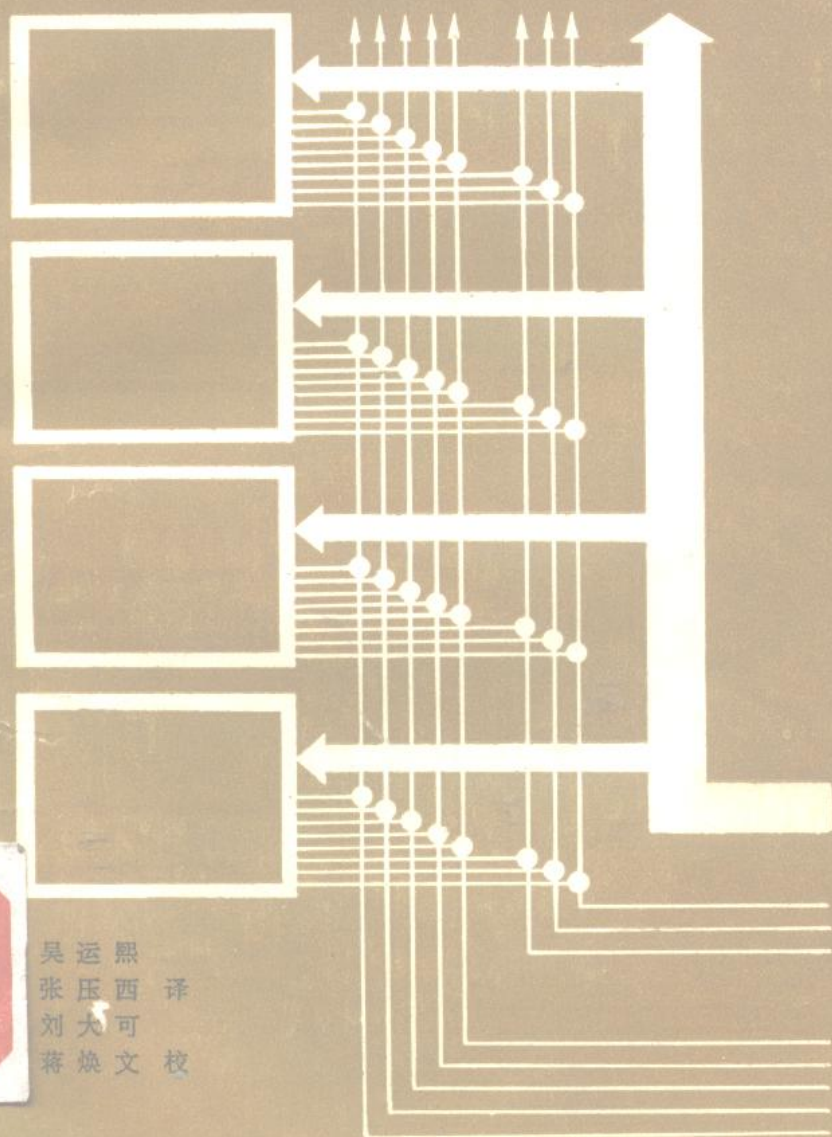


逻辑分析仪



熙西可文 译
运压大焕 校
吴张刘蒋

电子工业出版社

逻辑分析仪

〔美〕约翰·肯尼 著

吴运熙 张压西 刘大可 译

蒋焕文 校

电子工业出版社

内 容 简 介

本书系统地介绍了逻辑分析仪的有关概念,论述了数字系统的工作特点以及对数字系统进行测试的主要内容。对作为系统总线分析仪的逻辑状态分析仪和逻辑定时分析仪的各个方面,本书也有详细的说明且附有大量的应用实例。译者还根据美国 HP 公司的 1615A 逻辑分析仪使用手册编译了“1615A 逻辑分析仪的使用方法简介”附在本书最后,作为对本书内容的补充。

本书在论述上概念清晰、重点突出、简明实用,适合于电子技术领域中从事数字系统和微计算机系统设计和应用的科研人员、工程技术人员阅读,也可供大专院校师生参考。

Logic Analyzers for Microprocessors

JOHN KNEEN

Hayden Bokok Company, Inc., 1960

逻辑分析仪

〔美〕约翰·肯尼 著

奥运熙 张压西 刘大可 译

责任编辑:魏永昌

*

电子工业出版社出版(北京市万寿路)

