章详细讨论测控系统的离散化设计方法。重点讨论按照某种特定条件设计好的系统,当输入信号发生变化后系统的适应性及性能的变化;并详细地介绍快速有波纹系统和快速无波纹系统的设计过程,以及针对含有纯滞后环节的系统,如何进行设计。第7章介绍现代测控系统的状态空间设计法。现代控制理论与状态空间法是紧密相连的。在一些复杂的工业过程控制中、在航天、航空、交通运输和能源开发等领域,系统复

杂、性能要求高,经典控制理论已满足不了设计要求,而状态空间法可以解决时变和时不变系统、线性和非线性系统、单输入单输出和多输入多输出系统的设计和分析。状态空间法是现代控制理论的标志,在工程设计中使用得越来越多。因此,本书详细地讨论现代测控系统的状态空间设计法。第8章介绍测控系统的模糊控制过程。针对被控对象的不确定性、无法建立精确的数学模型,采用模糊控制还是能获得满意的控制效果的。因此,本章讨论模糊控制过程所涉及到的数学工具、模糊控制原理以及模糊控制器的设计过程。第9章介绍离散控制系统的计算机仿真技术,重点讨论 Simulink 的使用方法及模块的应用。

本书从工程技术角度出发,突出基本理论、基本概念和基本方法。注重理论与应用结合,设计与实现结合,强调设计过程的系统性和实用性。本书可作为高等院校计算机应用、电气工程及其自动化、电子信息、机电一体化等专业教材,也可供相关的工程技术人员参考。

本书由胡家华、谈宏莹、慕香永共同编写,胡家华任主编并统稿,谈宏莹、慕香永任副主编。其中第1章、第3章、第4章、第6章由谈宏莹编写,第2章、第5章、第7章由胡家华编写,第8章、第9章由慕香永编写。

由于作者的水平有限,书中难免存在疏漏及不妥之处,敬请读者批评指正。

编者

2012年7月

# 目 录

第1章 绪论	1
1.1 现代测控技术的基本概念	1
1.1.1 现代测量技术	1
1.1.2 现代控制技术	2
1.1.3 现代测控技术	3
1.2 现代测控技术的分类	4
1.3 现代测控技术的发展趋势	5
习题	6
第2章 现代测控系统的组成结构	7
2.1 测控系统的组成结构	7
2.2 输入通道	8
2.2.1 数字量输入通道	8
2.2.2 模拟量输入通道	9
2.3 输出通道	13
2.3.1 开关信号输出通道	14
2.3.2 模拟信号输出通道	15
2.4 信号变换	17
2.4.1 信号的采样过程	18
2.4.2 采样定理	19
2.4.3 量化过程和量化误差	20
2.4.4 信号的恢复和保持器	20
2.5 数据处理	23
2.5.1 串模干扰和共模干扰	23
2.5.2 数字滤波	24
2.5.3 标度变换	26
2.5.4 曲线拟合与插值	28
习题	30
第3章 传感器及总线技术	31
3.1 传感器技术	31
3.1.1 微型传感器	31
3.1.2 数字传感器	33
3.1.3 集成传感器	35

