

智能仪表原理与设计技术

凌志浩 主编

吴勤勤 主审

华东理工大学出版社

内 容 提 要

本书系统详细地介绍了智能仪表的原理与设计技术。全书共分 10 章,内容包括智能仪表的基本构成和设计思想、嵌入式系统、新颖 A/D 和 D/A 转换器、点阵显示装置、现场总线、虚拟仪表、蓝牙技术、电力线通信技术对智能仪表的支持,智能仪表的硬件电路设计及软件设计等。教材注重实用,对典型器件和典型电路的剖析深入浅出,主次分明。

本书可作为大专院校测控技术与仪器、自动化、电子信息工程、机电一体化和计算机应用等专业的教材,也可供从事智能仪表设计、制造、使用的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

智能仪表原理与设计技术/凌志浩主编.—上海:华东理工大学出版社,2003.8
ISBN 7-5628-1418-X

. 智 凌 智能仪器-理论 智能
仪器-设计 . TP216

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 050832 号

智能仪表原理与设计技术

凌志浩 主编
吴勤勤 主审

出版	华东理工大学出版社	开本	787 × 1092 1/16
社址	上海市梅陇路 130 号	印张	19.75
邮政	邮编 200237 电话(021)64250306	字数	479 千字
网址	www.hdlgpress.com.cn	版次	2003 年 8 月第 1 版
发行	新华书店上海发行所	印次	2003 年 8 月第 1 次
印刷	上海出版印刷有限公司	印数	1-3 050 册

前 言

微电子技术和通信技术的发展极大地促进了智能仪表的变革,现场总线问世和虚拟仪表的推出给智能仪表带来了新的生机,单片机技术和嵌入式系统的应用为智能仪表的设计提供了灵活的实施手段,蓝牙技术又为智能仪表的通信提供了新的方式,所有这一切新技术都为智能仪表注入了新的活力。

近年来,各仪表研究所、高等院校、仪表制造商均在开发带有单片机或嵌入式系统的智能化、网络化的智能仪器仪表,并将其应用于生产过程自动测控系统中。为了掌握智能仪表的原理和设计技术,研究性价比高的新型智能仪表,工科学生和广大从事仪器仪表研制、制造的工程技术人员迫切需要一本能反映现代先进技术、结合业内热点的教材或参考书。为此,吴勤勤教授、季建华副教授曾编写出版过智能仪表方面的教材。本书紧密结合现代科技发展和业内热点,在充分吸取原有教材精华的基础上,删除了一些陈旧的内容,充实了嵌入式系统、新颖 A/D 和 D/A 转换器、点阵显示装置、现场总线、虚拟仪表、蓝牙技术、电力线通信技术等智能仪表的新概念和新器件,力求在原有风格的基础上,既能详细阐述智能仪表的工作原理和设计技术,又能体现出对智能仪表设计和实现提供的最新技术支持。

本书共分 10 章。第 1 章扼要介绍智能仪表的基本功能和组成结构、支持智能仪表设计的技术以及智能仪表设计梗概。第 2 章介绍由单片机和嵌入式系统实现的智能仪表主机电路。第 3 章介绍智能仪表与现场信息的传输通道:包括模拟量、开关量等输入/输出通道以及所需用到的接口电路、调试软件和辅助电路。第 4 章介绍人机接口电路:包括智能仪表中的操作、显示、记录所需的接口电路和接口软件设计以及设备配置。第 5 章介绍智能仪表的通信原理和接口电路设计:包括 RS-232 异步通信、现场总线通信、基于工业 Ethernet 网的通信、蓝牙技术通信、电力线通信等。第 6 章介绍智能仪表的抗干扰措施。第 7 章介绍智能仪表的监控程序:包括智能仪表监控软件的设计方法以及各类程序设计实例。第 8 章介绍智能仪表的基本算法:包括测量算法中的滤波、校正、工程量变换等算法;控制算法中的 PID 算法、模糊控制算法、人工神经网络技术等。第 9 章介绍智能仪表设计实例:分别介绍利用单片机、嵌入式系统等设计的智能仪表实例,讨论硬件和软件的设计原理和实现手段。第 10 章简单介绍虚拟仪器的组成、开发平台以及虚拟仪器的开发应用技术。

本书在内容安排上,贯彻“软硬结合、面向应用”的方针,注重过程检测控制



前 言

中的实际问题,选材具有代表性,强调基本技能训练和对实例的剖析和引导,真正体现出实用性和先进性。

本书由凌志浩主编,吴勤勤主审。王慧锋编写第 4、第 9 章,王华忠编写第 5、第 10 章,马欣编写第 6 章,姜捷编写第 7、第 8 章,凌志浩编写第 1 章,张文超和凌志浩编写第 2、第 3 章。全书由凌志浩统编定稿。本书的编写得到了吴勤勤教授的鼓励、支持和指导,得到了华东理工大学教材建设与评审委员会的资助,在此一并表示诚挚的感谢!

