

自动测试

通用接口系统

恽纪昌 侯秀卿 安振庄 编著

**zidong ceshi
tongyong xitong**

机械工业出版社

自动测试通用接口系统

恽纪昌 侯秀卿 安振庄 编著



机械工业出版社

本书是一本有关自动测试方面的专著，比较系统深入地介绍了自动测试通用接口技术。全书共分十章：第一章至第五章论述了通用接口系统的基本理论和设计方法；第六章至第九章分别介绍了用组合逻辑电路、微程序管理、微处理器控制和大规模集成电路等四种实现接口功能的方法；第十章则简述接口系统可能出现的故障、寻故方法及有关寻故设备。

本书主要适用于从事设计、研制、使用与修理自动测量仪器的科技人员，也可供有关电子测量仪器专业的大学生、研究生和教师参考。

自动测试通用接口系统

恽纪昌 侯秀卿 安振庄 编著

*

机械工业出版社出版 (北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $850 \times 1168^{1/32}$ ·印张 $11^{3/4}$ ·插页 2·字数 308 千字

1985年12月北京第一版·1985年12月北京第一次印刷

印数 10,001—4,570·定价 3.50 元

*

统一书号：15033·5837

前 言

所谓自动测试就是在计算机的控制下，由各种测量仪器对非电量、电量、无线电信号和元件参数等物理量进行的测量。由计算机控制，对被测件进行自动测试、数据处理，并以适当形式给出结果的系统称为自动测试系统。早在五十年代就出现了这种系统，六十年代得到了较为广泛的应用。但由于价格昂贵、技术复杂，难于推广，仅限于用在飞机的综合性能测试、相控阵雷达的性能测试等军事工业。价格昂贵的原因之一是计算机和各种测量仪器之间的接口均属专用、技术复杂。

接口技术本属计算机技术的范畴，对一切物理量的测试则属电子仪器和测量技术的内容，自动测试技术则是这两种技术的结合。所以可以说，自动测试是计算机技术和电子仪器与测量技术相结合的一门边缘技术。从事自动测试的工程技术人员必须同时掌握这两门学科。正由于它是一种边缘技术，所以在较长的一段时间内，自动测试系统用的接口问题一直没有得到满意的解决，直到 1972 年，才由美国的从事电子仪器和计算机生产的 HP 公司研究出一种通用接口理论。

计算机和各种电子仪器及有关设备，只要带有按这种理论设计的接口，就可以极简单地用一条无源电缆连接起来，随意组成用于各种目的的自动测试系统。这种系统组建灵活，操作方便，价格低廉。因此，这种理论很快得到了 IEEE 和 IEC 等组织的承认，并得到许多国家的支持和广泛使用。截止 1981 年底的统计，国外已有一千余种仪器和设备带有这种通用接口，广泛应用于机械、电力、化工、水利、无线电和航天等领域。

为促进我国自动测试技术的发展，在广大科技人员中普及这种接口技术是非常必要的，因此编写了此书。

IV

本书分为两部分：第一部分（一～五章）叙述通用接口的基本理论；第二部分（六～十章）分别介绍了有代表性的四种通用接口的设计和实现方法，以及接口的检测问题。如读者需要获得通用接口的基础知识，可阅读本书一～五章；如已有接口基本知识，可跳过一～五章，从第六章开始阅读。

本书的编写一开始就得到了吴咏诗同志的关心和鼓励，对本书的结构内容提出了指导意见，并提供了有关资料。本书完稿后，由吴咏诗同志主审，蒋焕文、汪雍等同志参加了审阅，他们对本书的内容、结构及措辞都提出了宝贵意见，为此表示衷心感谢。另外，董祥英同志对本书的编写也给予了支持和帮助，在此一并表示谢意。