3.1.4	智能传感器	35
3.1.5	网络传感器	36
3.2	总线技术	36
3.2.1	总线的定义	36
3.2.2	总线的信号线	37
3.2.3	总线的分类	37
3.2.4	测控总线	37
3.3	串行通信总线	39
3.3.1	串行总线的基本概念	39
3.3.2	串行通信的异步和同步方式	40
3.3.3	差错控制技术	41
3.3.4	串行通信标准总线	44
	习题	47
<b>第4章</b>	<b>系统设计与分析的数学工具</b>	<b>48</b>
4.1	差分方程	48
4.2	$Z$ 变换	52
4.2.1	$Z$ 变换定义	52
4.2.2	$Z$ 变换的一些基本性质	55
4.2.3	$Z$ 反变换	56
4.2.4	用 $Z$ 变换求解差分方程	59
4.3	脉冲传递函数	60
4.3.1	脉冲传递函数定义	60
4.3.2	脉冲传递函数的求法	61
4.4	$z$ 域稳定性分析	62
4.4.1	系统在 $z$ 域稳定性条件	62
4.4.2	系统在 $z$ 域稳定性判据	63
4.4.3	线性离散系统的动态响应分析	65
4.4.4	线性离散系统的稳态误差	67
	习题	70
<b>第5章</b>	<b>系统的模拟化设计方法</b>	<b>72</b>
5.1	模拟控制器到数字控制器的实现	72
5.1.1	模拟控制器到数字控制器的离散等效原理及条件	72
5.1.2	模拟控制器转化为数字控制器的方法	74
5.2	数字PID控制器的设计	76
5.2.1	模拟PID控制规律的离散化	77
5.2.2	数字PID控制算法的改进	79
5.3	数字PID控制器参数的整定	82
5.3.1	PID参数变化对系统性能的影响	82
5.3.2	采样周期的选择	83

5.3.3	简易工程法整定参数	84
5.3.4	试凑法确定参数	86
5.3.5	归一参数整定法	87
5.4	设计举例	87
5.4.1	按二阶工程设计法设计数字控制器	87
5.4.2	举例	88
	习题	93
<b>第6章</b>	<b>系统的数字化设计方法</b>	<b>95</b>
6.1	最少拍数字测控系统的设计	96
6.1.1	最少拍测控系统设计	96
6.1.2	典型输入信号下输出跟踪输入的拍数	97
6.1.3	系统在典型输入信号作用下输出跟踪输入的适应性	99
6.2	快速有波纹系统的设计	100
6.2.1	稳定性对 $\Phi(z)$ 的要求	100
6.2.2	准确性(稳态误差应为零)对 $\Phi(z)$ 的要求	101
6.2.3	快速性及可实现性对 $\Phi(z)$ 的要求	102
6.2.4	闭环脉冲传递函数 $\Phi(z)$ 的设计	102
6.2.5	最少拍有波纹系统的设计过程	103
6.3	快速无波纹系统的设计	104
6.3.1	最少拍无波纹系统设计的要求	105
6.3.2	最少拍无波纹系统设计过程	105
6.4	纯滞后测控系统的设计	106
6.4.1	史密斯预估控制	107
6.4.2	大林算法	110
6.5	数字控制系统设计举例	115
6.5.1	恒温箱温度数字测控系统	115
6.5.2	针对含有扰动作用的测控系统设计	118
6.6	数字控制器的频域设计法	120
6.6.1	数字控制器的频率特性	120
6.6.2	$W$ 变换法的设计步骤	122
6.6.3	数字控制器的根轨迹设计法	124
	习题	126
<b>第7章</b>	<b>系统的状态空间设计方法</b>	<b>128</b>
7.1	状态空间法的基本概念	128
7.2	离散系统的状态空间描述	129
7.2.1	由差分方程建立离散状态空间模型	129
7.2.2	多输入多输出离散系统的状态空间描述	133
7.2.3	离散状态方程的求解	134
7.2.4	离散状态空间方程与 $z$ 传递函数之间的转换	137



