

高等学校适用

自动测试系统

上海工业大学 孙家琪 编

GAODENG XUEXIAO
SHIYONG

机械工业出版社



高等学校适用

自动测试系统

上海工业大学 孙家琪 编



机械工业出版社

本书介绍了自动测试系统的工作原理和组建方法。全书共分七章，内容包括：自动测试系统概论；IEC-625(IEEE-488)通用接口的工作原理、实现方法；仪器的程控方法；IEC-625接口系统的组建；其他接口系统(CAMAC系统、HP-IL系统)；测试程序的编制。

本书可作为仪器类、自动化类、计算机类等有关专业开设《自动测试系统》课程的教材，也可供工程技术人员、科研人员和大专院校师生进行有关专业工作时学习和参考。

ZA78/12

自动测试系统
上海工业大学 孙家琰 编

责任编辑：林静贤、韩雪清 版式设计：张世琴
责任印制：王國光 责任校对：熊天荣

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 787×1092¹/₁₆·印张 16·字数 390千字

1990年4月北京第一版·1990年4月北京第一次印刷

印数 0,001—3,340·定价：7.00元

ISBN 7-111-01993-8/TP·111

前 言

本书是根据1984年12月在上海召开的原机械工业部高等工业学校电磁测量及仪表专业教材编审小组第三次会议通过的《自动测试系统》教学大纲编写而成的，后经该小组第五次会议（1986年6月，杭州）评选推荐出版。

自动测试系统的研究内容是，怎样用各种仪器设备组建能完成自动测试任务的系统以及怎样用这种系统去解决各类测试问题。现代的自动测试系统以计算机为核心，以各种程控仪器为组成单元，常常将数据的采集、测试、处理、控制等多种功能结合在一起，冲破了传统测量技术的封闭模式，调动了计算机和各种设备在单独使用时不能发挥的潜在能力，具有强大的功能，成为实现科研、生产和实验工作的自动化所不可缺少的手段。

接口技术和仪器的程控技术是组成自动测试系统的关键，也是本书讨论的重点。第一章较全面地介绍了自动测试系统的应用领域、工作原理和组成方法。第二、三、五章较深入地讲述了 IEC-625 (IEEE-488) 通用接口的工作原理、实现方法以及系统的组建方法。第四章着重介绍了基本的程控单元的工作原理、设计方法以及 IEC 接口的联接电路。第六章讨论了用来组建自动测试系统的其他接口系统 (CAMAC 系统和 HP-IL 系统)。最后在第七章讨论了测试软件的编制方法，介绍了两种测试用的 BASIC 语言。

本书可作为仪器类、自动化类、计算机类等有关专业开设《自动测试系统》课程的教材。全部内容的参考教学时数为51学时。使用时，可根据具体情况进行删增。本书也可供工程技术人员、科研人员和大专院校师生进行有关专业工作时学习和参考。

哈尔滨电工学院的马怀俭副教授担任本书的主审，对全书内容作了仔细审阅，提出了不少宝贵的意见。其后，由尤德斐教授、郑令德副教授、马怀俭副教授、宋俊寿副教授、瞿完华高级工程师等专家组成的审稿小组又对本书进行了全面审稿，提出了许多改进意见。对于他们的指导和帮助，作者表示衷心的感谢。

由于水平所限，书中的缺点和不当之处在所难免，敬请读者批评指正。

编者

1988.7于上海工业大学

目 录

第一章 自动测试系统概论	1
§ 1-1 自动测试系统的工作领域	1
§ 1-2 仪器之间的联接方式	3
§ 1-3 自动测试系统的分类	6
§ 1-4 自动测试系统的组成	18
第二章 可编程仪器的接口系统 (IEC-625 通用接口技术)	19
§ 2-1 概况	19
§ 2-2 IEC 总线的结构	20
§ 2-3 IEC 仪器的功能结构	27
§ 2-4 消息的分类与性质	29
§ 2-5 接口功能的状态图	42
§ 2-6 测试过程中的消息序列	66
§ 2-7 仪器消息的编码和格式	69
§ 2-8 总线上的工作波形	78
第三章 IEC 接口的实现方法	80
§ 3-1 概述	80
§ 3-2 用中小规模集成器件设计 IEC 接口	94
§ 3-3 采用大规模集成 IEC 接口器件设计 IEC 接口	106
§ 3-4 用软件模拟实现 IEC 接口功能	130
第四章 仪器的程控	139
§ 4-1 几种典型的程控单元	140
§ 4-2 程控方法	157
§ 4-3 IEC 次接口的组成	165
§ 4-4 打印机的 IEC 接口	169
第五章 IEC 总线系统的组建	171
§ 5-1 机械规范、电气规范和其他一些规范	171
§ 5-2 IEC 总线系统的组建方法和步骤	174
§ 5-3 IEC 总线系统的故障检查	180
§ 5-4 系统组建的举例	185
第六章 其他接口系统	197
§ 6-1 CAMAC 系统	197
§ 6-2 HP-IL 接口系统	215
第七章 测试软件的编制	225
§ 7-1 测试程序的编写过程	225
§ 7-2 对编程语言的要求	229
§ 7-3 HP 计算机中使用的测试 BASIC 语言	231
§ 7-4 Apple-Ⅰ 计算机中使用的测试 BASIC 语言	239
§ 7-5 应用举例	246
参考文献	250

第一章 自动测试系统概论

§ 1-1 自动测试系统的工作领域

(一) 测试的概念

所谓测试，通常包含了测量、检验、估算、故障检测和诊断等多层意思，具有比单纯的测量更为丰富的内容。下列工作都可认为属于测试的范畴：

- 1) 将被测量与标准量进行比较，以获得被测对象的数值结果。
- 2) 将被测量与设定值进行比较，以获得被测对象在性能、参数、质量、功能等方面的评价。这种评价常采用通过/不通过、合格/不合格、正常/越限、好/坏等定性指标来表示，或采用分成若干等级的分类值来表示。
- 3) 对测试数据进行各种处理，根据测试要求不同，处理结果可形成各种信息，也可去执行各种操作。例如，按一定算法可获得被测对象的状态变量或内部参数的有关信息等，产生控制信息并由它控制执行机构，实现对被测对象的开环或闭环控制。

