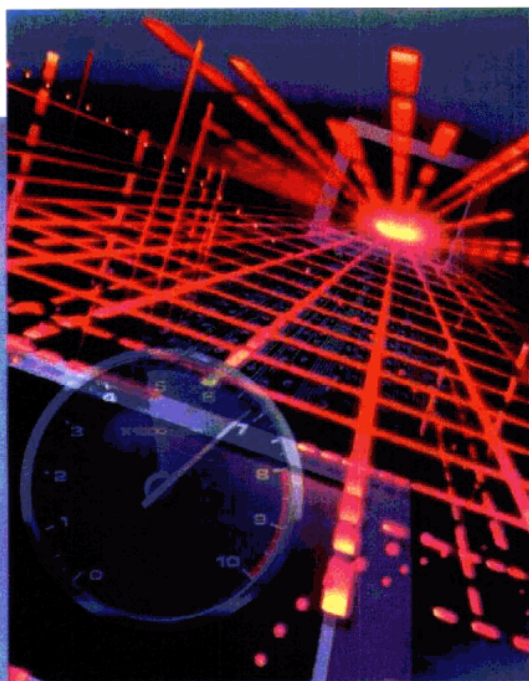


高等学校规划教材
电子信息类



微机化仪器仪表设计

李昌禧 主编



华中科技大学出版社

前 言

本书系根据原电子工业部的《1996~2000年全国电子信息类专业教材编审出版规划》大纲编写,由电子仪器与检测技术专业教学指导委员会评审、推荐出版的。本书由华中理工大学李昌禧教授担任主编,由哈尔滨工业大学孙圣和教授主审。

参考教学时数为48学时。其主要内容包括:微机化仪器仪表的原理,微机化仪器仪表的技术特点和设计原则,主要接口的逻辑,时序关系及控制方式,数据采集技术和各种测量算法,微机化仪器仪表的可靠性设计技术与开发技术,多微处理器构成仪器仪表与数据通信技术,专家系统等智能技术。书中还列举了几种微机化仪器仪表实例,分析其主要技术特点和设计思想。

使用本书时应注意先安排学习相关的课程,如电子技术、微机原理、传感器原理、检测技术、控制理论等,为本教材的学习打好必要的基础。学习时应注意结合实际,分析一定的实例,进行必要的实验、完成一些习题,有条件的最好能进行课程设计,以便加强理解,提高学习效果。

华中理工大学自动控制工程系李昌禧编写第一、三、四、五章,孙键编写第二、七、八章,黄南民编写第六章。参加审阅工作的还有电子科技大学陈光涌教授等。电子仪器与检测技术专业教学指导委员会的同志,都为本书提出了许多宝贵意见,在此表示诚挚的感谢。由于编者水平有限,书中难免还存在一些缺点和错误,殷切希望广大读者批评指正。

编者

1998年11月

绪 论

一、微机化仪器仪表的产生与发展

测量科学与仪器仪表行业是应用计算机最早、成就最显著的领域之一。在计算机诞生的最初年代,人们就开始利用计算机对测量结果进行统计、分析、加工处理。随后出现的以小型机为基础的自动测试系统,就可将各种被测参数、生产工况,通过模数转换送入计算机,使测量数据得到及时的处理、存储和打印,并用来指导生产。在某些场合,数据处理的结果还直接用来干预生产过程,组成计算机闭环控制系统。这些早期的计算机自动测量系统、自动控制系统在 20 世纪 60 年代末曾得到迅速发展,但由于当时尚未出现微型计算机,这类计算机系统都程度不同地存在着体积大、价格高、结构复杂、可靠性差的弊病,难以大范围推广应用。进入 20 世纪 70 年代以后,这种局面开始转变。一方面,由于各种通用标准总线接口(如 IEEE-488、EIA-RS232C 等)的出现,解决了仪器与仪器之间、仪器与计算机之间的统一连接问题,改善了计算机系统的功能与可靠性,促使以计算机为中心,由多台可控仪表组成的成套装置大量涌现;另一方面,微电子技术的发展与微机的问世,使仪器仪表由原来从属于计算机系统的被动地位逐步发展成与微机结合,相互渗透,并形成了仪器仪表微机化的趋势。以工业自动化仪表为例,经历过由机械式仪表,到电动单元组合仪表(I 型、II 型到 III 型),到组装式电子单元仪表的长时间发展过程,直至微机大量应用后,才产生了微机化工业自动化仪表(如集散系统),并正在发展适合现场总线控制系统的现场仪表。

所谓微机化仪器仪表(Microcomputer based instrument),是指微机与传统仪器仪表有机结合的产物。这种“内藏”微机的仪器仪表具有总线结构和通信能力;能进行许多自动处理和故障自诊断自处理工作;突出“以软代硬”技术;促使仪器仪表向结构简化、体积缩小、功耗降低、功能增加、性能提高的方向发展。这些特点为组成中大规模、高度自动化、高可靠性的系统奠定了基础。目前,真正的“智能”仪器仪表(Intelligent instrument)并不多见,但国内外书刊常以智能仪器称谓上述新一代的仪器仪表。随着微电子技术和微机技术的进一步发展,含微机的专用仪器仪表集成电路和高级的测量与控制软件将不断涌现,加上先进的工艺技术,微机化仪器仪表将进一步提高其性能和功能,向着最优化和智能化发展。预计今后 10 年内,微机化仪器仪表在设计、制造、应用等方面将会有长足的进步。

二、微机化仪器仪表的结构与特点

微机化仪器仪表是具备测控功能的特殊微机系统。由于承担的任务,应用的场合不同,各种微机化仪器仪表的硬、软件系统差别很大。简单的只含几个芯片和少量程序,如压力传感器、温度显示调节器等;复杂的含大量芯片,丰富的软件和齐全的外设,甚至于使用多个微处理器,其复杂程度远远超过通用型个人计算机,如色谱质谱仪、质量流量计等。尽管如此,由于它们都具有内藏处理器或单片机这一基本特征,因此在结构上存在着一些共同之处,那就是如图 0.1 所示典型的微型计算机仪器仪表结构,其测量和控制电路部分则相当于专用的外设。