7.3	离散系统的能控性和能观性 .....	141
7.3.1	能控性和能观性定义 .....	141
7.3.2	对偶原理 .....	144
7.3.3	能控性、能观性与传递函数矩阵的关系 .....	145
7.4	离散系统的状态空间设计法 .....	147
7.4.1	极点配置设计法 .....	147
7.4.2	状态观测器设计法 .....	150
7.4.3	用可测标准型设计观测器 .....	154
7.4.4	离散二次型最优设计法 .....	156
	习题 .....	160
<b>第 8 章</b>	<b>模糊控制技术</b> .....	<b>162</b>
8.1	模糊控制的数学工具 .....	162
8.1.1	模糊集合 .....	162
8.1.2	模糊集合的表示方法 .....	163
8.1.3	模糊集合的运算 .....	164
8.1.4	隶属函数的确定方法 .....	164
8.1.5	模糊关系 .....	165
8.1.6	模糊关系方程 .....	170
8.2	模糊控制原理 .....	171
8.2.1	模糊控制器的组成 .....	171
8.2.2	模糊控制器设计 .....	176
8.3	双输入单输出模糊控制器设计 .....	178
8.3.1	双输入单输出模糊控制器设计 .....	178
8.3.2	模糊控制应用实例——洗衣机的模糊控制 .....	181
8.4	模糊数字 PID 控制器 .....	186
	习题 .....	187
<b>第 9 章</b>	<b>测控系统的仿真技术</b> .....	<b>189</b>
9.1	MATLAB - Simulink 简介 .....	189
9.2	Simulink 结构程序设计 .....	191
9.3	离散系统仿真 .....	196
9.4	Simulink 仿真应用 .....	201
	习题 .....	205
	参考文献 .....	206

# 第 1 章 绪 论

## 1.1 现代测控技术的基本概念

现代测控技术是建立在计算机信息基础上的一门新的技术,包括计算机自动测量技术和计算机自动控制技术两大部分。人类在生产生活工程实践的过程中:一种要求是通过各种方法获得反映客观事物或对象的运动属性的各种数据,这个过程称为测量;另一种要求是能够对客观事物或对象的发展运动有一定的支配和约束,这个过程就是控制。测量和控制相结合,就形成了测控技术。

### 1.1.1 现代测量技术

“仪器是认识世界的工具,机器是改造世界的工具,改造世界是以认识世界为前提的。”科学始于测量,没有测量就没有科学。而测量是采用各种方法获得反映客观事物或对象的运动属性的各种数据。随着科学技术水平的不断提高和生产技术的高速发展,测量技术也随着向前发展。计算机及微电子等技术迅猛发展并逐步渗透到测量、测试和仪器仪表技术领域,使得测量技术与仪器仪表技术不断进步,出现了以计算机为核心的自动测量系统,测量仪器也从早期简单的模拟式、数字式仪表,发展到现在的智能化仪表、虚拟仪器等先进的微机化的仪器。

测量技术主要是对被测量的测量原理、测量方法、测量系统和数据处理等方面进行研究。

(1) 测量原理:是指采用什么原理和依据什么效应去测量被测量,不同性质的被测量用不同的原理去测量,同一性质的被测量也可以用不同的原理去测量。

(2) 测量方法:测量原理确定以后,用什么方法去测量被测量。常用的方法有直接测量法和间接测量法。

(3) 测量系统:在确定了测量原理和测量方法后,就需要设计测量系统。根据系统中被测量信号类型的不同,可以分为模拟式和数字式测量系统。

模拟式测量系统如图 1.1 所示。数字式测量系统如图 1.2 所示。



图 1.1 模拟式测量系统

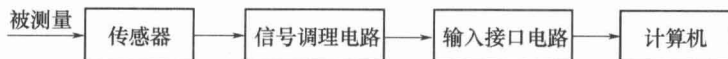


图 1.2 数字测量系统

经典的测量方法是人工测量、目测读数、手动记录,对测试人员来讲,劳动强度比较大,目测读数的误差比较大,手工记录因人而异。所以经典的测量方法已逐渐被现代测量技术所取代。现代测量是指以电子技术为基本手段的一种测量技术,它是测量学和电子学相结合的产物。现代测量除具有运用电子科学的原理、方法和设备对各种电量、电信号及电路元器件的特性和参数进行测量外,还可通过各种敏感器件和传感器装置对非电量进行测量。因此电子测量不仅用于电学各专业,也广泛应用于物理学、化学、机械学、材料学、生物学、医学等科学领域以及生产、国防、交通、通信、生态环境保持等各个方面。随着计算机技术和微电子技术的迅猛发展,尤其是微型计算机与电子测量仪器相结合,构成了新一代仪器和测量系统,即“智能仪器”和“自动测量系统”,它们具有对电参数进行自动测量、自动量程选择、数据记录和处理、误差校正及在线测试等功能,不仅改变了传统测量概念,更对测量技术和其他科学技术产生了巨大推动作用。