因此，现代测试技术已使测量技术紧密地与数据处理、故障检测和诊断、系统辨识和参数估计、控制技术等结合在一起。

(二) 自动测试系统

要进行测试，必须具备测试对象、测试手段、测试步骤和测试执行者。

1. 测试对象的分类

按被测物理量的性质不同，测试对象可分为：

- (1) 时域量 是以时间为自变量的物理量，如温度、压力、电压、电阻等等。
- (2) 频域量 以频率为自变量的物理量，如信号频谱、元器件的频率特性、网络的传递函数等。
- (3) 数据域量 简称为数域量，是以次序、编号或离散的时间序列作为自变量的物理量。它存在于数字电路中，只取 0 和 1 二种逻辑值 $\ominus$ ，通常以数据序列的形式出现。例如，在表1-1中，列出了一个二输入端与非门的真值表，按此表检测该门电路的逻辑功能。此时

表1-1 二输入端与非门真值表

次 序	引脚编号	输 入 端		输 出 端
		A	B	C
(1)		0	0	1
(2)		0	1	1
(3)		1	0	1
(4)		1	1	0

$\ominus$ 为简单起见，不考虑多值逻辑变量。

要用到下列三种有意义的数域量:

1) 加在输入端A和B端的测试码。它们依次取值为00、01、10和11。它们是数据序列,既是引脚编号a和b的函数,又是次序(1)、(2)、(3)、(4)的函数。

2) 在上述测试码的作用下,由输出端C输出的响应码。它取值为1110,它是次序的函数。

3) 测试码和响应码的组合,例如在次序(1)时取值为001,在次序(2)时取值为011等等。它代表进行一次逻辑测试所包含的输入输出信息的组合。

2. 自动测试系统的特点

测试对象和测试任务不同时,所采用的测试手段也不同,简单的情况可直接使用各种现成的指针式仪表、经典式的手动仪器,进而还可采用各种数字化仪器乃至智能化仪器来进行测试。在情况复杂时,单个仪表或仪器常常不能胜任,必须使用多种测试设备(如测量仪器、信号源、显示器、记录仪、转换开关阵列……等),并且它们应按一定方式联接起来组成一个测试系统,才能完成测试任务。今后,我们将这些测试设备统称为仪器。一个测试系统是为完成某一复杂的测试任务而将多种仪器联接在一起的有机整体。比起单个仪器,其规模大、功能强,性能也优越。

一个测试系统,如果其测试过程主要由人工操作来完成,称为手动测试系统;如果主要由计算机操作来完成,则称为自动测试系统。

测试任务是通过执行测试步骤来实现的。在手动测试系统中,由人工来依次执行这些步骤。在自动测试系统中,测试步骤被编写成测试程序,存放在磁带、磁盘或ROM中。测试时,由计算机调入这些程序并执行之。

(三) 自动测试系统发展概况和应用领域

1. 发展概况

自动测试系统简称为ATS (Automatic Testing System),有时也称为ATE (Automatic Testing Equipment, 自动测试设备)。它的研究和开发工作始于50年代的美国。当时军事工业的发展要求测试实现自动化。由于军事部门中的许多被测对象都要求快速、准确、实时、多路、大量的测量及进行数据处理和控制,只有自动测试才能满足这种要求。随着电子技术和计算机技术的飞速发展,自动测试系统的组建不再是昂贵和复杂的事情,从而使它在民用工业和科研部门逐步得到了广泛的应用。70年代以来,各种自动测试系统的产品以及组建自动测试系统的各种仪器的生产一直保持久盛不衰的势头,产量逐年上升,产值增长率在仪器仪表行业中一直处于领先地位。同时,与自动测试技术有关的理论研究工作也得到很大发展,成为测试领域中一个特别活跃的分支。现在,它已是电测技术的一个重要发展方向。

2. 应用领域

自动测试系统所以得到飞速发展和广泛应用,不仅在于它的测试具有自动、快速、可靠、准确、高效、方便、灵活、功能丰富等一系列优点,而且还在于只有采用自动测试系统才能完成任务,下列情况就是例子:

(1) 同时或依次对多个被测对象或多种参数进行测试。

(2) 对被测对象进行在线、实时、动态的测试 例如,要同时测试和控制一台或几台锅炉的温度、压力、液位、流量等;要同时监护病房中多个病人的体温、血压、脉搏、呼吸

等，要依次测试一台动力设备的速度、扭矩、应力、振动等；要测试一只运算放大器的所有特性参数（直流、交流参数，幅频特性、相频特性等）。这类测试即属于上述情况（1）或（2）。

（3）生产流水线上的产品测试 例如，电子元器件厂在生产线上对元器件的各种参数进行的测试和分档；电子设备厂在生产各个主要阶段（设计、元器件入库、部件装配、整机装配、产品出厂直至现场运行维修）进行的一系列测试（见图1-1），都只有采用自动测试系统才能与现代化生产相适应。