微机化仪器仪表的典型结构如图 0.1 所示由三个层次构成。

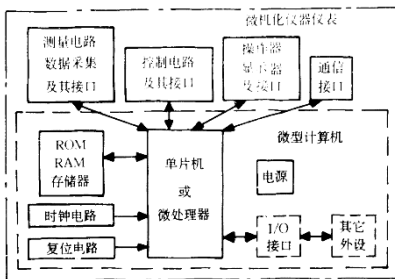


图 0.1 微机化仪器仪表基本结构框图

1. 微处理器

它是整个微机化仪器仪表的核心,具有基本的算术运算、逻辑分析能力。通常,微处理器需要时钟电路和复位电路,能支持存储器 I/O 口的扩展和外部中断,有些(如 8051、80C196)还带有片内存储器、定时/计数器、串行通信口以及 A/D 转换器等。它的时钟频率、字节长度、指令功能与执行速度、外部扩展能力等对整个仪器仪表的性能有直接影响。

2. 微型计算机

将存储器(半导体存储器、磁盘等)、I/O 接口芯片、外部设备等通过地址、数据、控制三总线与微处理器连接,即组成微型计算机。它既可以是一台通用计算机(如 PC 机、工控机、微机开发系统等),也可以是设计者根据特定用途研制或组装的专用微型计算机系统。为了提高性能和降低成本,大多数定型的微机化仪器仪表往往使用专用的微型计算机,根据需要配置相应的存储器、接口和外部设备。

3. 微机化仪器仪表

在微型计算机的基础上,根据仪器仪表的性能、功能要求,设计出测量电路和数据采集接口、过程控制电路与接口,再参照仪器仪表的使用环境、习惯和特点设计出其它结构和电路,以及显示、操作部分,并构成良好的外形和安装结构,然后再将它们组成完整的微机化仪器仪表。由于各种仪器仪表功能、性能要求不一,工作环境不同,面向的被测量千差万别,因此,数据采集和过程控制接口的设计往往成为整台仪表设计的重点与难点。

图 0.1 中实线方框所示是各种微机化仪器仪表不可缺少的内容,虚线部分则依仪表的性能、功能而定。还应当说明,图 0.1 所示的只是从硬件角度反映微机化仪器仪表的共性与差异,毋庸置疑,软件作为微机化仪器仪表的重要组成部分,其结构亦有特点,对仪器仪表的影响至关重要,只是限于篇幅,这里不再讨论。

与传统仪器仪表相比,微机化仪器仪表有许多突出特点。由于它具有自动测量、实时测量、综合测量的能力,并可通过数据处理实现自动补偿、自动校准、自动分段、数字滤波、统计分析、相关分析、智能处理等,从而大大提高了系统的测量与控制精度,拓宽了仪器仪表的应用范围。而微机化仪器仪表所特有的人机对话、数据通信、故障诊断、掉电保护、大容量存储等功能更是常规仪器仪表无法比拟的。当然,在现阶段微机化仪器仪表与常规仪器仪表比较,在可靠性与价格等方面尚未占有绝对优势。

三、本课程的主要内容与教学方法

随着微机化仪器仪表的迅速发展,“微机化仪器仪表设计”已成为检测技术与仪器仪表、自动化仪表与装置、测试技术与仪器等专业的主要专业课之一,也是许多相关学科硕士研究生的重要选修课。本课程根据微机化仪器仪表的硬、软件结构与技术特点,将讲述各种环节的逻辑、时序关系和计算设计方法,其中将重点分析测量电路及其与微机的接口、控制电路及其与微机的接口的设计技术;测量算法、控制算法的数学模型与程序实现;微机化仪器仪表的可靠性技术与开发技术。微机化仪器仪表是在常规仪器仪表的基础上发展起来的,它融合了微机技术与常规仪器仪表技术以及其它现代技术,因此学习本课程之前不仅要有扎实的电子技术和微机原理基础,还要有丰富的传感器原理、检测仪表、控制技术等专业课知识。本课程的教学强调结合实际,即列举一定的实例,进行一定的实验,完成一定的习题,并结合一定的机型,以便加强理解,提高学习效果。但是,本课程希望介绍的是一种不限于某种芯片、不限于某种机型和某种语言的通用技术和通用设计方法。

第一章 微机化仪器仪表设计基础

第一节 设计准备

微机化仪器仪表设计是一项复杂的技术工作。它要求设计者综合运用所掌握的电子技术、微机硬件、软件知识,传感器原理与检测系统技术,数据处理和自动控制的理论与方法,仪表设计技能与使用经验等,经过设计、调试、再设计的多次反复,才能够完成。进行一项成功的设计既要了解国内外现状与水平,尽量采用先进技术,充分利用已有成果,还要求设计者要付出孜孜不倦的创造性努力。若是较为复杂的项目,则常常需要许多人通力合作,任何一个环节的失误,都有可能带来全局性的影响。因此,当接受一项设计任务时,不要急于进行具体电路的设计和编程,而应集中精力,先完成总体方案论证等一系列准备工作。

一、总体方案论证

总体方案论证包括两个方面:第一,弄清任务要求,发展动向和元器件,材料,开发装置的市场情况,确定微机化仪器仪表的总体方案。任务要求应明确技术指标,包括测量(控制)范围,测量(控制)灵敏度和精度,测量(控制)速度,可靠性指标和仪器仪表的工作条件(温、湿度、电源、振动等);主要功能指标,包括显示,硬拷贝方式,输入、输出信号特性,人机联系功能,通信功能和测量控制功能。微机化仪器仪表总方案包括测量(控制)原理,仪器仪表的系统组成,总体的硬、软件结构,主要性能、功能的计算、分析和说明。第二,微机化方案的可行性论证。从事过微机研究的人都懂得,微机是“物”不是“神”,并非任何工程技术问题只要用上它就能圆满解决的。例如,设计一个数据采集系统,若测量方法选择不当,配上再好的微机也无法得出真实的数据。又如用微机组成一个闭环自动控制系统,如果不把包括传感器、变送器、执行器和控制对象在内的各个环节的特性都加以考虑,也很难取得良好的控制效果。各种微机由于存在着字长、速度、存储空间、中断能力等诸多因素的制约,因此不是在任何场合都能胜任其工作的。在进行总体方案设计时,要仔细研究仪器仪表的功能要求、技术指标、环境因素等等,与可以达到的技术水平,设备、资金的拥有量,必要的实验场地,必备的元器件来源,以及投入的人力和规定的完成时间等条件相比较,在此基础上确立总体方案的可行性。