测量仪器是测控系统的重要组成部分。无论仪器最终如何发展,测量仪器都可以概括为以下三个功能模块:信号采集(包括传感器电路、信号调理电路)、信号分析与处理、结果表达与输出。一个具体的仪器各部分或许有增有减,但总的架构都大致相同。

从现代测量仪器的组成来看,可以将其分为以下两大类。

(1) 独立仪器。把信号采集、信号处理、结果输出等部分,通过硬件电路和软件组成一个整体放到独立的机箱内,机箱有操作面板、信号输入输出端口、通信接口等。测量结果由机箱面板的 LED 或 LCD 窗口显示,也可通过打印输出接口输出。

(2) 虚拟仪器。虚拟仪器是通过在计算机上插上数据采集卡对数据进行测量,测量数据的分析和处理、结果的表达与输出放到计算机上来完成,也就是把信号的采集、信号处理、结果的表达与输出三个部分全都放到计算机上来完成。由软件在计算机屏幕上生成仪器控制面板,用软件对信号进行分析和处理,完成多种多样的测试。通过屏幕形象地以各种表达式形式或图形方式表达输出测量结果。虚拟仪器突破了传统仪器在数据采集、数据处理、数据存储和传送等方面的限制,达到了传统仪器无法比拟的效果。

近十几年来,以 Internet 为代表的网络技术的出现,开始将智能互联网产品带入现代生活,也为测量技术与仪器仪表技术带来了前所未有的发展空间和机遇,网络化测量技术与具备网络功能的新型仪器应运而生,从而带来新一轮的测量方式的变革。

### 1.1.2 现代控制技术

由经典控制系统可知,控制系统可以分为开环控制和闭环控制。开环控制是指系统的输出对系统的控制过程没有影响,如图 1.3 所示。闭环控制是指系统的输出对系统的控制过程有影响,如图 1.4 所示。

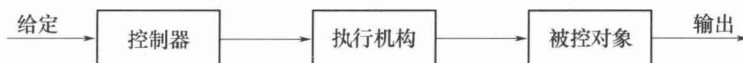


图 1.3 开环控制示意图

开环控制的特点是信号传递是单方向的。缺点是系统不能自动补偿。闭环控制的特点是控制信号沿着前向通道和反馈通道循环传递,优点是系统能自动补偿。

一个控制系统要满足以下要求。

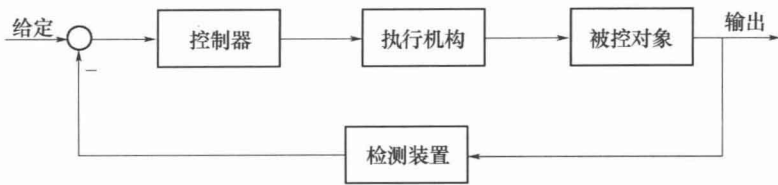


图 1.4 闭环控制示意图

(1) 稳定性:是指系统的被控量偏离给定值而振荡时,系统抑制振荡的能力。对于稳定系统,随着时间的增长,被控量将趋于希望值。

(2) 快速性:是指被控量趋于希望值的快慢程度。快速性好的系统,其过渡过程时间短,具有较高的动态精度。

(3) 准确性:是指过渡过程结束后,被控量与希望值接近的程度。系统的这一性能指标称为稳态精度。

(4) 可实现性:是指设计的控制系统在物理上要能够实现,不能停留在理论阶段。

经典控制技术是指理论基础采用传递函数进行数学描述,以根轨迹和频率法作为分析和综合系统的基本方法。经典控制在很大程度上有依靠人工和经验进行控制系统的分析和综合。在系统设计过程中,一般是将复杂的生产过程人为地分解为若干个简单的生产过程,实现单输入单输出控制系统。其控制目标满足于生产的平稳和安全。这种控制系统属于局部自动控制的范畴。随着控制技术的发展,也出现了如串级、前馈补偿等复杂控制系统,相应的控制仪表从基地式控制仪表发展到单元组合式控制仪表。但总的来说,系统的自动控制水平还处于比较低的阶段。