由于作者的水平有限，错误之处在所难免，敬请读者批评指正。

作者

目 录

绪论	1
第一章 通用接口系统概述	5
第一节 设计接口系统的目标	5
第二节 接口系统的基本性能	7
第二章 接口功能和母线结构	10
第一节 接口功能的设置	10
第二节 接口功能的子集	17
第三节 消息通道	19
第四节 母线结构	21
第五节 三线连锁挂钩原理	30
第三章 远地消息编码	35
第一节 单线消息的规定和用途	37
第二节 远地多线接口消息的编码	45
第三节 远地多线装置消息的编码	55
第四章 接口功能的状态图及其逻辑设计	82
第一节 DC 功能状态图及其逻辑设计	86
第二节 DT 功能状态图及其逻辑设计	91
第三节 听功能状态图及其逻辑设计	93
第四节 讲功能状态图	110
第五节 源功能和受功能状态图	117
第六节 服务请求功能状态图	127
第七节 并行点名功能状态图	129
第八节 远地/本地功能状态图	132
第九节 控功能状态图及其逻辑设计	135
第五章 电气性能、机械性能和应用指南	156
第一节 电气性能	156
第二节 机械性能	161
第三节 设计和应用指南	164

第六章	用一般逻辑电路设计的接口电路	170
第一节	定时发生器的概况	170
第二节	定时发生器的工作原理	173
第三节	定时发生器的接口电路	185
第七章	微程序控制的接口电路	209
第一节	微程序控制原理	209
第二节	接口功能的微程序设计	212
第三节	采用微程序控制的接口举例	218
第八章	微处理器管理的通用接口	267
第一节	接口设计中的几个问题	267
第二节	最少硬件方案	272
第三节	微处理器管理的接口举例	278
第九章	通用接口大规模集成电路	295
第一节	8291 GPIB 讲者/听者接口芯片	296
第二节	8292 GPIB 控者接口芯片	315
第三节	8293 GPIB 接收发送电路	330
第四节	MC 68488 通用接口适配器	337
第十章	通用接口的检测	341
第一节	可能出现的问题	341
第二节	检测仪器	343
第三节	HP59401A 母线系统分析仪	346
结束语		359
参考文献		363
英汉名词对照表		364

绪 论

所谓自动测试就是在计算机的控制下,由各种测量仪器对电量、非电量进行自动测量、数据处理,并以显示或打印等适当的方式给出测量结果。具有这种测试能力的系统称为自动测试系统。

在自动测试系统中,计算机控制着整个系统的运行,并且完成必要的数据处理。在无需进行数据处理的系统中,可以采用比较简单的设备对系统进行控制。能够对自动测试系统进行控制的设备称为控制器。因此,控制器可以是复杂的各种计算机、比较简单的微处理器或者更简单的程序控制器、扫描器等设备。在具体应用中,要视情况而加以选择。

为了叙述和使用上的方便,我们将自动测试系统中的一切仪器设备,其中包括对整个系统实行控制的控制器、对各种物理量进行测量的各种仪器以及给出测量结果的各种设备,统称为“装置”[⊖]。

接口是自动测试系统的一个重要组成部分,其作用是为某一测量目的所选用的各种装置相互连接起来,组成一个自动测试系统。图 0-1 是对被测件进行电压和频率测量的自动测试系统的示意图。图中,特别标出了接口系统。

控制器根据事先编好的测试程序,先让程控电源给被测件供电,使其正常工作,然后让信号源送出所需要的激励信号。被测件输出信号的幅度和频率分别由数字电压表和数字频率计进行测量。测量的数据或者先送到控制器,经处理后送打印机打印,或者直接送打印机打印。