本书可作为大专院校测控技术与仪器、自动化、电子信息工程、机电一体化和计算机应用等专业的教材,也可供从事智能仪表设计、制造、使用的工程技术人员参考。

由于编者的水平和教学经验所限,错误和不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

2003 年 4 月于上海华东理工大学

目 录

1 概述	1
1.1 智能仪表的功能和组成	1
1.1.1 智能仪表的主要功能	1
1.1.2 智能仪表的基本组成	3
1.2 智能仪表的设计思想和研制步骤	4
1.2.1 智能仪表的基本设计思想	4
1.2.2 智能仪表的设计研制步骤	4
1.3 智能仪表的开发工具	9
1.3.1 开发系统的功能.....	10
1.3.2 几种开发系统.....	10
2 仪表主机电路设计.....	13
2.1 由 MCS—51 单片机构成的主机电路	13
2.1.1 MCS—51/ 52 单片微型计算机	13
2.1.2 主机电路.....	27
2.2 带 ARM 核的处理器芯片	32
2.2.1 ARM 处理器概述	32
2.2.2 带 ARM 核的处理器芯片 S3C44B0X	33
3 过程输入/ 输出通道设计	37
3.1 模拟量输入通道.....	37
3.1.1 模拟输入通道的结构.....	37
3.1.2 A/ D 转换芯片及其与单片机的接口	38
3.1.3 模拟量输入通道的其它器件.....	62
3.1.4 模拟量输入通道设计举例.....	67
3.2 模拟量输出通道.....	68
3.2.1 模拟量输出通道的结构.....	69
3.2.2 D/ A 转换芯片及其与单片机的接口	69
3.2.3 模拟量输出通道设计实例.....	77
3.3 开关量输入/ 输出通道	79
3.3.1 开关量输入/ 输出通道的结构	79
3.3.2 开关量输入/ 输出通道设计举例	80



目 录

4	人一机接口电路设计	82
4.1	显示器接口	82
4.1.1	LED 显示器	82
4.1.2	点阵式 LED 显示器	85
4.1.3	LCD 显示器	85
4.1.4	点阵式 LCD 显示器	88
4.2	键盘接口	94
4.2.1	键盘结构和类型	94
4.2.2	抖动与串键	94
4.2.3	非编码式键盘接口电路	95
4.2.4	编码式键盘接口电路	97
4.3	打印机接口	104
4.3.1	打印原理	104
4.3.2	GP—16 微型打印机接口	105
4.3.3	PP—40 彩色描绘器接口	108
5	智能仪表通信原理与接口电路设计	113
5.1	引言	113
5.2	串行总线通信	114
5.2.1	RS—232C、RS—422 和 RS—485	114
5.2.2	通用串行总线 USB	123
5.2.3	应用实例	127
5.3	现场总线技术及现场总线智能仪表	130
5.3.1	现场总线的体系结构与特点	130
5.3.2	几种有影响的现场总线	130
5.3.3	现场总线智能仪表	132
5.4	基于工业以太网的通信程序设计	133
5.4.1	概述	133
5.4.2	以太网在 SCADA 系统中的应用	134
5.4.3	基于以太网控制装置的通信程序设计	134
5.4.4	Socket 基本技术介绍	135
5.4.5	基于 PC—104 嵌入式控制器的 SCADA 系统中以太网通信程序的设计	138
5.5	蓝牙技术通信	143
5.5.1	蓝牙技术的特色与工作原理	144
5.5.2	蓝牙芯片组及其实用连接技术	146
5.5.3	基于蓝牙技术的便携式数据采集装置	148
5.6	基于电力线载波通信的自动抄表系统	152
5.6.1	电力线载波通信概述	152
5.6.2	电力线载波通信原理与方法	153



5.6.3	常用电力线载波通信芯片	154
5.6.4	基于电力线载波通信的自动抄表系统结构和功能	155
5.6.5	基于 PL2000A 芯片的电力线载波通信系统设计	156
6	智能仪表硬件电路的抗干扰	166
6.1	干扰与噪声源	166
6.1.1	串模干扰	166
6.1.2	共模干扰	167
6.1.3	数字电路的干扰	168
6.1.4	电源干扰	170
6.2	抗干扰措施	170
6.2.1	串模干扰的抑制	170
6.2.2	共模干扰的抑制	172
6.2.3	过程通道的抗干扰	173
6.2.4	电源与电网干扰的抑制	180
6.2.5	地线系统的抑制	181
7	监控程序	183
7.1	软件设计方法	183
7.1.1	结构化设计和编程	183
7.1.2	软件功能测试	184
7.1.3	软件的运行、维护和改进	186
7.2	监控程序设计	186
7.2.1	概述	186
7.2.2	监控主程序	187
7.2.3	初始化管理	188
7.2.4	键盘管理	188
7.2.5	显示管理	193
7.2.6	中断管理	193
7.2.7	时钟管理	195
7.2.8	手-自动控制	196
7.2.9	自诊断处理	197
8	智能仪表的测量与控制算法	199
8.1	测量算法	199
8.1.1	克服随机误差的软件算法(数字滤波)	199
8.1.2	克服系统误差的软件算法	206
8.1.3	量程自动切换与工程量变换	216
8.2	控制算法	219



目 录

8.2.1	PID 控制算法	219
8.2.2	智能控制算法	229
9	智能仪表设计实例	248
9.1	设计准则	248
9.2	设计实例	250
9.2.1	温度程序控制仪	250
9.2.2	变频调速控制器	260
9.2.3	多通道 pH 控制器	263
9.2.4	水表智能抄表系统	266
9.3	仪表调试	271
9.3.1	常见故障	271
9.3.2	调试方法	271
10	虚拟仪器技术及应用	275
10.1	引言	275
10.1.1	什么是虚拟仪器	275
10.1.2	虚拟仪器与传统仪器的比较	276
10.1.3	虚拟仪器的分类	277
10.1.4	虚拟仪器产品的国内外发展和应用状况	279
10.1.5	虚拟仪器系统与计算机监督控制和数据采集系统(SCADA)	280
10.1.6	虚拟仪器技术的发展前景与展望	281
10.2	虚拟仪器系统组成与结构	281
10.2.1	虚拟仪器系统硬件构成	281
10.2.2	虚拟仪器系统的软件体系结构	282
10.2.3	VISA 简述	284
10.2.4	虚拟仪器设备的互换性和互操作性	284
10.3	虚拟仪器软件开发平台	289
10.3.1	LabWindows/ CVI 的组成、功能及特点	290
10.3.2	LabWindows/ CVI 开发环境介绍	291
10.3.3	LabVIEW 简介	295
10.4	虚拟仪器系统的设计及应用实例	300
10.4.1	虚拟仪器系统的设计	300
10.4.2	虚拟仪器系统开发应用实例	301
	参考文献	307