现代控制是以状态空间分析法为基础,内容主要包括以最小二乘法为基础的系统辨识,以极大值原理和动态规划为主要方法的最优控制,和以卡尔曼滤波理论为核心的最佳估计值等三部分。现代控制在对控制系统进行综合和分析时,已从外部现象深入到揭示系统内部的内在规律,从局部简单控制进入到一定意义下全局最优控制,而在结构上已从单闭环系统扩展到自适应环、自学习环等。同时,计算机技术的发展为现代控制技术的发展应用开拓了广阔空间,为实现复杂的、高水平的自动控制系统提供了重要的技术手段。因此可以说现代控制技术是以状态空间分析法为基础,以计算机技术应用为手段,达到系统自动控制过程。

目前,现代控制技术已经向大系统理论和智能控制理论方向发展。一些复杂的工业过程,如反应过程、冶炼过程、生化过程等,本身机理十分复杂,而且这类过程往往还受到众多随机因素的干扰和影响,因此难以建立符合应用要求的数学模型,以满足最优控制的要求。解决这类问题的重要途径就是将人工智能、控制理论和运筹学三者结合形成智能控制。与此同时,在现代控制理论中,诸如非线性系统、分布参数系统、随机控制以及容错控制等也在理论上和实践中得到了发展,自动控制系统正在发生着巨大的变革,它已突破了局部控制的模式,进入到全局控制,即包含了若干子系统的闭环控制,又有大系统协调控制、最优控制以及决策管理,即人们称为控制管理一体化的新模式。

### 1.1.3 现代测控技术

上面分别谈了现代测量技术和现代测控技术,将二者结合起来就形成了现代测量与

控制技术,即现代测控技术。也就是说现代测量与控制技术是以现代测量为基础、以现代控制为目的,以其达到和满足复杂系统控制的要求。

基本测量控制系统的原理图如图 1.5 所示。

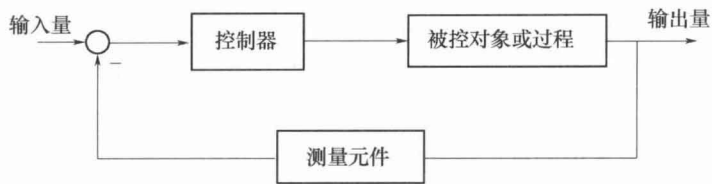


图 1.5 基本测控系统的原理图

测控系统的任务应包括:

(1) 测量:通过传感器获取被测物理量的电信号或控制过程的状态信号,进行信号处理和越限报警等。

(2) 执行机构的驱动:控制器产生的控制信号去驱动执行机构达到所需要的位置,并接收反馈测量信号,以便检查控制命令是否已被执行。

(3) 控制:常用的控制方案有三种类型:直接数字控制、顺序控制和监督控制。

(4) 人机交互:控制系统要为操作员提供关于被控对象和控制系统本身运行的全部信息。

(5) 通信:各控制模块之间必须能够实时地交换信息。

测控技术是测量技术和控制技术的综合。其中测量就是准确地获得被测参数的信息;控制就是对某一客观事物的进程的支配或约束。在控制过程中主要完成测量、比较和执行这三种作用。

目前谈到的现代测控技术,主要是表现在测量与控制过程中均要采用计算机技术,利用计算机的强大计算能力、信息存储能力以及通信能力来达到现代技术应用的目的,从而实现信息共享、数据通用、控制准确及系统稳定的要求。则图 1.5 中的控制器就可以由计算机来担任,此时的控制器就称为数字控制器,也就大家常说的数字控制。