二、机型选择

对微机来说,机型的选择首先是指选择 CPU 型号。型号不同的 CPU,其字节长度、指令功能及执行时间、存储器、I/O 口扩充能力和中断能力、兼容芯片的品种与价格等悬殊很大。表 1.1 列出了几种常用微处理器和单片机的性能指标。

Intel 公司生产的 MCS-51 系列单片机在我国是仍处于应用热潮中的主要机种,它带有片内存储器和 I/O 口、定时计数器、串行通信等,并且具有指令丰富、运行速度快、位处理能力强、扩展性能好的特点,国内市场已有多种不同档次的开发设备可以选用。由于单片芯片内资源丰富、体积小、功耗低、可靠性高、价格便宜,非常适合于在小规模仪器仪表中使用。

表 1.1 常用微处理器、单片机主要性能指标

型 号	Z80	8088	8051	80C196
推出年份	1976	1978	1980	1988
字长	8 位	准 16 位	8 位	16 位
制造工艺	NMOS	HMOS	HMOS	CHMOS
时钟频率/相数	2.5MHz/1	5MHz/1	12MHz/2	16MHz/2
加法时间	1.6 μ s	0.4 μ s	1 μ s	0.5 μ s
指令条数	158	133	111	112
ROM/RAM 空间	64KB	1MB	64KB/64KB	64KB
I/O 空间	256B	64KB	映射方式	映射方式
制造商	Zilog	Intel	Intel	Intel

16 位 CPU 和单片机多用于八位机难以满足要求的场合。通常,8 位 CPU 需通过多字节数据采集与数据处理来换取精度,付出的代价是降低了运行速度。当仪表功能复杂、数据量大、精度与实时性要求较高时,8 位机无法胜任,或必须依赖特殊的硬件措施和复杂的软件结构才能完成任务。此时如使用 16 位机往往能达到事半功倍的效果。此外,当芯片价格或设备投资在整个仪表的硬、软件研制费用中处于辅助地位时,为了减少软件研制的工作量,加快仪表设计进程,也应使用 16 位机。当然,为了解决精度、速度、可靠性及成本之间的矛盾,采用 8 位 CPU 组成多处理器系统也是一种可取的方案。

80C196 系列单片机是 Intel 公司在 8096BH(8098)之后推出的高性能 16 位单片机(8XC196XX)。由于采用 CHMOS 工艺技术,芯片耗电少,除正常工作外还可工作于两种节电方式,进一步减少了芯片功耗。80C196 的状态周期由时钟信号 2 分频形成,因此在相同频率的时钟信号情况下,其操作速度至少比 8098 的速度高 1/3。另外,执行 80C196 的大部分指令所需状态周期数要略比 8098 的小。8XC196KC/KD 增加了外设事务服务器,大大提高了响应外设中断的速度,减少了 CPU 在处理外设事务上的开销。它还提高了 A/D 转换器的性能,增加了 PWM 输出通道数。此外,它还可以通过窗口控制增加片内 RAM 的容量。总之,80C196 系列单片机与 8098 单片机相比,其功能和资源有了大幅度的提高。

机型选择除了着眼 CPU 型号外,还应考虑微机的结构形式。仪器仪表中的微机既可自行设计,也可以使用定型产品。定型产品又分单板机、标准总线多板机、个人计算机等。单板机结构简单,使用简便,价格低廉,适合用于开发样机或直接作为低档次仪器仪表的微机使用。个人计算机功能齐全,资源丰富,支持多种高级语言程序设计,因而适用于以数据处理为主要功能的微机化仪器仪表。它要求较好的工作环境,而 IPC 可直接用于工业现场。标准总线的多板工控机具有结构紧凑、品种多样、功能灵活、易于扩展等特点,无论是开发样机,还是批量投产都较为适宜。通常是选购一部分通用功能板,再按标准总线自行设计具有特定功能的插板来组成整个微机化仪器仪表。这是一种降低成本,缩短研制周期的有效途径。

在功能与性能特殊,或由于批量生产而要求严格限制成本的场合,微机化仪器仪表全部硬、软件都应自行设计。此时,微机的选型还应兼顾开发手段、板间连接、资源利用以及设计人员对某种机型的熟悉程度等诸多因素。

三、总线与结构

总线是计算机和微机化仪器仪表中板与板、设备与设备之间相互连接的桥梁与纽带。对微机化仪器仪表来说,除了某些简单场合以外,多数情况下都要根据仪表的功能与要求,在选择

机型、确定结构的同时,设计选用适当的总线。

总线有自行定义的非标准总线与权威机构规定的标准总线之分。计算机设备采用标准总线或是提供标准总线接口,正如模拟仪表使用标准信号制一样,可以简化设计,方便连接,改善其可扩充性和可维护性,并有助于提高其可靠性。因此,不少微机化仪器仪表采用了标准总线结构。标准总线不只是一簇无源导线的简单汇集,它对于信号根数、排列方式、连接件形式、信号的名称、性质及传送方向、定时关系等都有明确而严格的规定。通常某一标准总线规约需通过相应的逻辑电路或特定的接口芯片来实现。

总线按照使用范围有内总线与外总线之分。

1. 内总线

用于计算机设备内部板与板之间连接的总线称为内总线。微机化仪器仪表根据需要有如下三种内部连接形式。

(1) 单板直接连接

单板结构不存在板与板之间的连接问题。当自行设计功能简单的微机化仪器仪表时,采用这种结构可以简化设计,降低成本、缩小占用的立体空间。由于单板结构无对外连接的总线,设计样机时,需先考虑好怎样进行硬、软件开发调试。此外,由于所有元器件集中在一块板上,必须合理地布局和走线以减少有害的耦合与发热的影响。当仪器仪表功能复杂时,采用这种结构设计难度较大,难以一次成功。

(2) 多板非标准连接

将仪器仪表按功能划分为几种功能模块,每一模块分别设计制版,然后通过自定义总线装配连接。这种非标准总线多板结构是自行设计微机化仪器仪表时常用的结构形式。譬如,可以把电源、模拟电路、数字电路分别制版,当线路复杂时还可进一步细分。这种结构同样要事先考虑开发问题。与单板相比,它的空间利用率高,各部分之间有害影响小,而且便于分别设计、安装、调试,如发现某一单元不合要求需重新设计时,其它单元不必随之返工。