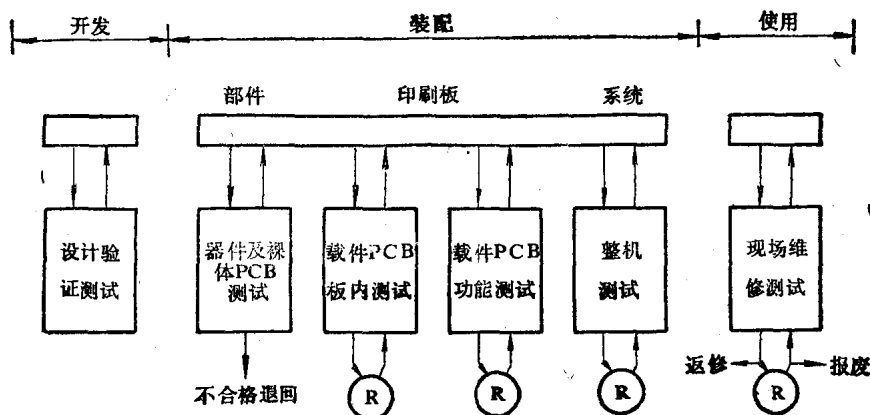


图1-1 电子设备生产中的测试过程

PCB—印刷电路板 R—维修站

（4）故障的检测和诊断 要检测和诊断数字电路或模拟电路的故障，采用单个仪器是不能完成的，必须采用多种仪器组建成测试系统，在计算机控制下才能进行。

（5）要求进行各种数据处理、信号变换或执行各种操作的测试 例如，要求对测试数据进行误差计算、非线性校正、频谱分析、相关计算、滤波、控制和调节参数计算等；要求对信号进行D/A转换、电压-频率变换、函数变换等；要求将处理结果进行打印、显示、绘图、存贮、推动执行机构动作、实现开环或闭环控制等；要求方便的人机对话等等。现代的自动测试系统已成为一个集测试、控制和处理为一体的计算机应用系统。

（6）实验室和计量室的测试自动化、科研和设计单位的各种试验自动化 自动测试技术有时也称为计算机辅助测试 CAT (Computer Assisted Testing)，二者所研究的领域是相互覆盖的。现代化生产是与计算机应用紧密联系在一起的。从这个角度看，一个产品的制造过程可以简单的看成是由计算机辅助设计 (CAD)、制造 (CAM) 和测试 (CAT) 三个阶段所构成的有机整体——计算机辅助工程 (CAE) 来贯彻实施的。由此也可看出自动测试系统在现代化生产中所占的地位。

§ 1-2 仪器之间的联接方式

这里讲的仪器 (Device) 是各种测试设备的统称，不仅仅指那些具有自己的机箱、操作面板、显示单元、供电电源的传统的仪器，而且还包括那些具有独立功能、可独立进行工作的模块组件，这种组件通常可由一块或几块印刷电路板组成。如A/D转换模块、D/A转换

模块、开关阵列模块等等。因此，一个自动测试系统既可以由几台具有独立机箱的仪器用电缆联接而成，也可以由若干模块组件，插入公共机箱中，通过背部联接总线联接而成。

(一) 仪器间的联接条件

不同的仪器应满足下列条件才能相互联接起来组成一个系统。

(1) 最基本要求各仪器的输入输出信号应符合一个统一的规定。这个规定应包括：输入输出信号线的数目，各信号的定义，信号的传送方式、传送速度，信号的逻辑电平和波形，信号线的输入阻抗、驱动能力等。输入输出信号满足统一规定和要求的仪器只要在电信号上是相互兼容的，就可以在信号级的水平上联接起来。

(2) 其次，各仪器的机械联接应符合统一规定。接插座的结构和尺寸、引脚的定义和数目、插件板的结构和尺寸等都应统一，以便从机械结构上方便地将各仪器组合和联接起来。

(3) 更进一步，则要求各仪器具有相同的命令系统。这些命令的功能有明确的定义，编码有统一的格式，由计算机发送。当各仪器能在统一的命令指挥下工作时，它们的命令系统就是兼容的，可以在命令级的水平上相互联接起来。

(4) 若各仪器不仅命令系统相同，而且其对外的输入、输出数据也具有统一的编码格式和定义，则它们的程序就完全兼容，软件系统就可以方便的联接起来。

但是，各仪器的功能不同，其电路的原理和结构千差万别。在设计仪器时，如果要求仪器的硬件软件在信号级、命令级乃至程序级水平上都符合统一的规定和相互兼容是很困难的。通常的做法是，在设计仪器电路时，不考虑兼容问题，但要为每台仪器设计相应的接口电路，这种接口电路一方面与各仪器内部电路相匹配，另一方面在电与机械性能、命令和数据格式上符合统一规定，以便各仪器相互联接。不同的仪器，其接口电路不同，通过接口电路的变换，各仪器就可在信号级、命令级或程序级的水平上相互兼容。

(二) 仪器间的联接方式

在组建自动测试系统时，仪器之间有下列几种联接方式。

1. 直接联接

如图1-2a所示，二台仪器可通过它们的接口直接联接起来。在简单的自动测试系统中采用这种联接方式。

2. 链式联接

如图1-2b所示。通过接口，各仪器依次串接。非相邻仪器间的通讯联系，要通过中间仪器，而且要在中间仪器处于空闲时才能进行。这种联接方式简单，对接口电路驱动能力的要求低。但数据传送速度慢，一台仪器出故障，会使全系统无法工作。

图中的虚线表示链式联接可接成环形结构，首、尾仪器可联接起来。

3. 星形联接

如图1-2c所示。仪器通过各自的接口和电缆与一台中心仪器（通常是计算机）相联接。任何二台仪器之间的通讯联系都要经过中心仪器。中心仪器要为每台仪器配置一个接口电路。

4. 总线联接

如图1-2d所示。这种联接法的特点是：所有仪器通过各自的接口联接到一组公共传送线——总线上。在控制器的统一安排下，每台仪器都有权使用这组总线。任何二台或二台以上仪器之间的通讯都可通过总线直接进行，而不一定要控制器介入。控制器根据程序的安排