数字控制(离散控制)与模拟控制(连续控制)相比较,有如下的优点:①程序控制;②精度高;③稳定性好;④软件复用;⑤分时控制。

## 1.2 现代测控技术的分类

现代测控技术融合了现代传感技术、通信技术和计算机技术,各种新技术新方法不断融入到现代测控系统中,使得测控技术不断发展和进步。测控系统由于所采用的支撑技术不同,可以将现代测控技术分为以下几类。

### 1. 基于网络的测控技术

基于网络的测控技术,主要是指以集散控制系统(DCS)、现场总线控制系统(FCS)和以太网组成的测控技术和系统。随着计算机技术、网络技术和通信技术的不断发展和应用,实现网络化的测控系统成为可能。目前,Internet 已经比较完善,充分利用 Internet 的资源组建现代测控网络是可以实现的,以此可以降低组建系统网的费用,实现测控设备和

测试信息的共享。现场测试仪器测得被测对象的数据信息后,通过网络传输给异地的精密分析仪器或计算机分析处理系统去分析处理,提高了贵重和精密设备的利用率。与传统的测控系统相比,网络化测控技术跨越了空间和时间上的限制,基于网络的现代测控技术将测控系统与计算机网络相结合,构成信息采集、传输、处理和应用的综合平台,符合信息化发展的要求。对网络化现代测控技术的研究和应用具有重要的意义和使用价值。

## 2. 基于无线网络的测控技术

在传统的测控系统中,数据的通信通常是有线的,随着系统规模不断增大,结构的多样化、功能要求越来越高,特别是在一些复杂的环境,如野外作业,采用有线技术显得非常困难,有线通信存在的问题非常突出。即便是能采用有线通信技术,但通信线路的庞大,给安装和维护带来了极大的不便。因此无线通信的测控技术逐渐被应用。对于工作点多、通信距离远、环境恶劣且实时性和可靠性要求比较高的远程测控场合,可以用无线电波来实现主控站与各个子站之间数据通信。无线远程测控技术的关键是要使射频模块的发射功率和接收灵敏度足够高,以扩大站点之间的距离。设计无线通信时,必须选择好无线电波段。无线通信调制解调器已经有许多比较成熟的产品,实际应用可根据要求选择。

在国防科研、海洋探测、车船及飞机的导航等领域,雷达和 GPS 定位系统也在无线通信测控技术中有大量的应用。

## 3. 基于虚拟仪器的测控技术

虚拟仪器(Virtual Instrument, VI)是指以计算机作为系统控制器,由软件来实现人机交互和大部分测控功能的一种计算机测控系统。虚拟仪器的出现,打破了传统仪器由厂家定义,用户无法改变应用的模式。用户可以在通用计算机平面上,根据测控任务要求定义和设计测控仪器的功能,在测控系统和仪器设计中以软件代替硬件,充分利用计算机技术实现和扩展传统测控仪器功能,使用者在操作计算机时,就像操作一台自己设计的测试仪器。