(3) 多板标准总线连接

当仪器仪表功能复杂时,为了避免重复设计开发,宜选用标准总线组成的多板结构。某些通用功能如 CPU 控制、存储器扩展、通信接口等可以通过标准总线模板实现,其它专用功能则要自行设计与开发。设计标准总线模板要参照总线规约进行,板与板之间严格避免总线竞争,板间负载效应及相互影响也要充分考虑。实践表明,采用标准总线结构设计微机化仪器仪表,可以充分利用已有的技术成果,降低硬、软件投资,并能有效地缩短开发与生产周期。在样机研制和小批量试生产阶段,这是一种十分可取的结构。此外,把通用型微机(如 PC 机)扩充、改造使之成为仪器仪表,也可以看作属于这种结构形式。

表 1.2 列出了几种常用内总线的基本特征。

应当指出,STD 总线是一种适用于各种工业控制机的标准总线。它设计周全,适应性好,各种流行的 8 位与 16 位 CPU 或单片机均可使用。STD 总线功能较强,尤其是它的控制总线,不仅提供了存储器和 I/O 口的基本读/写控制,还为存储器与 I/O 口的扩展、动态存储器刷新、慢速数据口同步、直接存储器访问与多机处理、非屏蔽中断与可屏蔽向量中断、电源掉电与备用电池等提供了相应的控制信号。STD 总线的插板和机笼结构小巧,连接可靠,装配成小型仪器仪表非常适合在工业现场使用。近年来国内外市场相继推出 Z80、MCS—51、MCS—96 等各种系列的 STD 总线插板及支持软件,有力地促进了微机化仪器仪表的研制与开发。

表 1.2 常用内总线基本特性一览表

总线名称	S-100	STD	MULTI-BUS	VXI	IBM-PC
总线标准	IEEE-696	IEEE-961	IEEE-769	IEEE1014	×
年份	1975	1979	1980	1987	×
总线根数	100	56	86	98	62
插板尺寸	5"×10"	4.5"×6.5"		6"×9"	×
插脚间距	0.125"	0.125"	0.1"		0.1"
总线 分 类 (根 数)	地址线	16	16	20	32
	数据线	16	8	16	32
	中断线	8	2	8	
	控制线	33	18	17	
	时钟线	3	2	1	
	电源线	6	10	24	
	备用线	18	0	0	

2. 外总线

用于设备与设备之间连接的总线称为外总线。与内总线相比,外总线的标准化尤为重要。在没有标准总线以前,各研制单位、生产厂家各行其是,生产的测试设备、仪器仪表不具备通用接口,这样不仅不便于相互连接组成系统,而且给用户的维修、扩充和更新带来困难。近年来非标准总线的外总线主要用于各种系列化仪表,而标准外总线则被越来越多的微机化仪器仪表(无论是否系列化)所采用。

按照数据在总线上传递的方式,外总线可分为并行总线与串行总线等两类。最流行的总线有如下几种:

(1) IEEE-488 并行接口总线

IEEE-488 总线与 IEC-625-II 统称通用目的接口总线(GPIB)。这是一种提出较早、应用广泛的系统级并行总线。

(2) EIA RS-232C 串行接口总线

串行总线不是像并行总线那样以字节为单位传送数据,而是按位传送的。因此,串行通信传送速度低,但数据线根数少,便于远距离传送和利用电话线作传输线,EIA RS-232C 是使用最广泛的串行通信总线,它的信号电压范围宽,抗干扰能力强,联络线功能齐全,并可配用调制解调器,使传送距离达到数千公里。

(3) RS-422、RS-423、RS-485 标准

由于 RS-232 传输距离短,而且最大数据传输率也受到限制,因此,EIA 公布了适应远距离传输的 RS-422(平衡传输)和 RS-423(不平衡传输)标准。这两种标准的特点是采用差分接收器接收信号电压,从而提高了抗噪声干扰的能力,获得较长的传输距离和较高的数据传输率。为了减少信号线,全双工 RS-422 经演变又产生半双工 RS-485 的标准。

四、开发、调试方式

微机化仪器仪表是硬、软件有机结合的整体,它不同于传统的仪器仪表,通常具有较为复

杂的硬件,而且离开软件支持,不仅不能运行也难以调试。它不同于通用型微机,其外部设备、过程 I/O 接口多种多样,功能各异,没有统一的系统软件和应用软件可供所有微机化仪器仪表使用。因此,任何一台微机化仪器仪表在硬、软件设计装配完成以后都必须经过开发与调试才能投入运行。

开发与调试即利用专门的设备,对微机化仪器仪表进行再设计,查找并排除硬、软件故障,直至运行正常并达到各项设计指标为止。这种专门的设备包括微机开发系统(MDS——Microcomputer Development System)及其它辅助的仪器和工具。一个性能良好的开发系统应具备如下功能:

④提供在线仿真器(XICE)和跟踪接口。前者通过扁平电缆直接取代目标系统的 CPU 或单片机,向目标系统提供大量的控制命令和信息,帮助设计人员测试目标系统和硬、软件,后者提供自动断点跟踪和逻辑分析功能,能存储断点前后的地址总线、数据总线和部分状态信息,并能以数据、指令或波形形式显示,供设计人员用于作诊断和分析目标系统的故障。

⑤不占用目标系统任何资源(无论是 CPU 内部资源还是外部扩展能力)。

⑥能单步、断点、连续执行目标程序,具备较好的实时性、在线性与透明性。

⑦支持目标程序的编辑、汇编、反汇编操作,PL/M 编程,具备 EPROM 写入、磁盘存储、列表打印等功能。

⑧提供标准总线通信接口,以便与系统机(如 IBM-PC)联机,充分利用其硬、软件资源支持开发。

通用型微机开发系统的大致结构如图 1.1 所示。

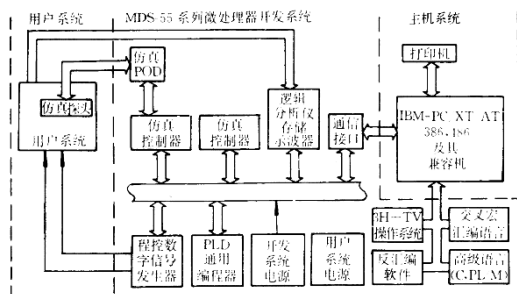


图 1.1 通用型微机开发系统结构框图

在实际工作中,往往根据所设计的目标系统的结构特点与复杂程度,采用如下几种开发、调试方式。

1. 通用 MDS 开发

通用 MDS 具有完善的硬、软件开发功能。通过在线仿真器和跟踪接口,目标系统的整体或部分均可成为开发调试的对象。为了适应不同系列的微处理器和单片机,通用 MDS 往往具备有多种 ICE 及其支持软件。例如,美国自动化公司的 EZ-R02.1MDS 提供的十几种 ICE 分别用于开发 6502、6802、68K、8085、8088、Z80、Z80K 以及 8048、8051 等系列的微机和单片机。又如国内生产的 MDS-55 系列通用型微处理器开发系统,是一种集各种 CPU 在线仿真器、