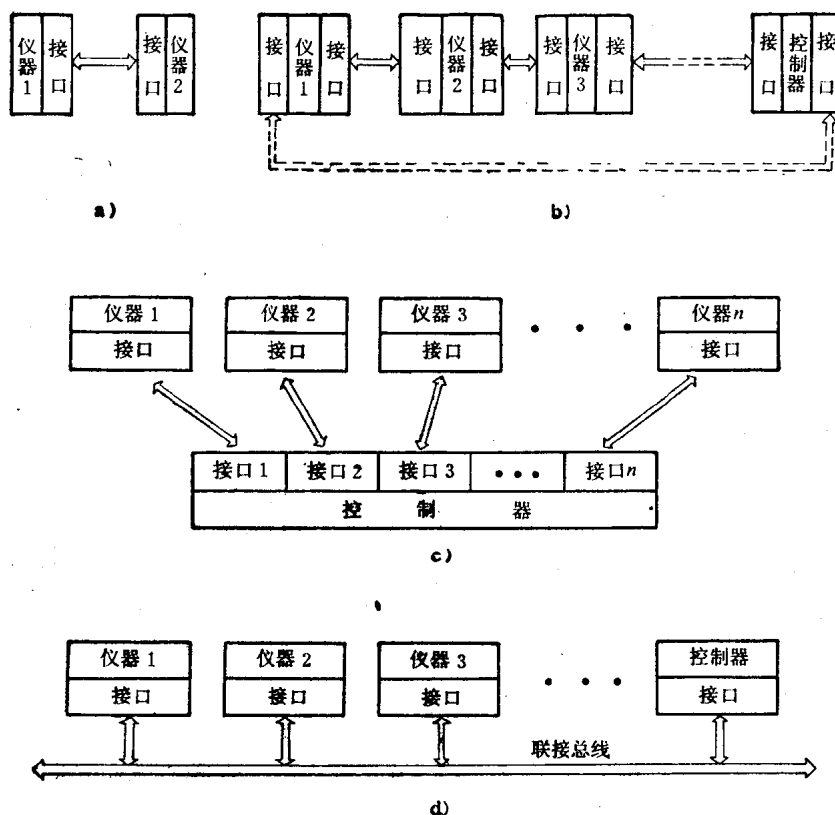


图1-2 仪器之间的联接方式

来管理总线的使用，依次调度各仪器工作。采用总线联接后，系统很容易组建，系统的功能很容易扩展或改变。缺点是：总线一旦出现故障，整个系统就不能工作。

(三) 联接方式的标准化

由以上分析可知，各仪器之间的联线方式是组建一个自动测试系统的关键所在。联线方式所涉及的问题有：

- (1) 有关各联接线及其传送信号的各种规定；
- (2) 与该联线方式相对应的接口电路工作原理和实现方法；
- (3) 如果是在命令级水平上相兼容的系统，还应讨论该联线方式的控制器的组成及其命令系统；
- (4) 如果是在程序级水平上相兼容的系统，还应讨论该联线方式中，数据的格式和编码方式；
- (5) 有关机械结构上的规定。

联接线、接口和控制器及硬件构成的整体简称为接口系统或总线系统。在60年代，自动测试系统只设计成专用的测试设备，只能为固定的测试对象服务。其内部各组成部分之间界限不清，联接混杂而无规律，系统的功能固定不变，结构上不能重新组合、扩展和更改，大大限制了一个系统的应用。70年代以来，人们在接口和总线的标准化、规范化上做了大量的工作，制定了许多不同水平和级别的接口和总线标准。各仪器只要配备了标准接口电路，就很容易用标准总线联接起来，组成一个测试系统。配有标准接口的仪器，既可单独使用，又

可作为部件接入系统中工作,大大发挥了一台仪器的潜在能力,同时又使测试系统在结构上积木化、通用化,功能上可扩可缩,组建起来方便灵活。

(四) 接口和总线的分类

根据标准化的水平不同,接口和总线可归纳成二类:

1. 通用总线系统

主要用来联接计算机和各种常规外部设备或 I/O 部件,构成通用的计算机系统。近年来,也用这种通用总线构成测试和控制系统。如 STD、S-100、MULTIBUS、RS-232、VME 等总线。这类总线只在信号级水平上作了统一规定,带有这类总线接口的组件或仪器,只在信号级水平上是兼容的。

2. 测试用接口系统

主要用来组建测试和控制系统。带有这类接口电路的仪器,一般能在命令级有时甚至在程序级水平上相互兼容。根据数据传送方式不同,可将它们分为:

串行数据传送的接口系统,如 RS-232-C、HP-IL、串行分支 CAMAC 系统等。

并行数据传送的接口系统,如 IEC-625、CAMAC 单机箱系统、CAMAC 并行分支系统等。

作为本书的重点,将以较多的篇幅介绍测试用接口系统,特别是 IEC-625 接口系统的工作原理和实现方法,它们是组建自动测试系统的基础。

§ 1-3 自动测试系统的分类

可以从不同角度对自动测试系统进行分类。

(一) 根据系统所使用的总线和接口分类

由于采用的接口和总线不同,自动测试系统可分为:RS-232-C 系统、HP-IL 系统、IEC-625 系统、CAMAC 系统、用计算机通用总线联成的系统等。

1. RS-232-C 系统

RS-232-C 是美国电子工业协会 EIA 于 1969 年公布的用于二进制数据串行传送的一种标准接口。当初制定此标准的目的是为了促进采用公用电话网络进行数据通讯。图 1-3 a 是计算机利用电话网将数据传送给终端的示意图。在发送端,计算机的 SIO (串行输入输出端口) 将并行数据变换成串行数据。RS-232-C 接口将此串行数据规范成标准电平的串行信号,再由调制器调制成电话网络能够远距离传送的低频信号,发送到电话线上。在接收端,由解调器将信号复原,再经 RS-232-C 变换成原始电平的信号,由终端接收。同样,终端也可以通过 RS-232-C、调制器将数据发送到电话线上传送给计算机,计算机通过解调器、RS-232-C 和 SIO 接收数据。通常,调制器和解调器组合在一起,简称为 MODEM。随着计算机技术和网络技术的发展,RS-232-C 接口得到广泛应用。现在,绝大多数计算机和仪器都配置了 RS-232-C 接口,既可直接与 MODEM 相接,通过公用电话网进行远距离数据交换,也可不利用 MODEM 和电话网,直接互联,实现近距离的数据的串行传送,成为计算机与多种外部设备如键盘、打印机、磁带、CRT 显示器等相互通讯的主要的串行接口。