1 概 述

微型计算机技术和嵌入式系统的迅速发展,引起了仪器仪表结构的根本性变革,即以微型计算机(单片机或嵌入式系统)为主体,代替传统仪表的常规电子线路,成为新一代的具有某种智能的灵巧仪表。这类仪表的设计重点,已经从模拟和逻辑电路的设计转向专用的微机模板或微机功能部件、接口电路和输入/输出通道的设计,以及应用软件的开发。传统模拟式仪表的各种功能是由单元电路实现的,而在以单片机或嵌入式系统为主体的仪表中,则由软件完成众多的数据处理和控制任务。

在测量、控制仪表中引入微机,不仅能解决传统仪表不能解决或不易解决的问题,而且能简化电路、增加功能、提高精度和可靠性、降低售价以及加快新产品的开发速度。由于这类仪表已经实现人脑的一部分功能,例如四则运算、逻辑判断、命令识别等,有的还能够进行自校正、自诊断,并具有自适应、自学习的能力,因此人们习惯上称它们为智能仪表。但智能的水平高低不一,目前所见的大部分这类产品,智能化的程度还不高,需要不断改进和完善。当然,随着科学技术的进一步发展,这类仪表所具有的智能水平将会越来越高。

MCU(微控制器或单片机)、DSP(数字信号处理器)、嵌入式系统等问世和性能的不断改善,大大加快了仪器仪表微机化和智能化的进程。它们具有体积小、功耗低、价格便宜等优点,另外用它们开发各类智能产品周期短、成本低,在计算机和仪表的一体化设计中有着更大的优势和潜力。

1.1 智能仪表的功能和组成

1.1.1 智能仪表的主要功能

将单片机、DSP、嵌入式系统引入仪表中,能解决的问题是多方面的,大体上可实现如下一些功能:

(1) 自动校正零点、满度和切换量程。自校正功能大大降低了因仪表零漂移和特性变化造成的误差,而量程的自动切换又给使用带来了方便,并可提高读数的分辨率。

(2) 多点快速检测。能对多个参数(模拟量或开关量信号)进行快速、实时检测,以便及时了解生产过程的瞬变工况。

(3) 自动修正各类测量误差。许多传感器的特性是非线性的,且受环境温度、压力等参数变化的影响,从而给仪表带来误差。在智能仪表中,只要掌握这些误差的变化规律,就可依靠软件进行修正。常见的有测温元件的非线性校正、热电偶冷端温度补偿、气体流量的温度压力补偿等。

(4) 数字滤波。通过对主要干扰信号特性的分析,采用适当的数字滤波算法,可抑制各



种干扰(例如低频干扰、脉冲干扰等)的影响。

(5) 数据处理。能实现各种复杂运算,对测量数据进行整理和加工处理,例如统计分析、查找排序、标度变换、函数逼近和频谱分析等。

(6) 各种控制规律。能实现 PID 及各种复杂控制规律,例如可进行串级、前馈、解耦、非线性、纯滞后、自适应、模糊等控制,以满足不同控制系统的需求。

(7) 多种输出形式。输出形式有数字(或指针)显示、打印记录、声光报警,也可以输出多点模拟量或数字量(开关量)信号。

(8) 数据通信。能与其它仪表和计算机进行数据通信,以便构成不同规模的计算机测量控制系统。

(9) 自诊断。在运行过程中,可对仪表本身各组成部分进行一系列测试,一旦发现故障即能告警,并显示出故障部位,以便及时正确地处理。

(10) 掉电保护。仪表内装有后备电池和电源自动切换电路。掉电时,能自动将电池接向 RAM,使数据不致丢失。也可采用 Flash 存储器来替代 RAM,存储重要数据,以实现掉电保护的功能。

在一些不带微机的常规仪表中,通过增加器件和变换电路,亦能或多或少地具有上述的某些功能,但往往要付出较大的代价;性能上的少许提高,会使仪表的成本增加。而在智能仪表中,性能的提高、功能的扩大是比较容易实现的,低廉的微机芯片使这类仪表具有较高的性能价格比。

为对传统仪表更新换代,近年来,国内各仪表研制和使用单位正致力于智能仪表的开发和应用研究工作。例如开发出能自动进行温压补偿的节流式流量计,能对测量元件、检测装置或执行机构进行快速测试和校核的各种校验设备,能对各种谱图进行分析和数据处理的色谱数据处理仪,能进行程序控温的多段温度控制仪,以及能实现 PID 和复杂控制规律的数字式调节器、智能式控制器等。

与此同时,一些厂家也从国外引进了新的产品。例如美国 Honeywell 公司的 DSTJ—3000 系列智能式变送器,它在半导体硅单晶片上配置了差压、静压和温度三种传感元件,进行差压值状态的复合测量,可对温度、静压实现自动补偿,从而获得较高的测量精度($\pm 0.1\% \text{ FS}$)。该变送器还可用遥控操作器远距离地进行零位校正、阻尼调整、测量范围的变更以及线性或平方根的选择,使用和维护十分方便。