逻辑分析仪、信号分析仪、通用编程器和数字信号发生器为一体的交互式高性能开发系统。可与 386、486 等兼容机联机使用,开发多种 8 位、16 位/32 位微处理器和单片机。

利用通用 MDS 开发调试微机化仪器仪表可采用如下步骤:

④根据目标系统所要求的设计指标,确定硬、软件设计方案。

⑤利用 MDS 的软件开发工具(可暂时不用 ICE)设计原始程序,完成源程序的编辑、汇编、连接,并对任一环节出现的错误作出修改,直到产生一个无语句错误的机器码文件。

⑥建立目标系统最基本的硬件,至少包括 CPU 和目标系统使用的总线。

⑦将目标系统与 ICE 连接,必要时借用 MDS 的存储器和 I/O 设备资源作为目标系统的组成部分。

⑧在目标系统中运行已设计好的程序,利用 ICE 和跟踪接口对所装配的硬、软件进行测试与调试。

⑨将目标系统的其它硬件逐步投入运行,并相继退出 MDS 出借的资源。每更换和添加一部分,就要对硬、软件重新测试、调整,直到目标系统全部硬件装配、调试完毕。

⑩拔去 ICE 连接电缆,换上自身的微处理器。如目标系统运行正常,可将程序固化并投入运行。此时仍可利用跟踪接口观察、检验,直到整个系统运行正常且达到预定的设计目的为止。

毫无疑问,通用 MDS 可以大大促进样机的开发与研制过程,为设计高水平、高质量的微机化仪器仪表创造了条件。然而,在整个开发、调试过程中,设计、调试人员的实践经验也是至关重要的。当然对设计成果的最终检验则是现场的运行和使用。

2. 简易 MDS 开发

通用 MDS 价格昂贵。为解决微机化仪器仪表的开发问题,国内许多厂家推出了各种简易微机开发系统。简易 MDS 一般为单板结构,它主要用于开发一种类型的微机系统,所采用的微处理器通常与目标系统的微处理器相同。简易 MDS 与目标系统之间通过 CPU 插座或其它形式的插件连接,尽管有时也把它称为“仿真头”,但事实上这种仿真并不具备实时、在线与透明的特点,也无法做到不占用任何微处理器资源。此外,简易 MDS 一般不具备跟踪接口,不能提供像通用 MDS 那样丰富的运行信息,但它却可以直接作为目标系统的微机使用,从而把目标系统的开发简化为系统扩展。近年来推出的各种简易 MDS 大多具有标准总线接口(多为串行通信接口),与系统联机后可以在系统机上完成编辑、交叉汇编与反汇编、存盘、写片、打印等操作,并备有一定的子程序库和浮点运算程序库,增强了开发与调试功能。

使用简易 MDS 可以遵循与通用 MDS 类似的步骤,但为了避免其仿真特性的缺陷对目标系统产生影响,最好能参照使用手册对其硬、软件系统做一定程度的了解。

3. 自开发

如果微机化仪器仪表由标准总线插板按“积木式”结构组合而成,或者由定型计算机(如单板机、系统机)扩充、改造而成,那么往往可以利用生产厂家提供的监控程序、操作系统等基本系统软件支持开发与调试。与使用通用型和简易型 MDS 不同,这种开发是以自身为对象的,因此不必通过仿真头,而是由标准或非标准内总线实现原系统与目标系统(插板)的连接。原来,单板计算机之所以得到普及应用与它本身具备最基本的开发功能有直接关系,某些 STD 工控机借助于 CRT 显示器、打印机等外部设备支持开发,除了上述几种基本功能外,还能进行程序的汇编、反汇编、数据块显示、插入、移动、查找及与系统联机等。相比较而言,PC 机的自开发功能更为完善。它不仅配有多种外设,而且还得到多种性能良好的开发软件的支持。DEBUG 是 PC 机上的基本开发/调试软件,在磁盘操作系统的支持下可以实现表 1.3 所示的

各项开发功能。PCTOOLS 以及 PC 机的编辑、汇编程序等形成了 PC 机自开发的强大而有效的工具。市场上还有许多可选用的 PC 硬件插板及辅助软件。例如,PC 机配上 MEP—256 可以完成 2716~27256 多种通用 EPROM 芯片的写入操作。

表 1.3 IBM—PC DEBUG 命令汇总表

命令	功 能	格 式
汇编	汇编语句	A [address]
比较	比较内存的内容	C range address
显示	显示内存的内容	D [address]或 D[range]
写入	修改内存的内容	E address [list]
填充	修改内存块	F range list
运行	执行调试程序(任选断点)	G [=address] [address] [address...]
运算	十六进制数加减	H value value
输入	输入/显示输入字节	I port address
装入	装入文件或软盘扇区的内容	L [address [drive sector sector]]
移动	移动内存块	M range address
命名	命名文件及参数	N [d:] [path] filename [.ext]
输出	输出字节到输出口	O port address
退出	退出 DEBUG	Q
寄存器	检查寄存器、标准位	R [register name]
检索	检索字符	S range list
跟踪	执行并显示	T [=address] [value]
反汇编	反汇编命令	U [address]或 U[range]
写盘	写文件或软盘扇区	W [address [drive sector sector]]

在定型微机上开发目标系统硬、软件需处理好以下几个问题:

(1) 存储器与 I/O 地址空间的分配

扩展目标系统硬件之前,必须详细了解原系统占用的存储器和 I/O 地址空间,尽量利用已有资源,如需增加,则应避免地址空间重叠造成总线竞争。

(2) 提高总线驱动能力

当目标系统对原系统形成较大负载时,应使用三态缓冲芯片提高总线驱动能力。其中,单向总线(如地址线、控制线等)可以直接驱动,双向总线(如数据线)则需正确设计方向端的控制逻辑(参见硬件设计一节)。单板机的总线通常是由 CPU 直接提供的。留给用户的富裕量不多,最好经过驱动后再与目标系统连接。

(3) 不同系列芯片的使用

当目标系统使用了与原系统 CPU 不属于同一系列的芯片时,必须注意二者在结构与信号线定义上的差异,例如 Intel 系列芯片的地址线与数据线采用分时复用结构,其它微处理器则不一定如此。又如 MCS—51 系列单片机的数据存储器与程序存储器分别编址,I/O 口采用存储器映射方式,80C196 则把数据存储器 and 程序存储器混合编址。此外,不同系列的芯片所要求的时钟速率也有较大差异。因此在一般情况下,应优先选用同一系列的支持芯片。

第二节 设计原则与设计内容

设计微机化仪器仪表与设计传统仪器仪表存在许多差别,形成这些差别的原因在于:

③内藏微处理器使微机化仪器仪表在结构与性能上独具特色。

④采用微处理器使微机化仪器仪表功能扩大。有时一台微机化仪器仪表相当于多台常规仪器仪表的组合。

⑤作为新技术产品微机化仪器仪表往往使用新型元器件及最新开发调试手段,以便在较短时间内迅速形成产品,推向市场。

⑥许多微机化仪器仪表具备机电一体化的特点,需要各方面专业人员相互配合,共同完成任务。

“设计”这一概念对许多读者并不陌生,但却很难全面地概括出它的内容和方法。不同时期设计不同功能的微机化仪器仪表,其设计内容与设计方法显然是不同的,即使是同一时期的同一类型的产品,由于出自不同设计人员之手,仍可能具有完全不同的电路、软件、结构工艺和外观。但是对于每一个涉足微机化仪器仪表领域的设计人员来说,仍然应当遵循某些一般的设计原则,并对微机化仪器仪表的设计内容作基本的了解。

一、总体设计原则

1. 根据设计对象的要求和实际的约束条件列出详细的设计目标

任何一项设计都有来自用户的要求和设计的约束条件,微机化仪器仪表亦无例外。这些要求通常包括功能与性能两个方面;约束条件则包含产品的成本与价格、开发周期、工作环境、功耗、连续运行时间、平均无故障率等等。如果设计的要求过高,约束条件过严,则现有技术水平很难达到,那就必须权衡利弊与得失,规定一个各项条件的优先次序,在此基础上建立详细的切实可行的设计目标。在整个设计过程中,要反复检验和对照这些目标能否达到,有无一定的裕量。当然,也要检查设计方案中是否存在浪费资源、小题大做的“过设计”,以免造成成本提高和设计时间的拖延。

2. 采用自上而下逐级分解的方法形成子任务

微机化仪器仪表的设计大多面临复杂而综合的设计任务。这些任务往往不是通过一个单元电路、一段基本程序所能实现的。主设计师应该对设计对象作出全面而合乎逻辑的说明,然后将设计对象连同各项指标分解成一批可以相互独立的子任务。这些子任务再逐级细分,直到每一低级的子任务可以由某种电路模块为核心的硬件或某种算法为中心的软件完成为止。这些细分的任务可以由一个人独立承担,也可以由许多设计人员分工负责。子任务完成后将所有结果汇总起来,必要时作些调整,即可完成整体设计任务。无论硬件还是软件都可以采用这种自上而下的分解设计方法。至于细分到哪一级算是最低级,则要根据设计者的技术基础和设计者的人数而定。

3. 硬、软件协调优化设计方案

某些特定的子任务既可以靠硬件实现(辅之以少量软件),也可以靠软件完成(辅之以少量硬件)。通过硬、软件协调优化设计方案,是提高产品质量、性能,降低产品成本的重要方法。一般来说,以硬件为主会使方案成本增加,但处理比较及时,并可减轻微处理器负担;以软件为主的方案则能降低成本,但要投入较多的人力、时间投入到软件设计中。从可靠性指标来看,硬件越多,由器件、焊点、接插件形成的潜在故障点就越多;而软件在排除故障以后,不会使可靠性随时间的推移而降低。以往人们在微机化仪器仪表设计中,过多地着眼于硬件成本而尽量以软代硬。随着LSI(Large Scale Integration)芯片功能的增强,价格的下降,为了加快产品的研制开发进度,这种情况正在发生变化。在处理实际问题时,究竟哪些设计子任务应该以硬代软,哪些应该以软代硬,需作具体分析,不能一概而论。但设计者至少应当明确,凡简单的硬件电路能解决的问题不必用复杂的软件取代;反之,简短的软件能完成的任务也不必去设计复杂的硬件。此外还须注意到硬件的成本(主要是器件及印制板成本)随产品批量的大小近似按线性变化;而软件成本(指开发过程中耗费的人力、时间等)几乎是一次性投资。一个性能良好的设计方案往往具有硬、软件协调、“各尽所能”的特点。

4. 发挥技术与设备潜力提高设计质量与开发速度

即便是对于同一类型的产品、同一性质的设计任务,不同的设计师完全可能采用不同的设计方法,这是因为它们具备的技术基础和技能并不相同。此外,微机化仪器仪表的研制要利用必不可少的开发、调试设备。因此,如何发挥人的技术专长、充分利用已有的设备,将直接影响到设计的质量和进度。当然,这并不意味要排斥新技术、新器件和使用新设备。由于器件制造技术和软件开发技术日新月异地发展,设计人员只有不断更新知识,尽快掌握新技术,并把它们应用到设计实践中去,才能高质量、高速度地完成设计任务。以软件开发为例,早期微机化仪器仪表的汇编语言程序设计主要采用手工汇编,这无疑是一种费工费时、易错难改的笨拙方法。现在已逐步由各种编辑、汇编等软件开发工具所取代。硬件制作过程中的印制板设计也应尽量采用各种计算机辅助设计与制图。众所周知,20世纪80年代初期TP-801单板机曾风靡全国,但在以后的使用中暴露出诸多问题,设想它是诞生在20世纪90年代,那么无论从结构设计到芯片选用无疑都将会有很大变化。总之,设计方案的形成,开发、调试手段的选择必须充分注意到微机制造与应用技术的发展,使设计的产品具有鲜明的时代特色和强大的市场竞争力。