RS-232-C 是一种在信号级水平上作了统一规定的接口,采用 25 芯接插座和电缆,共有 20 根信号线。在组成测试系统时要使用的信号线有 8 根,如表 1-2 所示。其中 PGND 是屏蔽

地，可与电缆的屏蔽端相接。TXD对计算机或终端而言，是数据发送端，对MODEM而言是数据接收端。RXD对计算机或终端而言，是数据接收端，对MODEM而言则是数据发送端。通过RTS线，计算机或终端向MODEM请求数据的传送。通过CTS线，MODEM向计算机或终端表示可以进行数据传送。此外，DSR和DTR线分别用来向对方表明，MODEM

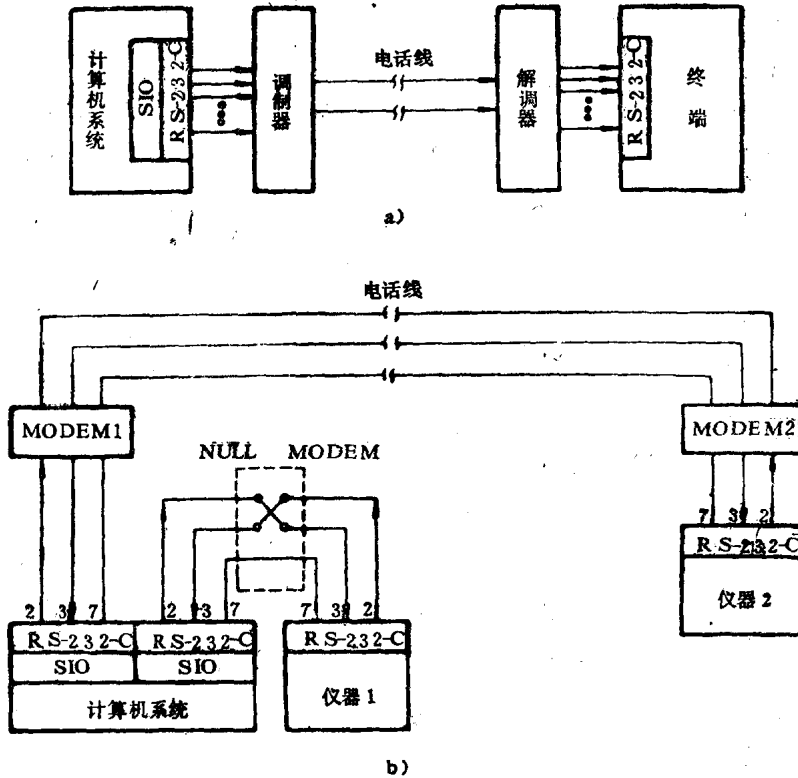


图1-3 用 RS-232-C 接口组成的测试系统

表1-2 RS-232-C接口的主要信号线

计算机或 终端的 RS-232-C 插座	信号线	MODEM 的 RS-232-C 插座
1	PGND (屏蔽地)	1
2	TXD (发送数据)	2
3	RXD (接收数据)	3
4	RTS (请求发送)	4
5	CTS (清除发送)	5
20	DTR (数据终端已准备好)	20
6	DSR (数据设备已准备好)	6
7	SGND (信号地)	7

和计算机或终端已准备就绪，可以投入使用。

RS-232-C规定，信号采用负逻辑，最大电压幅度为 $\pm 15\text{V}$ ，最小幅度不低于 $\pm 3\text{V}$ 。这样，逻辑0信号电压为 $-3\sim -15\text{V}$ ，逻辑1信号电压为 $+3\sim +15\text{V}$ 。

图1-3b给出了一台由计算机、近地仪器1和远地仪器2组成的RS-232-C系统。它的工作情况如下：

计算机要发送数据给远地仪器2时，其途径是：计算机的SIO(串行数据输入/输出)将并行数据转换成串行数据 $\rightarrow$ RS-232-C $\rightarrow$ MODEM 1 $\rightarrow$ 电话线 $\rightarrow$ MODEM 2 $\rightarrow$ RS-232-C $\rightarrow$ 远地仪器2。

远地仪器2要发送数据给计算机时，途径与上相反。

计算机要与近地仪器1交换数据时，可直接相连，即它们的RS-232-C接口的TXD和RXD端相互交错联接，使一方发送的数据正好被另一方接收。它们的DSR和DTR端也应相互交错联接，使任一方都能了解对方是否已准备就绪。此外，任一方接口的RTS和CTS端应短接，以保证任一方的发送请求立即被允许。这样的接线安排，不要MODEM的介入，就能实现计算机与近地仪器之间的数据交换。

如果系统中有多台仪器，则计算机要配置多个RS-232-C接口，这时的联线方式即是上节所讲的星形联接方式。

2. HP-IL 系统

这种系统采用了HP-IL接口。HP-IL是HP公司为便携型仪器(其中包括用电池供电的计算器 and 仪表)组成系统而设计的低功耗低成本的接口标准。IL是英文Interface Loop

(接口环路)的缩写，采用了环形链式联接方式，传送串行数据。图1-4给出了一个用HP-IL接口联接而成的自动测试系统框图，它由四台仪器(计算器、数字电压表、小型打印机和盒式磁带机)组成，每台仪器配置了一个HP-IL接口，每个接口有一个输入端和一个输出端，每个输出端只驱动一个输入端，使接口的驱动功率减至最小。仪器间的联接采用了廉价的双线电缆。图中通过电压表测试电压，测试结果存放在磁带机中，也可由打印机打印输出。所有测试工作由计算器控制。