日本横河(Yokogawa)公司的模拟数字混合式记录仪,采用开环扫描测量方法,没有伺服放大器、平衡电机、滑线电阻等部件。测量信号经多路开关扫描输入后,进行前置放大和 A/D 转换,再在微机控制下,发出相应的脉冲数驱动步进电机,带动打印头作横向移动而画出模拟曲线,也可打印出数据和表格,其测量精度比传统记录仪高。这种记录仪除能进行模拟或数字显示外,还具有自诊断、自校正、求差、报警等功能,并带有通信接口。

美国 Foxboro 公司的数字化自整定调节器,能自动计算 PID 参数,并使过程的恢复时间减到最小值。该调节器具有人工智能式的控制方法,采用“专家系统”技术,像有经验的控制工程师那样,能运用操作经验来整定调节器,工作迅速、正确。自整定调节器组态灵活、操作方便,节省了控制系统的投入时间,特别当对象特性变化频繁或在非线性系统中,由于它能自动改变参数,并始终保持系统品质最佳,因此大大提高了系统运行的经济效率。



1.1.2 智能仪表的基本组成

通常,智能仪表由硬件和软件两大部分组成。

硬件部分包括主机电路、过程输入/输出通道(模拟量输入/输出通道和开关量输入/输出通道)、人机联系部件和接口电路以及串行或并行数据通信接口等,如图 1-1 所示。主机电路用来存储数据、程序,并进行一系列运算处理,它通常由微处理器、ROM、RAM、I/O 接口和定时/计数电路等芯片组成,或者它本身就是一个单片机或嵌入式系统。模拟量输入/输出通道(分别由 A/D 和 D/A 转换器构成)用来输入/输出模拟量信号;而开关量输入/输出通道则用来输入/输出开关量信号。人机联系部件的作用是沟通操作者与仪表之间的联系。通信接口则用来实现仪表与外界交换数据,进而实现网络化互联的需求。

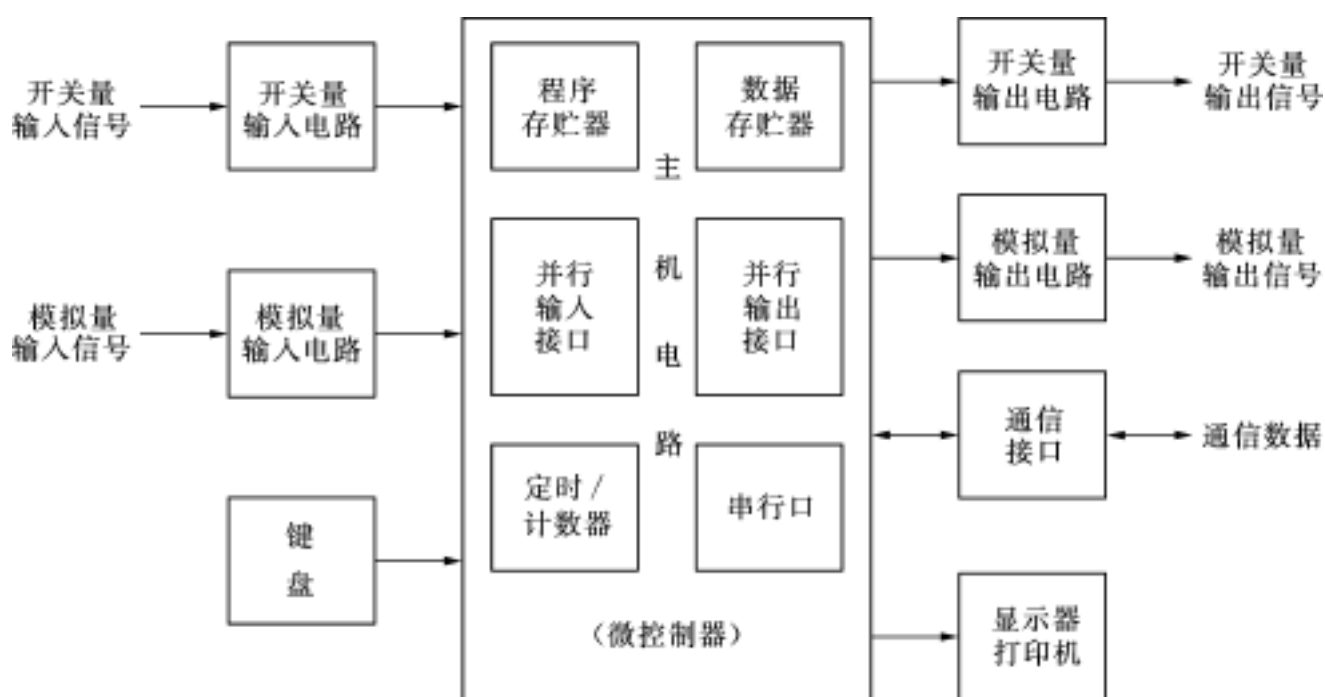


图 1-1 智能仪表的组成

由图 1-1 可知,输入信号先在过程输入通道的预处理电路中进行变换、放大、整形、补偿等处理。对于模拟量信号,尚需经模拟量输入通道 A/D 转换器转换为数字信号,再通过接口送入缓冲寄存器,以保存输入数据;然后由 CPU 对输入数据进行加工处理、计算分析等一系列工作,并将运算结果存储在 RAM 中;同时可通过接口由输出缓冲器送至显示器或打印机,也可输出开关量(数字)信号和经模拟量输出通道的 D/A 转换器转换成模拟量输出信号。还可通过串行标准接口(例如 RS—485 等)或并行标准接口(例如 IEEE—488 等)实现数据通信,完成更复杂的测量、控制任务。智能仪表的整体工作是在软件控制之下进行的,工作程序应预先编制好,写入非易失性存储器(如 EPROM、Flash 存储器等)中。必要的参数、命令可由键盘输入,存于可读写的存储器(如 RAM、Flash 存储器等)中。