5. 依照产品化规模确定部件与器件的级别

外购部件与器件是设计中不可避免的问题。前面已述及微机系统的多种可选类型,作出这种选择的依据主要取决于新设计产品的生产量。如拟大批量生产,采用自行设计制造的方法较为适宜;百台以内的小批量生产采用插板拼装较好。如果仅仅生产几台,则不如外购通用计算机进行扩充、改造。例如要设计数台单片机仪器仪表时,如无通用型开发系统可用,则不妨购置简易开发机并直接扩展为目标系统。选择元器件也应考虑产品化规模。凡中等批量以上产品,应尽量采用通用型元器件,在同等质量和条件下,宜使用资源充足的国产化元器件。从器件的技术水平来看,过时的元器件质量与性能往往不尽如人意,前沿技术水平的元器件价格又过于昂贵,而技术成熟且未落伍的元器件通常具有最高的性能价格比。

6. 设计自诊断与异常处理功能提高产品的可维护性

任何类型的仪器仪表都不能保证使用过程中不出一故障,故障的起因可能来自外界条件(如电源、工作环境、人为故障等),也可能出自设备本身(如元器件失效)。微处理器进入仪器

仪表为及时发现和处理故障创造了条件,设计中应考虑相应的措施充分利用它的功能。自诊断通常安排在开机时进行,对常年连续运行的仪器仪表则应定时重复进行自诊断操作。由于自诊断离不开微处理器,所以只能处理 CPU 以外的局部性故障。对于全局性的故障往往要通过特殊设计的硬件电路或其它冗余后备措施来对付。通常微机化仪器仪表结构总是比较复杂,测试维修要有相应的设备和技术,使用户感到无能为力。为此设计时要充分考虑用户的维修问题。例如,对易损部件要提供便于更换的模块和备件,对关键性电路接点的信号电平与波形要作详尽的描述与说明,编制用户使用手册、维护指南等。

7. 针对现场极限条件的防范措施与试运行

任何仪器仪表都有一个特定的运行环境,设计中应充分考虑到运行环境的极限条件。如最高与最低环境温度、湿度、尘埃、可能的干扰源、电源的波动范围、输入信号的共模电压、传输线的长度与走线方式、人为的误操作,等等。完善的微机化仪器仪表不仅硬、软件设计合理,在实验室里运行正常,在极限环境中也能经得起考验。初次涉足仪器仪表领域的人往往容易忽略这样一个事实,许多原理性电路未必能适用于运行环境中的极限条件。因此,在样机试制过程中,要经常模拟运行环境对关键性电路进行运行实验和测试,对软件进行反复考核与诊断,例如,异常信号的输入、输出处理,带参数子程序的反复调用,中断的多重请求与嵌套服务,等等。样机制成以后,要拿到实际环境中接受运行考核,根据发现的问题修改设计,并再次考核,确信达到了设计要求才能定型和投入批量生产。

二、硬件设计

微机化仪器仪表的硬件设计通常包括专用微机系统、人机对话接口、数据采集接口、过程控制接口等等。各部分之间无论是采用合板还是采用分板结构,都具有相对独立的功能,并且大多可以脱离软件提出基本的设计方案。相反,对许多微机化仪器仪表来说,软件设计则常常要针对硬件来进行,原因在于微机化仪器仪表软件的主要问题不是算法的问题而是程序实现的问题。同一硬件结构可以支持不同程序而服务于同一任务,不同的软件结构则很难支持同一硬件的运行,在这一点上,品种繁多、功能各异的微机化仪器仪表与通用型微机不同,从这个意义上讲,硬件设计是微机化仪器仪表的基本设计内容。

1. 专用微机系统设计

仪器仪表的专用微机包括 CPU 芯片、时钟电路、复位电路、存储器及 I/O 口扩展电路等等。其中 CPU 的选用已在机型选择一节中详细分析过,它是根据微机化仪器仪表的技术要求及各项约束条件综合确定的。

(1) 时钟电路设计

时钟是 CPU 定时的基准。设计时钟电路时必须参照所选择的微处理器对时钟输入的具体要求。这些要求通常包括:最低与最高允许频率、高低电平容差、脉冲宽度容差、最大与最小升降时间等。如需两相时钟,还需要考虑相互间的定时关系。

不同系列的 CPU 对时钟频率的范围都有明确的规定(参见表 1.1)。同一系列的 CPU 因制造材料、工艺的不同可能形成不同的档次,所要求的时钟频率就会有明显差异。如 MCS—96 系列单片机就有 8X98 (12MHz)、8XC196KB (12, 16MHz)、8XC196KD (16, 20MHz)、8XC196NP(24MHz)等不同档次。由于微机化仪器仪表通常要求 CPU 具有稳定的工作频率,其时钟电路通常采用石英晶体振荡器等元器件组成。对于由外部提供时钟输入的 CPU,多选择数倍于所需频率的晶体振荡器,然后经过分频得到额定的频率。这种电路还兼有提供系统高

频辅助时钟、改善 CPU 时钟对称性的功能。

设计中还需注意到：各种 CPU 对时钟信号的电平与波形要求往往比其它输入信号苛刻得多，有的还不与 TTL 电平兼容。几种典型的 CPU 对时钟的要求如下：

型号	8080	6800	Z80	8088	8098
高电平	$\geq 4.5V$	$\geq 4.7V$	$\geq 4.4V$	$\geq 4V$	$\geq 2.5V$
低电平	$\leq 0.8V$	$\leq 0.3V$	$\leq 0.45V$	$\leq 0.45V$	$\leq 0.8V$

对时钟波形的要求包括：高、低电平是否等宽、在规定的负载条件下允许的最大升、降时间等。无论采用哪种时钟电路都要确保 CPU 时钟的电平、频率及波形满足要求。由于时钟电路工作频率高，对元器件及布线引起的分布参数效应十分敏感，必要时应借助示波器的观察来调整参数。为了简化时钟电路设计，对于某些系列的 CPU 和单片机，应优先选用具有内部时钟电路品种，或优先选用专用时钟芯片（参见表 1.4）。由于系统中其它接口芯片使用的时钟往往直接或间接地与 CPU 时钟有关（如串行通信的收、发时钟、CRT 显示器的点脉冲），因此，设计时钟电路时还需考虑这些芯片的要求以及它们与 CPU 时序的配合问题。