在HP-IL环路中的各仪器，根据其承担的职责不同，可划分为控者、讲者和

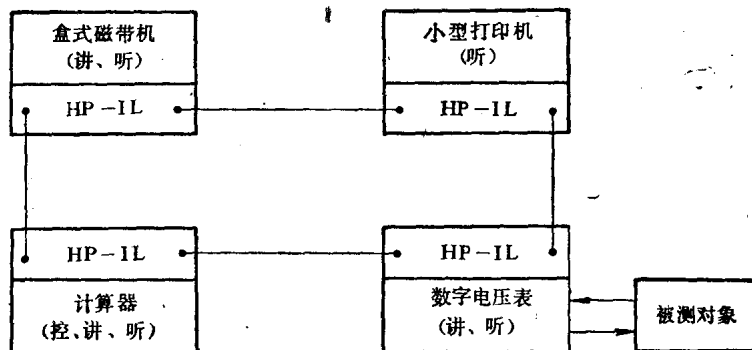


图1-4 HP-IL系统

听者三种不同类型。控者仪器的职责是发送各种命令，规定各仪器的职责(讲者或者听者)，启动和调度它们的工作。HP-IL标准文件对环路中可执行的命令作了明确规定。因此，它是一种在命令级水平上相互兼容的接口系统。讲者仪器的职责是发送数据。例如，数字电压表被控者任命为讲者后，就可向环路发送测量结果数据。听者仪器的职能是接收数据。例如，打印机被任命为听者后，就可从环路接收讲者发来的数据进行打印。环路中传送的命令和数据统称为消息。当一条消息在环路中传送时，每台仪器都应接收它，并把它传送给下一台仪

器，直到它沿环路循环一次返回到原发仪器为止。根据消息的内容不同，每台仪器接收到一条消息后，可以执行该消息规定的操作，也可不予理睬，但都应重发此消息给下一台仪器。

环路中的每台仪器都有自己的地址。控者通过对各仪器寻址，来任命它们为讲者或听者，调度它们工作。

以图 1-4 为例，测试任务要求测试一个未知电压，测试结果存贮在磁带机中并由打印机打印出来。环路的工作过程如下：

1) 控者发命令，分别设定电压表、打印机、磁带机的工作状态和参数，启动它们工作，电压表开始测量；

2) 控者对电压表寻址，任命它为讲者，对打印机、磁带机寻址，任命它们为听者；

3) 控者发送一条专门消息，命令讲者发送数据；

4) 讲者（电压表）开始发送测量结果数据，听者（磁带机、打印机）依次接收它；

5) 讲者发送完最后一个数据字节后，应发送一个结束消息给控者。控者接收到此消息后，停止讲者与听者之间的数据传送，开始执行下一步工作。

每条消息在环路中传送时都要循环一周，回到发源地后传送才算结束，因此，HP-IL 系统中的数据传送速度较慢。同时，在环路中只要有一台仪器发生故障，就可能使全系统停止工作。

3. IEC-625系统

IEC-625系统采用了 IEC-625 接口和总线。IEC-625 总线共 16 根，其中 8 根是数据线，用来并行传送 8 位数据，另外 8 根线用来传送管理信号和联络信号。配置 IEC 接口的仪器可以直接用该总线连成系统，它属于总线联接方式。

和 HP-IL 系统一样，在 IEC-625 系统中，各仪器的职能也可归纳为三种：讲者、听者和控者。该系统定义了一组命令，由控者执行这组命令，指挥整个系统工作，因此，它是属于命令级水平上相兼容的系统。

图 1-5 a 中的 IEC-625 系统由计算机、数字电压表和打印机组成。每台仪器对外都配有标准的插座，通过标准总线电缆可以很方便地将它们联成一体，如图 1-5 b 所示。若要求用此系统测试未知电压、并将测试结果存贮在计算机中、以及由打印机打印出来，则系统的工作过程如下：