虚拟仪器测控系统由硬件设备、设备驱动程序和应用软件三部分组成。应用软件开发平台常用有 LabVIEW。LabVIEW 在使用上有以下的特点。

(1) 数据采集:提供了大量的仪器驱动库和输入/输出(I/O)库,能够直接调用相应仪器驱动库和 I/O 库,实现自动检测功能。

(2) 数据分析处理:提供了数据分析库以及高级分析库,能够快速地调用各种数据处理算法。

(3) 数据通信功能:提供了 GPIB 库、RS-232 库、VISA 库等,能够利用 C 语言编程调用相应接口函数,实现测控系统的通信和控制。

(4) 操作界面:提供了面板、菜单、按钮等用户接口库,用户能够简单方便快捷地制作出个性化的现代测控系统界面。

随着虚拟仪器技术本身的发展,结合 Internet,虚拟仪器测控技术已成为现代测控技术的重要组成部分。

# 1.3 现代测控技术的发展趋势

现代测控技术的主要发展趋势集中体现在数字化、智能化、分布化和网络化。

(1) 数字化。数字化主要是指计算机技术的应用,特别是单片机的高速发展,为测控

技术的数字化提供了强有力的手段,从传感器到远程终端设备很多都实现了数字化控制。数字化器件成为信号处理、通信中的主要器件,过程控制也几乎实现了数字控制。

(2) 智能化。测控系统中的仪器仪表是以微处理器为核心的智能化仪器,随着微电子技术的发展,高级的人工智能将日益嵌入到未来的仪器内,从而使得组成一个测控系统的每个单元都具有故障诊断、报警处理、统计分析、智能决策的功能,从而使测控对象的调度运行最佳化。测控系统中的服务器采用专家系统,使得服务器除了常规的监控、控制和显示任务外,还能起到专家顾问的作用,可进行过程智能监控等。

(3) 分布化。采用分布式结构将系统内部的所有设备连接起来,组成适合需要的分布式测控系统,系统是以微型计算机技术和通信网络技术为基础的。利用分布式测控系统在生产过程控制中可以实现测量、控制、管理一体化,从而使生产成本降低,生产效率提高。

(4) 网络化。将计算机技术、传感器技术、网络技术与测控技术相结合,可以组建网络化、分布式的测控系统。以 Internet 为代表的计算机网络技术迅猛发展及相关技术不断完善,使得计算机的网络更大、应用更广。在大工业制造领域,对网络化测控技术提出更迫切的要求,网络化仪器的快速发展,将有力地带动和促进网络化测控技术的进步。从某种意义上说,计算机和现代仪器仪表已相互包容,计算机网络也就是通用仪器网络,如果在测控系统中将各种智能仪器、虚拟仪器及传感器通过网络节点连入网络,充分利用目前比较成熟的 Internet,可以实现更多的资源共享、数据传递,提高测控系统的功能,拓宽系统的应用范围。

(5) 虚拟化。虚拟仪器是随着计算机技术和现代测量技术的发展而产生的一种新型虚拟化技术,代表着当今测控技术发展方向。虚拟仪器是利用现有的微型计算机,加上测控硬件和专用软件,形成既有普通测控仪器系统的基本功能,又有传统测控仪器所没有的特殊功能的新型计算机测控仪器系统。由于虚拟仪器的灵活性、快速性,可以根据用户的意愿制作各种不同风格的用户界面及仪器仪表显示形式,因此现代测控技术更趋向于虚拟化设计方向。

## 习 题

- 1.1 测量技术的内容包括哪几部分?
- 1.2 经典测量方法和现代测量技术有何区别?
- 1.3 现代测量仪器可以分几大类?
- 1.4 什么是开环控制?什么是闭环控制?
- 1.5 控制系统应该满足哪些要求?
- 1.6 简述现代测控技术的分类。

## 第 2 章 现代测控系统的组成结构

各种测控系统组织结构相互之间存在较大的区别,但是它们都具有一些相似的结构和许多共同特征。如输入输出通道,每种系统都存在输入/输出通道,但对一个具体的电路来说,它的组成就可能大不相同。下面讨论与之相关的问题。

### 2.1 测控系统的组成结构

一个测控系统的基本结构应该包括计算机部分(控制其部分)、测量输入部分、控制输出部分、通信部分及被控对象。系统的硬件结构示意图如图 2.1 所示。

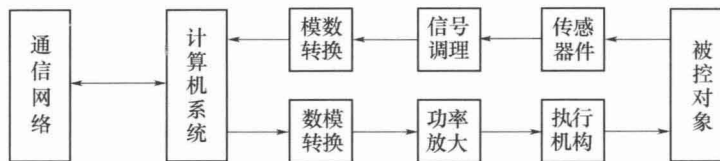


图 2.1 测控系统的硬件结构示意图

#### 1. 计算机部分(控制器部分)

计算机部分也称为控制器部分,可由小型计算机、个人计算机、微型处理器和单片机等组成,是测控系统的指挥、控制中心,它应包含硬件和软件两部分。硬件部分是指计算机的组成电路及部件。软件部分又分为系统软件和应用软件:系统软件是指管理计算机的程序总和,包括计算机的管理、应用程序的编辑、编译环境等,一般由计算机厂家提供;应用软件是指应用程序的总和,包括输入/输出、计算程序、滤波、通信程序等,应用软件一般由用户自己编写。