在整个测量过程中,各装置之间不断进行着各种信息的交换

⊖ 在部标《程控电子测量设备的接口系统》(讨论稿)中,将这些仪器和设备称为“器件”,二者含义相同。

和传输，而这种信息的交换和传输都必须通过接口系统。可见，接口系统是为各测量装置之间进行信息交换和传输而设立的连接设备。

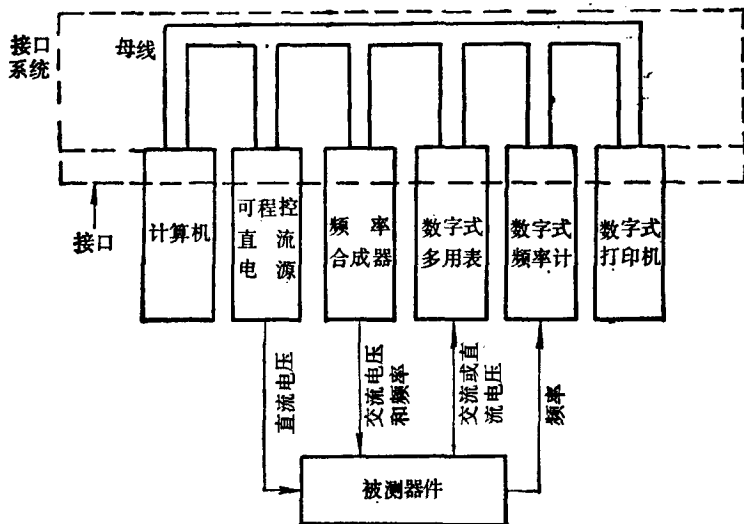


图0-1 自动测试系统接口示意图

接口系统包括母线和接口两部分，母线是一条多芯无源电缆线，供信息传输。系统中的全部装置都并接于母线。接口则由能够完成有关功能的各种部件组成，对信息进行发送、接收、编码和译码。

所谓接口，可以抽象地定义为：一个系统或一台装置与周围环境的理想分界面，这个假设的分界面切断该系统或该装置与周围环境的一切联系。当一个系统或装置与外界环境进行信息交换和传输时必须通过这个假想的分界面。我们称这个分界面为接口。

既然信息的传输都必须通过接口，那么在组成一个自动测试系统时，就必须采用合适的接口，以使各装置之间进行有效而可靠的信息交换和传输。如果系统中的各装置均由一个工厂按一定

的标准生产，接口问题就比较容易解决。但是，在现代化的生产条件下，任何一个工厂乃至一个公司，都难以生产出满足各种需要的产品，在组成一个自动测试系统时往往要采用不同工厂甚至不同国家的产品。由于各种装置的接口不统一，给用户带来了极大的不便，需要花费很大气力去更改或重新设计各种接口转接电路。

早在五十年代就已经开始研制自动测试系统，出现了一些自动数据采集系统，到六十年代已经广泛应用，并开始用计算机进行控制。当时的自动测试系统是将具有几种不同功能的可编程仪器总装在一起，为某种专门的测量目的服务，而这些可编程仪器的输入输出电路是五花八门，各不相同的，因此，必须用一种专门的接口电路才能把计算机和各种可编程仪器连接起来。这种接口电路包括计算机和程控仪器各自的接口，它们分别安装在一块电路板上，每一块电路板称为一个接口卡片，这些接口卡片插在专门的接口卡片箱的槽中，接口卡片箱作为一个独立的连接设备。这种卡片箱和卡片只能专用，不能通用。

在六十年代末，美国 HP 公司设计制造了一种新的接口系统，并生产了与之相应的专用计算机。新的接口系统的特点是把接口卡片箱装在专用的计算机内，接口卡片设计得与该公司生产的一些主要的可编程仪器相适应。在组成一个新的自动测试系统时，只要更换程控仪器的接口卡片，或者在接口卡片上更改几条线就可工作，而不必作大量的或全面的改动。这种接口系统比初期的接口系统有了较好的灵活性和适应性。然而，这种接口系统仍有相当大的专用性，它只能使用该公司的专用计算机和部分程控仪器。同时，这种接口卡片与程控仪器之间的连线相当多，比较复杂。

到了七十年代初，人们希望有一种适合于自动测试系统的统一通用的标准接口，其最终目标是：世界各国都按同一标准来设计可编程仪器的接口电路，将任何工厂生产的任何种类、型号的仪器用一条无源标准母线电缆连接起来，并通过一个与计算机相适应的接口与计算机连接，以组成随意的自动测试系统。如果计