1) 控者通过 IEC 总线发送命令，规定电压表和打印机的工作状态和参数，并启动它

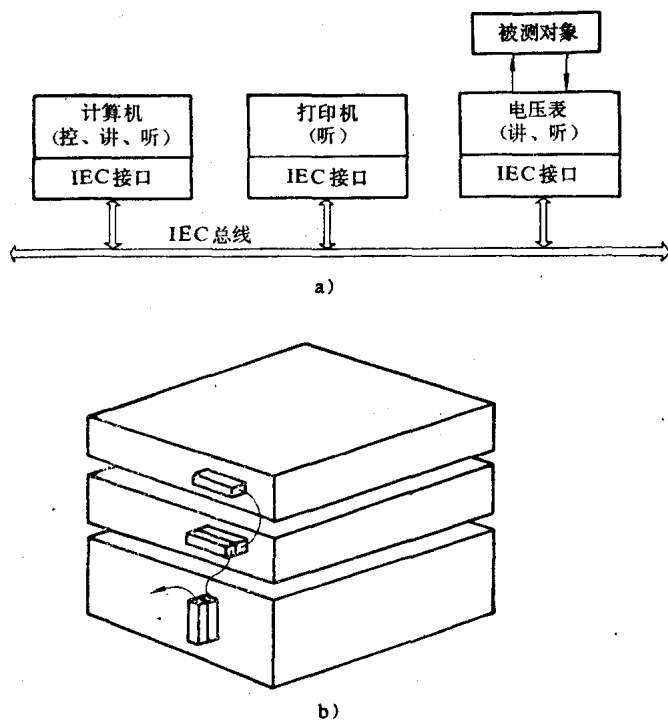


图1-5 IEC 总线联成的测试系统

们工作，电压表开始测试；

2) 控者通过 IEC 总线发送命令，任命电压表为讲者、打印机为听者，并任命自己也作为听者；

3) 控者让出数据总线给讲者和听者使用；

4) 讲者（此时为电压表）通过数据总线发送测试结果数据，计算机以听者身份从数据总线接收该数据并保存在存储器中，同时打印机也以听者身份接收该数据并把它打印出来；

5) 当讲者（电压表）发送最后一个数据字节时，应同时发送一个结束标志给计算机，表示发送结束；

6) 计算机接收到该结束标志后，收回数据总线使用权，停止讲者与听者间的数据传送，恢复控制作用，安排下一步工作。

IEC-625接口系统应用广泛，第二、三、四章将作详细讨论。

4. CAMAC 系统

CAMAC 是 Computer Automated Measurement and Control（计算机自动测试与控制）的缩写。这种接口标准是由欧洲核电子学标准委员会（ESONE）提出来的，后被 IEC 和 IEEE 等组织认可，并公布了相应的接口标准化文件。CAMAC 系统的基本单元是 CAMAC 机箱和功能组件。CAMAC 机箱具有标准化的结构和尺寸，在空间上它被划分成 25 个插件位置，可以插入 25 块标准化的 CAMAC 印刷电路板。机箱背部固定了标准化的接插座，配置了 86 条信号总线，将插入机箱中的各电路板联接起来。CAMAC 功能组件由一块或多块 CAMAC 电路板构成。每个组件都具备相对独立的功能。例如，它可以是一台独立的仪器。也可以是一个使 CAMAC 机箱与外部仪器联接起来的接口组件。各功能组件的工作由机箱控制器管理。各功能组件的接口在电气和机械方面的性能以及控制器所执行的命令系统在 CAMAC 标准文件中都有明确规定，因此，它是属于在命令级水平上相兼容的接口系统。

CAMAC 系统分为单机箱系统和多机箱系统二种结构形式。单机箱系统要配备一个机箱控制器和至少一个功能组件。多机箱系统有并行和串行二种形式。图 1-6 a 是并行系统一个分支的结构。图中的系统控制器管理各分支驱动器的工作，每个分支驱动器管理本分支系统中挂接在并行分支公路上的各 CAMAC 机箱控制器的工作。并行

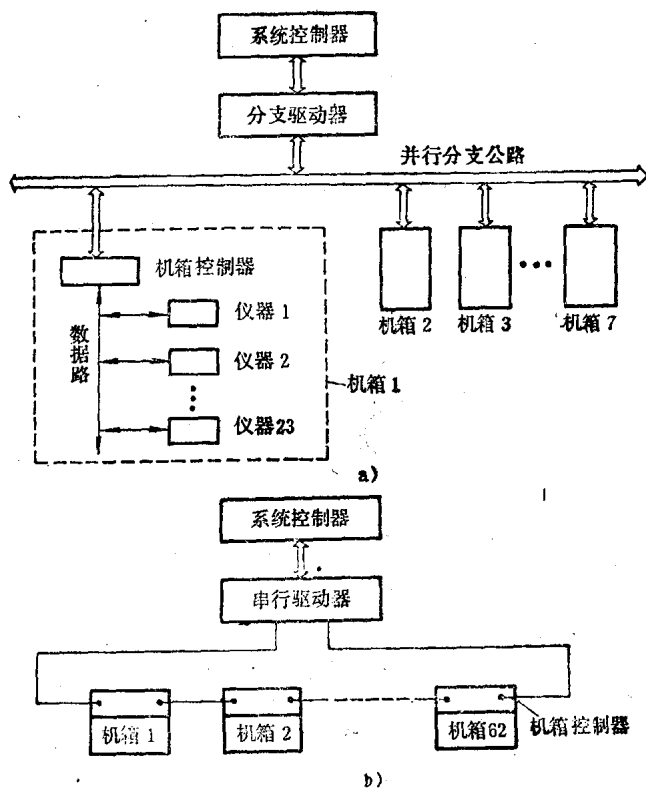


图 1-6 CAMAC 系统

a) CAMAC 并行公路系统 b) CAMAC 串行公路系统

分支公路由 65 对信号线组成。每个并行分支公路最多可驱动 7 个 CAMAC 机箱工作。每个 CAMAC 机箱由其机箱控制器从分支公路上接收系统控制器发来的命令, 管理本机箱中各功能组件的工作(最多可控制 23 个功能组件)。一个系统控制器最多能控制 8 个并行分支系统, 每个分支系统都具备自己的分支驱动器和并行分支公路。因此, 一个并行分支结构的 CAMAC 多机箱系统, 其最大容量为 56 个 CAMAC 机箱。

图 1-6 b 是 CAMAC 串行结构多机箱系统的框图。系统控制器通过串行驱动器来控制挂接在串行公路上的各机箱的工作。串行公路可由 9 路或者 2 路传送线组成, 分别实现字节串行或位串行的信号传送。串行公路最多可连接 62 个机箱, 组成一个单向环路。其直接传送距离约 10 km, 特别适合组建用于工业过程测控的系统, 组建成本低, 但工作速度也较低。

显然, CAMAC 并行结构多机箱系统属于总线联接方式, 而串行结构属于链式联接方式。在单机箱系统中, 对各功能模块而言, 则属于总线联接方式。

5. 由计算机通用总线联接的系统

用计算机通用总线将各种仪器或功能组件联接起来, 也是组建自动测试系统的一种方法。特别是个人计算机(PC机)问世以来, 这种组建系统的方法获得广泛的应用, 形成了所谓个人仪器这一新的仪器和系统门类。图 1-7 给出了它的结构框图。各功能组件被设计成印刷电路板, 俗称功能卡, 可以直接插入计算机内部的扩展槽口(插座)中, 也可插在外部的扩展箱中。各功能卡之间的联接总线, 可以是该计算机本身的内部总线经总线驱动器驱动后的物理延伸, 也可以是其内部总线经接口转换成的计算机通用总线, 如 STD 总线、S-100 总线等。后一种情况, 各模块在信号级水平上是规范化的。