智能仪表的软件通常包括监控程序、中断处理(或服务)程序以及实现各种算法的功能模块。监控程序是仪表软件的中心环节,它接收和分析各种命令,管理和协调全部程序的执行;中断处理程序是在人机联系部件或其它外围设备提出中断申请,并为主机响应后直接转去执行的程序,以便及时完成实时处理任务;功能模块用来实现仪表的数据处理和控制在功能,包括各种测量算法(例如数字滤波、标度变换、非线性校正等)和控制算法(PID 控制、前馈控制、纯滞后控制、模糊控制等)。



以上只是智能仪表的大致组成。至于仪表内部的具体硬、软件设计方法,将在以后各章节中详细阐述。

1.2 智能仪表的设计思想和研制步骤

研制一台智能仪表是一个复杂的过程,这一过程包括分析仪表的功能需求和拟定总体设计方案,确定硬件结构和软件算法,研制逻辑电路和编制程序,以及仪表的调试和性能的测试等等。为保证仪表质量和提高研制效率,设计人员应在正确的设计思想指导下进行仪表研制的各项工作。

1.2.1 智能仪表的基本设计思想

1.2.1.1 模块化设计

根据仪表的功能要求和技术经济指标,自顶向下(由大到小、由粗到细)地按仪表功能层次把硬件和软件分成若干个模块,分别进行设计和调试,然后把它们连接起来,进行总调,这就是设计智能化仪表的思想。

如前所述,通常把硬件分成主机、过程通道、人机联系部件、通信接口和电源等几个模块;而把软件分成监控程序(包括初始化、键盘和显示管理、中断管理、时钟管理、自诊断等),中断处理程序以及各种测量和控制算法等功能模块。这些硬件、软件模块还可继续细分,由下一层次的更为具体的模块来支持和实现。模块化设计的优点是:无论是硬件还是软件,每一个模块都相对独立,故能独立地进行设计、研制、调试和修改,从而使复杂的工作简化。模块间的相对独立也有助于研制任务的分解和设计人员之间的分工合作,这样可提高工作效率和仪表的研制速度。

1.2.1.2 模块的连接

上述各种软、硬件模块的研制调试完成之后,还需要将它们按一定的方法连接起来,才能构成完整的仪表,以实现数据采集、传输、处理和输出等各项功能。软件模块的连接,一般是通过监控主程序调用各种功能模块,或采用中断的方法实时地执行相应的服务模块来实现,并且按功能层次继续调用下一级模块。模块之间的联系是由数据接口(数据缓冲器和标志状态)来完成的。

硬件模块(模板)的连接有两种方法:一种是以主机模块为核心,通过设计者自行定义的内部总线(数据总线、地址总线和控制总线)连接其它模块;另一种是采用标准总线(例如ISA总线、PCI总线)来连接所有模块。第一种方法由设计人员自行研制模板,电路结构简单,硬件成本低;第二种方法是设计人员可选购商品化的模板(当然也可自行研制开发),配接灵活方便,研制周期更短,但硬件成本稍高。DSP芯片和嵌入式系统的推出为智能仪表的设计提供了更好的开发平台和更简洁的实现手段。