#### 2. 测量输入部分

测量输入部分完成对被控对象相关参数的测量,并通过输入通道传给计算机。测量可以由传感器或是智能仪器仪表完成;测量后的信号通过信号调理电路调节成适合 A/D 转换范围的信号,再经过 A/D 转换后变成数字量传给计算机。

#### 3. 控制输出部分

控制输出部分完成控制信号的变换、功率放大、执行机构的驱动等,使被控对象运行在期望的目标范围内。

#### 4. 通信部分

通信部分是指测控现场的计算机通过通信网络向上级或同级的其他计算机提供数据、信息或是接收各种指令和数据。通信网络可以采用有线网络或是无线网络。有线网络一般可以采用 RS-232C、RS-485 及现场总线等通信方式进行组网。



## 5. 被控对象

被控对象指的是现场被测控设备、系统或子系统、生产过程等。随着测控任务的不同,被控对象是千差万别的,这些对象要通过测控接口线路与测控设备相连,一般情况下还要根据被控对象的性质,建立数学模型。

## 2.2 输入通道

由图 2.1 可见,相对计算机(控制器)而言,信号有流入和流出。信号的流通途径称为通道,通道又分为输入通道和输出通道。通道是一个概念,不是具体的电路,但是一个通道由若干具体的器件或电路组成。通道是计算机和被控对象之间进行信息交换的桥梁,通道又称为过程通道。

输入通道分为数字量输入通道和模拟量输入通道。

### 2.2.1 数字量输入通道

数字信号包括二进制数字信号、开关信号和脉冲信号。而在计算机控制系统中,开关信号和脉冲信号是大量存在的,这些信号的逻辑电平分为高电平和低电平,故可以数字“1”和数字“0”来描述。控制现场的开关信号和脉冲信号的波形和幅值不尽相同,因此要通过输入电路进行波形的整形以及幅值的调整,以适合计算机系统的接收。

#### 1. 开关信号的调理

开关量输入时一定要进行信号调理,才能通过接口芯片传给计算机。从被控现场得到的开关量,在逻辑上表现为逻辑“1”或逻辑“0”,而信号的形式可能是电压、电流以及开关触点的通断,信号幅值的范围也不满足接口电路的要求,必须进行信号的调理。图 2.2 是一种开关信号输入电路,它将开关的状态转换为 0V 或是 5V 的电压信号。图 2.3 是电压电流输入转换电路。如果输入的是电压信号,图中的  $R_1$ 、 $R_2$  是分压电阻,通过分压将输入电压衰减;如果输入的是电流信号,则电阻  $R_2$  是将电流信号转换为电压的作用。

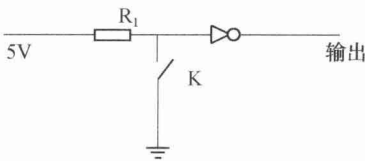


图 2.2 开关量转换电路

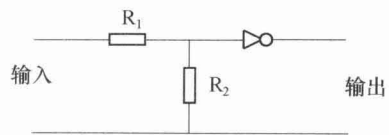


图 2.3 电压电流输入电路

控制现场的操作按钮、继电器的触点、行程开关等机械触点在接通和断开时都要产生机械抖动,这些抖动体现在计算机的输入上就是输入信号在 0 和 1 之间多次振荡,计算机会产生多次误读,这种情况要采用防抖电路进行处理。图 2.4 是 RC 积分器吸收防抖电路;图 2.5 是常用的 RS 触发器防抖电路。

#### 2. 开关信号的隔离

从控制现场获得的开关量的信号电平往往高于计算机系统的逻辑电平。如果开关量的电压本身不高,也可能会随着开关的吸合和释放而将高电压意外引入计算机系统,因此