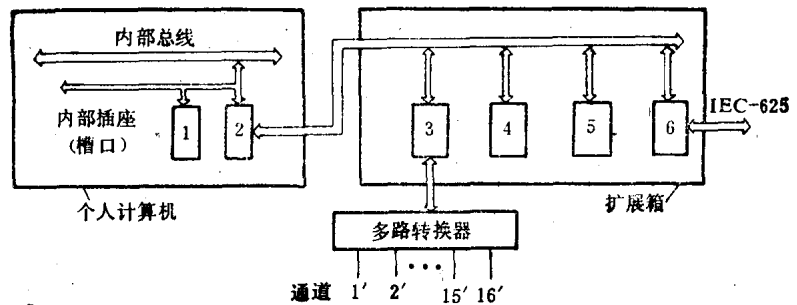


图 1-7 由计算机通用总线联接的系统

1—内接仪器卡 2—总线扩展器 3~5—外接仪器卡 6—IEC-625接口卡

每块功能卡的功能有强有弱。它可以是一台带微处

理机的仪器, 也可以是一块简单的接口卡, 通过它将外部通道或仪器与本系统相接, 例如, 通过 IEC-625 接口卡就可以使本系统与 IEC-625 系统相接。

这种以个人计算机为主体的仪器系统, 有时将原属于各功能卡所承担的各种局部控制任务集中起来, 统一由个人计算机来担任。这样做, 虽然加重了个人计算机的工作负担, 削弱了各功能卡的独立性, 但系统的结构趋于简单, 成本降低, 且能充分发挥计算机的效率。这种结构的个人仪器, 打破了单个仪器与测试系统之间的界限, 使它们混为一体, 在结构上和形式上独树一帜。

(二) 根据被测对象的性质分类

根据被测对象性质不同可将自动测试系统分为二类: 在线实时测试系统和离线测试系统。前者用来对正在运行的对象进行测试, 例如, 对锅炉的运行参数、病人的生理参数等进行采集、测量和监控。后者用来对非运行状态下的对象进行测试, 例如, 对电子元器件的参

数进行测试。

1. 在线实时测试系统

这类系统的特点是：被测信号直接由被测对象实时提供（例如测温度时，直接由温度传感器提供电压信号），并且要进行一系列的实时处理（计算、记录、监视、报警、控制等）。

图 1-8 是它的一种组建方案。它由下列二部分组成：

1) 计算机及其常规外部设备（键盘、CRT 显示器、打印机、X-Y 记录仪、磁带和磁盘驱动器等）。

2) 各种测试用仪器（模拟量和开关量测量仪器、多路转换开关、调节器、执行器、传感器、报警器、显示器等）。

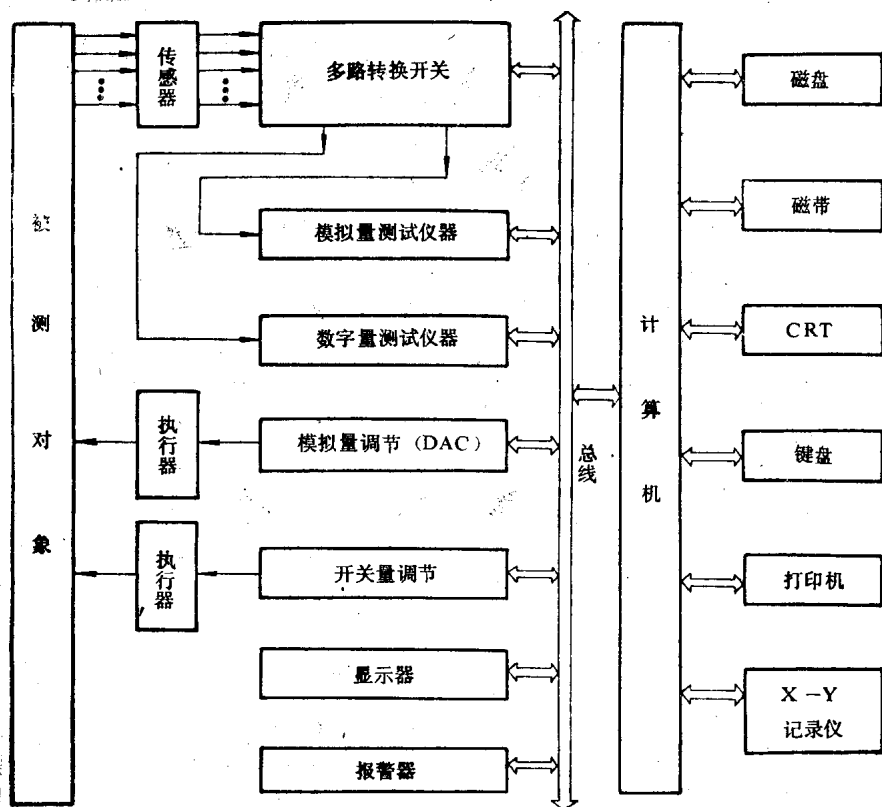


图1-8 在线实时测试系统的组成框图

这二部分用一定的联接方式联接起来。最常用的是采用总线联接方式，如图 中所示那样。计算机作为控制器管理全系统的工作。被测量通常是各种过程的运行参数（温度、压力、位移、转速等），可以是模拟量，也可以是开关量，由传感器转换成电量后，通过多路开关依次接到模拟量测试仪器或开关量测试仪器中进行测量。多路开关受计算机控制，根据其命令来选择不同的测量通路。测试仪器也由计算机来设定其工作状态（测试种类、量程、速率等）并启动其工作。测量结果由计算机接收并进行处理。处理结果可以有以下几种用途：

- 1) 输出给显示器、报警器，进行显示或报警。
- 2) 输出给打印机、X-Y 记录仪进行打印和记录。