算机内也装有按标准设计的接口,那么,无源标准母线电缆就可以直接与计算机连接,系统的组建就更加简单方便。

自动测试系统接口标准化的工作,经过近八年时间的研究,于1972年发表了一种标准接口系统,经过改进,于1974年命名为HP-IB接口系统。该接口系统的主要特点是:可组成任何所需要的自动测试系统;积木式结构,可拆卸,重新组建,或者将系统中的装置单独使用,作普通仪器;控制器可以是复杂的计算机、微处理器,也可以是简单的程序器;数据传输正确可靠,使用灵活;价格低廉,使用方便。正因为它有一系列比较突出的优点,先后得到了IEEE和IEC等组织的承认,并分别订为IEEE-Std488和IEC625标准。另外,美国国家标准化学会ANSI也将这种接口系统定为ANSIMC1.1-1975标准。目前,该接口系统的名称很多,通常称为HP-IB、IEEE-488、IEC-IB或GP-IB,虽然名称不一,但内容相同。在此,我们认为称作通用接口(GP-IB)较为合适。

此外,在使用计算机的自动测试和控制方面,CAMAC标准接口得到了广泛的应用。主要是应用于核物理电子测量。目前正考虑将它定为国际标准,以便作为将计算机与电子仪器、数据采集、过程控制以及外围设备等连接的标准接口系统。CAMAC的前身是英国的哈威尔-2000系列、欧洲核电子标准化委员会提出的ESONE以及美国原子能委员会组织的核仪器委员会提出的NIM。CAMAC系统于1968年发表,并于1972年发表了修订说明和规范。CAMAC系统主要是为核测量系统设计的,其容量很大,体积也很庞大,而通用接口系统则主要是为台式测试装置组成自动测试系统设计的,是一种小巧价廉的接口系统。所以通用接口有可能成为CAMAC接口系统的一个子系统。

在测试仪器接口方面,还使用其它的接口标准,如RS-232-C/CCITT V-24.串行接口标准。1981年,HP公司又正式推广一种便携式廉价数字接口。由于篇幅所限,本书只对通用接口系统做全面详细的介绍,对于其它接口标准,不准备在这里叙述。

第一章 通用接口系统概述

第一节 设计接口系统的目标

要制定一个标准，首先要列出标准化的一系列合理而又易于实现的目标。任何一个自动测试系统都不可能是万能的，不能指望它能够对任何物理量进行测试。任何一个接口系统也不可能适用于一切自动测试系统，而只可能应用于一定的有限范围之内。研究通用接口系统时所规定的目标是：

(1) 在有限的距离内使用，以满足实验室和一般生产环境的研究、实验和测试的需要；

(2) 具有最广泛的通用性和灵活性。可以将不同国别、不同厂家、不同用途的各种装置互相连接起来，为多种需要而组成自动测试系统；

(3) 允许各被连接的装置之间，既可在控制器的控制下传输数据（或称通信、对话），也可在各装置之间直接传输数据；

(4) 数据传输应该是双向异步的，装置的数据传输速率应该允许在较大的范围内变化，即既适用于打印机一类速率较慢的装置，又适用于电压表这类速度较快的装置；

(5) 对被连接装置的性能要求应提出尽可能少的限制条件，即不因由于接口的引入而限制了原有装置的功能，或使其变得十分复杂；

(6) 成本低廉，使用方便。

为了实现上述目标，在研制过程中采取了几项有效措施：

(1) 对接口系统的机械性能、电气性能和接口功能作了严格的规定。一般地说，一个接口系统都应包括机械的、电气的、功能的和运行方面的四种性能，其中，机械性能是指接插头、安

装和电缆组装等内容。它与具体装置的应用无关,无论是哪个装置,其接插头、安装和电缆组件的结构、尺寸等都应相同。电气性能包括逻辑电平、时间关系和终端负载等问题,它亦与具体的装置无关。接口功能是指为准确传输数据所需的接口电路及其逻辑关系的描述的总称,它仅为保证数据的准确传输而设置。显然,它亦应该与具体装置无关。运行性能则不然,它与装置的具体应用有关,随装置的不同用途而异。因而在通用接口系统中不易也不宜对此作出统一的规定,而应该留给装置的设计人员去考虑。这样,既可保证在机械上,电气上和功能上的兼容性,又可充分发挥设计人员对装置本身的功能和用途的设计的灵活性。