1.2.2 智能仪表的设计研制步骤

设计、研制一台智能仪表大致上可以分为图 1-2 所示的三个阶段:确定任务、拟定设计



方案阶段;硬件、软件研制及仪表结构设计阶段;仪表总调、性能测定阶段。以下对各阶段的工作内容和设计原则作一简要的叙述。

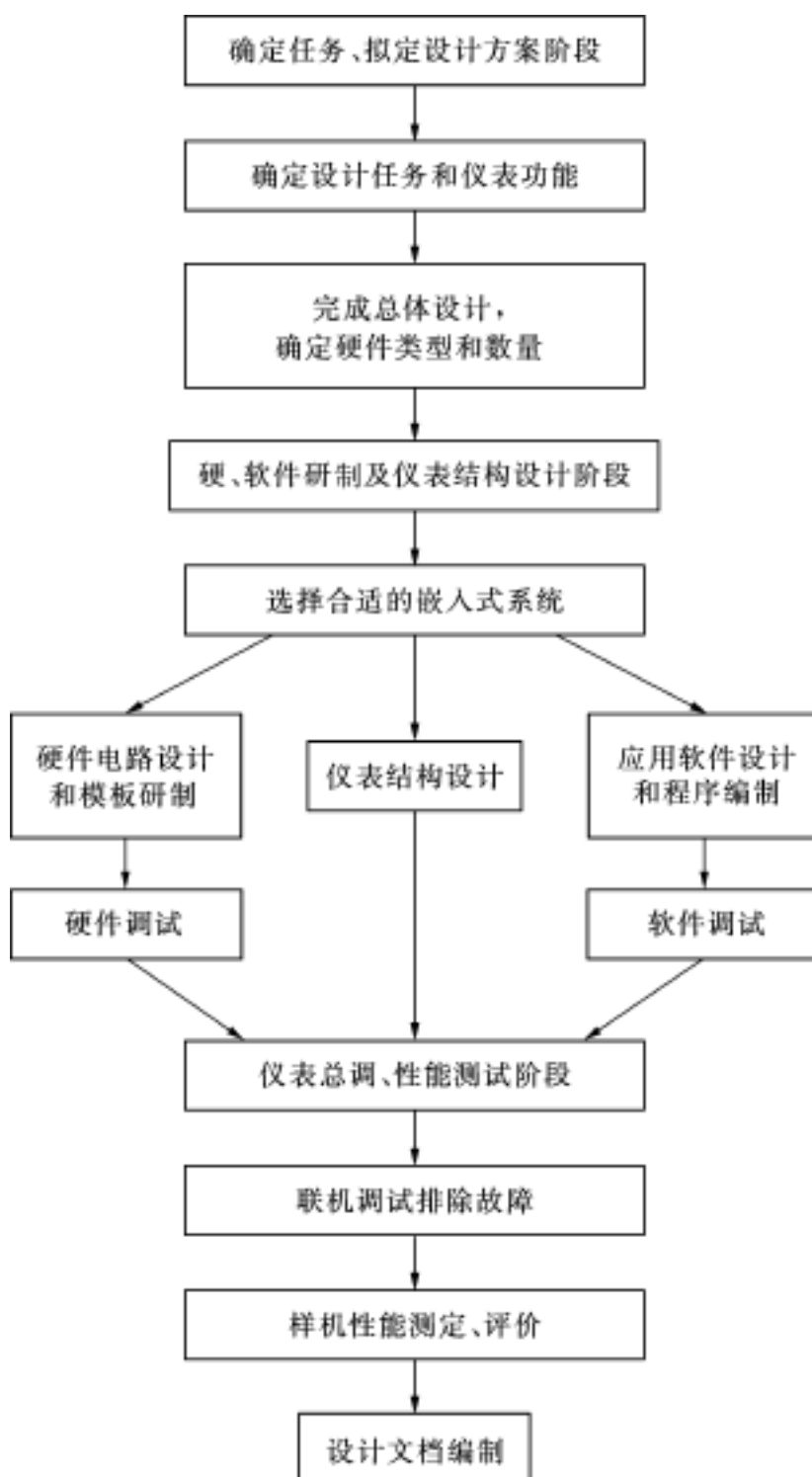


图 1-2 设计、研制智能仪表的基本过程

1.2.2.1 确定任务、拟定设计方案

A 确定设计任务和仪表功能

首先确定仪表所完成的任务和应具备的功能。例如仪表是用于过程控制还是数据处理,其功能和精度如何;仪表输入信号的类型、范围和处理方法如何;过程通道为何种结构形式,通道数需要多少,是否需要隔离;仪表的显示格式如何,是否需要打印输出;仪表是否需要通信功能,若需要的话,是采用并行方式还是串行方式;仪表的成本应控制在多少范围之内等。以上情况应作为仪表软、硬件的设计依据。另外,对仪表的使用环境情况及制造维修的方便性也应给予充分的注意。设计人员在对仪表的功能、可维护性、可靠性及性能价格比综合考虑的基础上,提出仪表设计的初步方案,并将其写成“仪表功能说明书(或设计任务



书) ”的书面形式。功能说明书主要有以下三个作用:

- (1) 作为用户与研制单位之间的合约,或研制单位设计开发仪表的依据;
- (2) 规定仪表的功能和结构,作为研制人员设计硬件、编制软件的基础;
- (3) 作为验收的依据。

B 完成总体设计,选择确定硬件类型和数量

通过调查研究对方案进行论证,以完成智能仪表的总体设计工作。在此期间应绘制仪表系统总图和软件总框图,拟定详细的工作计划。完成了总体设计之后,便可将仪表的研制任务按功能模块分解成若干课题(子任务),再去做具体的设计。

主机电路是智能仪表的核心,为确保仪表的性能指标,在选择单片机、DSP 芯片或嵌入式系统时,需考虑字长和指令功能、寻址范围与寻址方式,位处理和中断处理能力,定时计数和通信功能,内部存储器容量的大小、硬件配套是否齐全、芯片的价格以及开发平台等。在内存容量要求不大、外部设备要求不多的智能仪表中,可采用一般 8 位单片机;若要求仪表运算功能强、处理精度高、运行速度快,则可选用嵌入式系统;若有一些特殊要求,也可选择 DSP 芯片。

在智能仪表所需的硬件中,输入/输出通道往往占有很大的比重,因此在估计和选择输入/输出所需的硬件时,应考虑输入/输出通道数、串行操作还是并行操作、数据的字长、传输速率和方式等。

由于硬件和软件具有互换性,设计人员要反复权衡仪表硬件与软件的比例。适当多用硬件可简化软件设计工作,并使装置的性能得到改善。然而,这样会增加元器件数,成本会相应提高。若采用软件来代替一部分硬件功能,虽可减少元器件数,但将增加编程的复杂性,并使系统的响应速度降低。所以,应当从仪表性能、器件成本、软件费用、研制周期等多方面综合考虑,对硬件、软件的比例做出合理的安排,从而确定硬件的类型和数量。

1.2.2.2 硬件、软件研制及仪表结构设计

A 嵌入式系统的选择

嵌入式系统是整个智能仪器的核心部件,它直接影响整机的硬件和软件设计,它对智能仪表的功能、性能价格比以及研制周期起决定性作用。因此在设计任务确定之后,首先应对嵌入式系统进行选择。目前流行的微控制器(MCU)、微处理器(MPU)、数字信号处理器(DSP)、混合处理器和片上系统(SoC)等嵌入式系统,均是智能仪表设计时可供选择来制作主机电路的核心部件。下面对嵌入式系统的概念、体系结构及其适用性等内容作一简单介绍。

(1) 嵌入式系统。嵌入式系统是计算机的一种应用形式,通常指嵌入在宿主设备中的微处理机系统。它所强调的要点是:计算机不为表现自己,而是辅助它所在的宿主设备,使宿主设备的功能智能化、网络化。据此,通常把嵌入式系统定义为一种以应用为中心,以计算机为基础,软硬件可以剪裁,适用于系统对功能、可靠性、成本、体积、功耗有严格要求的专用计算机系统。因此在嵌入式系统中,操作系统和应用软件常被集成于计算机硬件系统之中,使系统的应用软件与硬件一体化。这样,嵌入式系统的硬件与软件需要高效率地协同设计,以做到量体裁衣、去除冗余,在同样的系统配置上实现更高的性能。