(2) 复位电路设计

复位是指通过硬件或软件实现 CPU 及其它逻辑芯片与电路的初始化处理。系统启动完成复位操作是必不可少的。除此以外，微机化仪器仪表往往需要通过按钮提供手动复位功能。各种不同系列的 CPU 及接口芯片所要求的复位电平及持续时间不尽相同，应参照具体要求进行设计。有些现场运行的测控仪表在电源电压偏低或掉电时，要求把数据保存在备用电池供电的静态存储器中，并冻结 CPU 的运行，以便电源恢复时能自动启动。这样的掉电保护电路要和 CPU 复位电路一起进行设计。另有一些系统由于使用了动态存储器，为了避免手动复位时因刷新停止而造成数据丢失，必须通过适当电路控制复位时间的长度。具有上述各种复位能力的逻辑电路结构较为复杂，元件参数要配合得当。图 1.2 所示的是一个早期工业仪表的复位电路，它能完成 CPU 的电复位、按钮复位、掉电冻结、自动恢复以及与信号 S 同步复位等操作。现已有集成度很高的复位电路芯片（见第八章实例）。

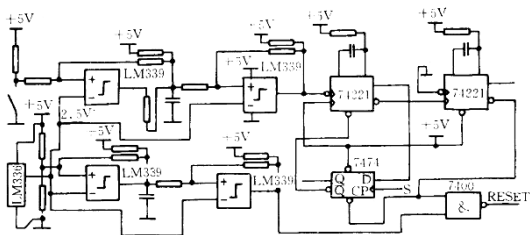


图 1.2 综合复位电路实例

(3) 存储器设计

微机系统中的存储器有内存与外存之分，内存由存取快、体积小、ROM、RAM 等半导体存储器组成。外存主要是磁带、磁盘、光盘等介质存储器。

内存的选取通常要考虑存储器容量、存取时间及功耗。对于不同类型的存储器还可能涉及

到写片、刷新、数据掉电保护等。

ROM 是只读存储器,由工厂制造时掩膜编程。PROM 虽可由设计者编程,但需使用专门的编程器。这两种存储器都只能一次性写入,无法更改。因此,主要用于大批量生产的定型产品。

EPROM 可通过紫外线擦除而多次编写。擦除必须整片进行,编写则可以针对单字节、多字节或整片进行,编写的程序和数据具有长久的不挥发性。常用的芯片容量有 2~64KB 多种规格,并有引脚兼容的低功耗型品种。通用 EPROM 芯片价格便宜,与 ROM、PROM 比较,更适于在微机化仪器仪表中存储程序和固定不变的数据。它不仅适用于样机开发和小批量生产,中等批量以下的产品也可采用。

E²PROM 是电可擦除的可编程芯片。与 EPROM 相比,它的擦写操作不必拿到机外的专用设备上完成,而是可以在使用的位置上直接进行。现阶段生产的 E²PROM 芯片一般可承受一万次以上的反复擦写,写入的信息可以保存 10 年以上。这种良好的擦写性能,使它在微机化仪器仪表设计开发中倍受青睐。在样机开发过程中,它可以在关电时保存被开发的目标程序,免除了再次键入或输入的麻烦。当仪器仪表投入使用以后,可以用来存放不频繁变动的数据。例如银行储蓄仪中用来存放存款利率,现场仪表用来存放操作人员设定的参数等。由于可靠性的原因,E²PROM 尚不宜取代各种 ROM、EPROM 直接用作存放经久不变的程序与数据。

RAM 是随机存取的存储器。因制造材料和工艺不同有静态(SRAM)与动态(DRAM)之分。它们在微机系统中可以存放测试的数据、运算的结果、程序的堆栈及其它中间变量。SRAM 使用简便,无须数据刷新,并可组成低功耗的掉电数据保护电路,适用于容量及功耗要求不高的仪器仪表。如果要求大容量的 RAM,使用 DRAM 可以提高集成度并减少功耗引起的发热。20 世纪 90 年代,一些公司又推出了闪速式存储器,它有 DRAM 的集成度和高速性,又有 E²PROM 的非易失性,适于在微机化仪器仪表中做大容量存储。

无论是 ROM、EPROM 还是 RAM,除了通用的单独芯片外,还可能驻留在单片机及其它接口芯片中。如 MCS—51 系列单片机的 8051、8751 分别带有 4KB ROM 和 EPROM,并提供 128B 的 RAM。8155、8156 内含 256B 的 RAM,它们都属于多功能的微机接口芯片。当设计小型化微机化仪器仪表时,还可以选用 PSD(Programmable System Device)接口芯片,该芯片内有可编程 I/O 接口、SRAM、EPROM、可编程逻辑、定时器/计数器等功能单元,可取代众多外围芯片,降低功耗,减小体积。但需考虑芯片的价格以及特定的编程写入方式。

外存储器具有容量不受微机系统结构限制的特点,适用于测试数据多、信息量大、并要求长久地在机外保存数据的场合。用磁带保存数据的方法简便,但容量、速度、可靠性均不及磁盘。磁盘则对环境要求较高,当仪器仪表的工作环境里尘埃较重、振动较强、温度不适时,磁盘的寿命及信息存储的可靠性将受到影响。磁盘多用于实验室仪器中,现场仪表应尽量避免使用。非用不可时需提供相应的工作环境,或者把信息通过数据通信传送到控制室,再使用有磁盘的微型计算机(例如 486、Pentium)进行存储。

(4) I/O 接口设计

接口是微处理器与外部设备之间交换信息的桥梁,外界的各种数据和信息通过输入设备和接口送入微处理器,而微处理器将计算结果或控制信号输出给外部设备,以便显示、打印和实现各种操作。因此接口在微机化仪器仪表中占有重要地位。

绝大多数微处理器是用同一数据总线与存储器和 I/O 接口交换信息的,自然要解决数据总线上的信息是从哪里来的,如何送到要送的地方去的问题。

① I/O 接口编址