(2) 将与接口问题有关的部分与装置基本工作特性有关的部分严格区分开,以求得最大限度的兼容性和灵活性。所谓装置基本工作特性是指普通装置的用途、测量方法、电路结构和性能等内容。例如普通的数字电压表,是通过模数变换、积分取样、数字显示等电路对直流电压、交流电压和电阻等模拟量进行测量的。数字电压表的这种性能就是其基本工作特性。不同用途的仪器有着不同的测量方法、不同的电路结构、不同的性能,因而有其不同的基本工作特性。我们将装置的这种基本工作特性称为装置功能,因而,装置功能因装置的不同而不同,是装置本身所具有的功能。接口功能则不然,它仅仅是为了确保数据传输的准确可靠、接受控者控制而设置的一种功能。显然,它与装置功能无关。借助于所设置的接口功能,装置就可以可靠地发送、接收或者处理有关信息。

(3) 信息传输采用母线结构,以尽可能少的线获得尽可能好的效果。接口母线共有16条信号线,其中,用于数据传输的共8条,称为数据输入输出母线;用于控制数据字节传输的共3条,称为数据传输控制母线;用于管理接口本身的共5条,称为通用接口管理母线。

(4) 为了设计相互兼容的接口功能电路,提供了一套用逻辑关系表示的状态图。用状态图来表示接口功能,不仅简单明

了, 形象直观, 而且逻辑关系严密, 可以准确说明每一种接口功能的状态变迁。其特点是不涉及具体的电路、元件型号和参数, 因而与电路结构、元件无关。就是说, 不同装置的接口电路的设计人员只要严格按照状态图所规定的逻辑关系, 就可以因地制宜地采用不同电路、不同元件参数来实现标准所规定的接口功能。这是保证装置的兼容性和灵活性的又一项重要措施。

第二节 接口系统的基本性能

接口系统的基本性能分以下几个方面:

(1) 母线电缆包括 16 条信号线和 9 条地线[⊖]。

(2) 系统中, 用母线电缆互连的装置总数不得超过 15 台, 这是由接口电路负载能力的限制所决定的。由此可见, 用通用接口系统组成的自动测试系统的规模。如果采取适当措施, 装置数量也可以增加, 但在一般情况下, 15 台装置已足以组成一个系统了。

(3) 母线电缆的传输途径总长度不超过 20m; 或装置数目乘装置之间的距离不超过 20m, 如果距离过长, 信号可能产生畸变, 传输的可靠性下降, 数据传输速率也就降低。若采用特殊的发送器和接收器, 则距离可以扩展到 500m。

(4) 采用比特 (bit) 并行、字节 (byte) 串行、三线连锁挂钩技术、双向异步的数据传输方式。数据采用 7 比特 ASCII 码 (与 ISO646 码一致的编码), 经 8 条数据母线传送, 故每个字节的 7 个比特为并行传送。若有多个数据字节, 则必须依次传送, 故为字节串行。三线连锁是确保系统内速率不同的各装置之间可靠地进行双向异步传输的一种专门技术。

(5) 数据传输的速率: 母线电缆总长度在 20m 以内, 若每 2m 内的等效负载相当于使用 48mA 的集电极开路式发送器, 则最高工作速率为每秒 250K 字节; 若采用三态门发送器, 则一般速率为每秒 500K 字节, 最高可达每秒 1M 字节。

⊖ 美国和日本使用 24 芯电缆, 地线为 8 条。

(6) 地址容量。单字节地址：31个讲地址,31个听地址。双字节地址：961个讲地址,961个听地址。为了区别于传统的自动测试系统,使用通用接口系统所组成的自动测试系统通常称为自动仪器系统。在该系统中,就各装置在系统中所起的作用来看,可分为三种:有些装置能够发送某些消息来管理接口电路、控制整个系统协调的工作。具有这种能力的装置一般称为控制器。在此,我们将它易名为控者。有些装置能够通过其接口电路向系统发送某种(或某些)只与装置功能本身有关的消息。具有这种能力的装置我们称它为讲者。相反,有些装置能够通过其接口电路接收由讲者发来的消息,这种装置则称为听者。系统工作时,在某一时刻,只允许有一台装置作为控者,或作为讲者,但允许有多台装置作为听者。如果同一时刻有多于一台装置作为控者或讲者,系统就会发生混乱,不能正常工作,正如一个会议不能有几个人同时主持或者课堂上有几位老师同时讲课一样。对某台装置而言,它本身可以具有控者、讲者和听者三要素中的一种、二种或全部,但在某一时刻,也只允许其一种要素起作用。当其作为讲者时,就不能同时又为控者或听者。