(2) 嵌入式系统的体系结构。嵌入式系统是集软硬件于一体的可独立工作的“器件”,



主要包括嵌入式微处理器、外围硬件设备、嵌入式操作系统,以及应用软件系统等四个部分。根据应用方式的不同,可将嵌入式系统分为 IP(Intellectual Property, 知识产权核)级、芯片级和模块级三种不同的体系结构形式,它们均采用“量体裁衣”的方式,把所需的功能或模块嵌入到各种应用系统或 IT 产品中。

1) IP 级: IP(Intellectual Property)是目前电子技术中的一个新技术,其含义是“知识产权核”,是对专门硬件核或软件和固件的知识、专长和革新的拥有,应用这些核可以完成某种系统功能。这里的“核”意指用于芯片中的一个子模块(或子系统)。通常,IP 核不仅指数字 IP 核,同时也包括模拟 IP 核;同时,IP 核还分为硬核、软核和固核。硬 IP 核有 16/ 32/ 64 位 RISC/ CISC 结构的 MPU(微处理器)核、8/ 16/ 32 位 MCU(微控制器)核、16/ 32/ 64 位 DSP(数字信号处理器)核、存储器单元、标准逻辑宏单元、特殊逻辑宏单元、模拟器件模块、MPEG/ JPEG 模块、网络单元、标准接口单元(如 USB)等;软 IP 核有图像 CODEC、声音 CODEC、软 MODEM 单元、软 FAX 单元等。因此,上述提及的核可能是芯片设计者选取的某一过程中所使用的软核,也可能是针对原创者为保证技术需求而设定的专门过程的硬核。根据应用需求将不同的 IP 核集成在一块芯片上,就形成了系统级芯片 SoC(System on Chip)的形式。另外,各种嵌入式软件也可以 IP 的方式集成在芯片中。这样 SoC 就成了一个最终产品,是一个有专用目标的集成电路,其中包含完整系统所需的硬件和嵌入式软件的全部内容。据此,人们常把 SoC 译为“系统芯片集成”,意指它是一种特定的技术,用以实现从确定系统功能开始,到软/ 硬件划分,并完成设计的整个过程。采用 IP 核的集成复用技术,使用类似于积木式的部件——IP 核——来设计 SoC 芯片,不仅能大幅度减轻设计者的负担,帮助设计者快捷方便地开发出完整的系统(包括硬件和软件);而且对缩短设计周期,提升产品的市场竞争力有利。SoC 这种软硬件无缝结合的趋势证明,后 PC 时代的智能设备已经逐渐地模糊了硬件与软件的界限。

2) 芯片级:根据各种应用系统或 IT 产品的要求,人们常会选用相应的处理器(如嵌入式微控制器 MCU、数字信号处理器 DSP、RISC 型的 MPU 等)芯片、存储器(RAM、ROM、Flash Memory 等)芯片、输入/ 输出接口(并行接口、串行接口、定时/ 计数器、键盘/ 显示接口等)芯片组成嵌入式系统,并将相应的系统软件/ 应用软件以固件形式固化在非易失性的存储器芯片中。目前,这或许还是嵌入式系统应用的主要形式,其中的核心由相应的处理器构成。根据其发展现状,常见的嵌入式芯片可以分成下面几类:

嵌入式微处理器(EMPU):嵌入式微处理器的基础是通用计算机中的 CPU。在应用中,将微处理器装配在专门设计的电路板上,并配上必不可少的 ROM、RAM、总线接口、各种外设等器件,在配置上仅保留与嵌入式应用有关的功能,以大幅度减小系统体积和功耗。

嵌入式微控制器(EMCU):又称单片机,它将整个计算机系统集成到一块芯片中,一般以某一种微处理器内核为核心,并在芯片内部集成 ROM、EPROM、RAM、总线、总线逻辑、定时/ 计数器、WatchDog、I/O、串行口、脉宽调制输出 PWM、A/D、D/A 等部件。微控制器是目前嵌入式系统工业的主流,微控制器的芯片上外设资源比较丰富,尤其适合于仪器仪表与控制方面的应用。

嵌入式 DSP 处理器: DSP 处理器对系统结构和指令进行了专门设计,使其更适合于执行 DSP 算法,并使编译效率提高、指令执行速度加快。在数字滤波、FFT、频谱分析等领



域正在大量引入嵌入式系统。目前,DSP 应用正从在通用单片机以普通指令实现 DSP 功能,过渡到采用嵌入式 DSP 处理器。

3) 模块级:将以 x86 处理器构成的计算机系统模块嵌入到应用系统中,这样可充分利用到目前常用的 PC 机的通用性和便利性。此种方式的嵌入式系统要求缩小体积、增加可靠性,并把操作系统改造为嵌入式操作系统,把应用软件固化在固态盘中,尤其适用于工业控制和仪器仪表的应用中。目前,由研华、研祥等提供的嵌入式 PC 以 PC 104 总线为系统架构,在 $90 \times 96\text{mm}$ 大小的模板上集成了微型计算机最基本的功能,去掉了 PC 底板及 ISA (PCI)总线等的卡槽式结构,节省空间;同时因全部使用 CMOS 器件并减少了元器件的数量,使整个模板的功耗更低。PC 104 总线也是专为嵌入式系统应用而设计的总线规范,系统设计以功能模板为基本组件,通过 PC 104 总线完成 PC 104 功能模块之间任意搭接,以灵活实现系统功能的扩充。另外,它与 PC 机的硬件、软件相兼容,用户基础广泛,软硬件资源丰富。