那么,系统中的装置,哪台装置在何时成为讲者,哪台(或哪些)装置又成为听者,这完全由控者根据事先编好的程序来指定。指定的方法是控者发讲地址命令和听地址命令。应该注意,此处的“地址”概念与传统的计算机中的地址概念不同。计算机中的地址通常是指存储器的空间位置,而这里的“地址”实际上是指某台装置。给某台装置发讲地址命令就是由控者命令该装置成为讲者,以便让该装置向接口系统发送数据。同样,给某台装置发听地址命令就是由控者命令该装置成为听者,以便让该装置从接口系统接收数据。在一般情况下,讲地址和听地址只需传送一个字节。若31个讲地址和31个听地址不够用,则可用两个字节来表示一个地址,即双字节地址。这样,讲地址和听地址就可以分别扩大到961个。用双字节表示的地址分别称为扩大讲地址和扩大听地址。

(7) 控制转移: 如果系统中有多个装置具有控制、管理系统工作的能力, 即有多个控者, 那么, 在某一时刻只允许一个控者起作用, 其余控者必须处于空闲状态。如果一个控者的控制作用已经完成, 需要转给另一个控者, 则原来的控者必须处于空闲状态, 只有新的控者才能控制系统工作。若干控者相互转换对系统起控制作用的这种过程叫做控制转移。在有多个控者的系统中, 当时起控制作用的那个控者叫做责任控者, 或主任控者。但在多个控者中必有一个能够随时介入系统的控者。这个控者叫做系统控者。系统控者是由系统设计人员事先规定的。如果一个系统中只有一个控者, 那么这个控者既是系统控者, 又是责任控者, 也就不存在控制转移的问题。

(8) 在母线电缆上所传输的消息采用负逻辑。低电位 ($\leq +0.8\text{V}$) 为 1, 即真值; 高电位 ($\geq +2.0\text{V}$) 为 0, 即假值。

(9) 一般适用于电气干扰轻微的实验室或生产环境。

(10) 有较好的兼容性和灵活性。

第二章 接口功能和母线结构

第一节 接口功能的设置

测量仪器和设备种类繁多,性能各异。怎样才能把它们用接口母线系统连接起来,组成自动测试系统并按统一步调和格式进行操作,其关键就是装置的接口功能配置问题。就是必须设置一套接口功能,它们能满足各种仪器设备和接口母线系统通信的要求。显然,接口功能应与装置的性能无关,它仅完成和其它装置进行通信的任务。自动测试系统所处理的对象可能差别很大,但是,最基本的操作就是在装置间传递信息(控制命令或数据);再就是对某些事件的特殊处理能力。根据这些基本操作,通用接口设置了十种接口功能,并从概念上把装置划分为两部分。图 2-1 示出了装置的两部分功能的划分和十种接口功能设置情况。

图中, A 区是接口功能,其中包括消息逻辑编码; B 区是装置功能,也叫次接口功能。

如上所述,装置功能是实现装置本身的基本工作特性的一种能力。各种装置的用途、性能、电路结构和所采用的元器件不同,其装置功能也不同,因而无法统一,也没有必要统一。所以在该接口系统中,对装置功能不作规定,而留给装置设计人员去考虑。

接口功能是系统内所要求的装置与接口系统之间的相互作用,是装置发送、接收和处理消息的一种能力,它与装置功能无关。接口功能是通用接口系统的核心,也是系统运行时的关键。在该接口系统中,规定了五种主要功能和五种辅助(专用)功能主要功能是: 1) 为了保证数据以三线连锁挂钩方式双向异步地传输的源挂钩功能(简称源功能,记作 SH); 2) 受者挂钩功能(简称受功能,记作 AH); 3) 为了发送数据的讲者功能(T)或扩大讲者