总之,智能仪表的设计者可根据实际需求来综合考虑,合理选择适当的嵌入式系统作为智能仪表主机电路的核心部件,从而简化硬件和软件设计,缩短开发周期,优化系统结构和性能,提高系统的可靠性。

B 硬件电路设计、研制和调试

硬件电路的设计主要包括主机电路、过程输入/输出通道、人机接口电路和通信接口电路等功能模板。为提高设计质量,缩短研制周期,通常采用计算机辅助设计(CAD)方法绘制电路逻辑图和布线图。设计电路时,尽可能采用典型的线路,力求标准化;电路中的相关器件性能须匹配;扩展器件较多时须设置线路驱动器;为确保仪表能长期可靠运行,还须采取相应的抗干扰措施,包括去耦滤波、合理的走线、通道隔离等。

完成电路设计、绘制好布线图后,应反复核对,待确认线路无差错后才可加工印刷电路板。制成电路板后仍须仔细核对,以免发生差错,损坏器件。

由于主机部分是通过各种接口与键盘、显示器、打印机等部件相连接的,并通过输入/输出通道,经测量元件和执行器直接连至被测和被控对象。因此,人机接口电路和输入/输出通道的设计是研制仪表的重要环节,力求可靠实用。

如果逻辑电路设计正确无误,印刷电路板加工完好,那么功能模板的调试一般来说是比较方便的。模板运行是否正常,可通过测定一些重要的波形来确定。例如可检查单片机及扩展器件若干控制信号的波形是否与硬件手册所规定的指标相符,由此可断定其工作正常与否。

通常采用开发装置来调试硬件,将其与功能模板相连,再编制一些调试程序,即可迅速排除故障,较方便地完成硬件部分的查错和调试任务。

C 应用软件设计、程序编制和调试

应用软件设计其实就是将软件总框图中的各个功能模块具体化,逐级画出详细的流程框图,作为编制程序的依据。编写程序可以用机器语言、汇编语言,甚至高级语言。究竟采用何种语言则由程序长度、仪表的实时性要求及所具备的研制工具或开发平台而定。对于规模不大的应用软件,大多数采用汇编语言来编写,这样可减少存储容量、降低器件成本、节省机器时间、提高实时性能。研制复杂的软件且运算任务较重时,可考虑采用高级语言来编程,这样编程方便、软件可读性强、易于修改和扩充。



软件设计要注意结构清晰、存储区域划分合理、编程规范化,以便于调试和移植。同时,为提高仪表可靠性,应实施软件抗干扰措施。在程序编制过程中,还必须进行优化工作,即仔细推敲、合理安排,利用各种程序设计技巧,使编出的程序时空效率高,即占内存空间小,执行时间短。

编制和调试应用软件同样需要开发工具,利用开发工具提供的丰富资源和便利,可大大提高工作效率及应用软件的质量。

D 仪表结构设计

结构设计是研制智能仪表的重要内容,包括仪表造型、壳体结构、外形尺寸、面板布置、模板固定和连接方式等。尽可能做到标准化、规范化、模块化。若采用 CAD 方法进行仪表结构设计,则可取得较好的效果。此外,对仪表使用的环境情况以及制造维护的方便性也应给予充分的注意,使制成的产品既美观大方,又便于用户操作和维护。

1.2.2.3 仪表总调、性能测定

研制阶段只是对硬件和软件进行了初步调试和模拟试验。样机装配好后,还必须进行联机试验,识别和排除样机中硬件和软件两方面的故障,使其能正常运行。待工作正常后,便可投入现场试用,使系统处于实际应用环境中,以考验其可靠性。在总调中还必须对设计所要求的全部功能进行测试和评价,以确定仪表是否符合预定性能指标,并写出性能测试报告。若发现某一项功能或指标达不到要求时,则应变动硬件或修改软件,重新调试,直至满足要求为止。

研制一台智能仪表大致需要经历上述几个阶段。实践经验表明,仪表性能的优劣和研制周期的长短同总体设计是否合理,硬件选择是否得当,程序结构的优劣,开发工具完善与否以及设计人员对仪表结构、电路、测控技术和微机硬、软件的熟悉程度等众多因素有关。在仪表开发过程中,软件设计的工作量往往比较大,而且容易发生差错,应当尽可能采用结构化设计和模块化方法编制应用程序,这对调试、查错、增删程序十分有利。实践证明,设计人员如能在研制阶段把住硬、软件的质量关,则总调阶段将能顺利进行,从而可及早制成符合设计要求的样机。

在完成样机之后,还要进行设计文档的编制。这项工作十分重要,因为这不仅是仪表研制工作的总结,而且是以后仪表使用、维修以及再设计的需要。因此,人们通常把这一技术文档列入智能仪表的重要软件资料。

设计文档应包括:设计任务和仪表功能描述;设计方案的论证;性能测定和现场使用报告;使用者操作说明;硬件资料(包括硬件逻辑图、电路原理图、元件布置和接线图、接插件引脚图和印刷线路版图);程序资料(包括软件框图和说明、标号和子程序名称清单、参量定义清单、存储单元和输入/输出地址分配表以及程序清单)。

1.3 智能仪表的开发工具

单片微机本身无开发能力,必须借助开发工具来研制、调试智能仪表的硬件和软件。开发工具性能的优劣将影响仪表的设计水平和研制工作效率。开发工具一般由主处理机、显示器、键盘、在线仿真器、编程器、打印机以及开发所需使用的软件组成为一个系统,因而又