山东电子工业印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

开本: 850×1168 1/32 印张: 5 字数: 134.4千字

1985年2月第1版 1985年3月第1次印刷

印数: 8500册 定价: 1.15元

统一书号: 15290·94

译 者 的 话

当前,电子世界正在经历一场深刻的革命,这场革命以大规模、超大规模集成电路和微处理机(μ P)为标志,它使许多传统的理论、方法和技术为之改观,并不断开拓出新的领域。数据域测试作为一项新的测试技术,从七十年代以来,得到了蓬勃的发展,有关的理论、方法和设备不断涌现,至今方兴未艾。七十年代初,逻辑分析仪的问世,标志着数据域测试进入了一个新阶段。十几年来,逻辑分析仪无论在品种上、性能与功能上都得到了迅速的发展,目前,已成为调试和设计复杂数字系统,尤其是 μ P系统的强有力的工具。

对大多数工程技术人员、教学、科研工作者来说,为适应我国迅速发展的 μ P生产、科研和推广应用的需要,他们的工作应该从原来的模拟系统设计转移到数字系统的设计;所需的测量和测试技术也要从原来的时域和频域测试转移到数据域测试,为此,迫切需要这方面的知识。美国约翰·肯尼所著《逻辑分析仪》是一本很好的有关数据域测试仪器——逻辑分析仪的入门书。

作者在这本书里系统地介绍了逻辑分析仪的有关概念。本书前三章论述了数字系统的工作特点以及对数字系统进行测试的主要内容、接着详细介绍了作为系统总线分析仪的逻辑状态分析仪和逻辑定时分析仪的各个方面。最后二章通过实例介绍了逻辑分析仪的实际应用和有关的测试技术。本书在论述上概念清晰,重点突出,简明实用。我们还根据美国HP公司的1615A型逻辑分析仪使用手册编译了“1615A型逻辑分析仪使用方法简介”,附在本书最后,作为对本书内容的补充。

鉴于目前国内还没有一本有关逻辑分析仪的专著和译本,我

们希望这本小册子，对那些准备把自己的知识用于微机控制系统的工程师以及大学生，能有所启示和帮助。

本书由北方交通大学蒋焕文副教授校订，北方交通大学电信系潘行谦同志在译文润色上给了很多帮助。

由于译者水平所限，缺点和错误在所难免，恳切希望读者批评指正。

译 者

1984年7月于北方交通大学

原文编者前言

本书所论述的逻辑分析仪的概念，体现了为寻找数字系统故障而设计的新型诊断测试设备的最新进展情况。

这些设备的发展道路是很有趣的。许多工程师、技术员以至公司的管理部门，对这些设备的含意和结论都很关心并有所了解，这是可以理解的。因为对今天的电子世界而言，且不谈新产品在开发上所遇到的时机和困难，仅就设计任务和诊断要求而论，它正处在深刻革命的初期。

我们可以从元件供应者、产品生产者、用户和测试设备供应者相互间的关系上，看到这些变化的特征。

在六十年代，经典的分析方法是合乎时宜的技术。这些技术是麦克斯韦、傅立叶、海维赛和拉普拉斯等人的数学所开拓的频域和时域的方法。应用这些技术，在种类繁多的测试设备中，仅有少数设备如电压表，示波器、计数器和频谱分析仪，已经演化到便于进行分析工作的程度。更重要的是，无论它们用在实验室、生产部门或现场，在参数测试方法上是基本相同的，只是在可携带性（轻便性）、成本、精确性和复杂性方面有所不同。

集成电路及小型计算机的问世，导致以计算机为基础的系统设计任务猛增，这样就最终引起了产品设计循环过程的修改。它与原先的设计过程的最大差别是，在元件至用户链中增加了一个环节，称为“系统总体设计”环节；其次，确认了应用软件设计、输出输入接口的安排和外设的选择等项在设计中的重要地位。同时，设计者也不需花很多时间设计硬件，仅有的硬件任务只是为了克服两系统部件之间的接口失配而设计必要的变换器、缓冲器及其他必需电路。设计者和故障测试者往往要花很多时间来调试

软件、寻找毛刺或检查噪声容限，为了减轻这些负担，可以借助一台现成的小型计算机去开发另一种计算机系统，也就是说，计算机软件专业团体在计算机中设计了一些仿真程序、汇编程序和编辑程序来帮助设计者或用户较快地开发应用程序。同时，为了加快现场维修速度，诊断程序也被放入软件中。

实际上，计算机内一些新的测试手段已经成为必备的内部功能，但它们对外部来说也是透明的，也就是说，用户不一定知道这些功能的存在，可实际上却在起作用，这样做是考虑到，没有太多接触计算机的大部分工程师，目前仍按节点方法设计电路；一些设计者和维修技术员所用的测试设备也仍是电压表，计数器和示波器。这样，即使诊断程序指出了存在的问题，示波器也仍是查找数字故障的主要工具。

由此可见，这样的工作效率是相当低的。

计算机中的错误，大量的属于信号数据流的错误。例如，标志线没有在适当的时刻建立，存储器地址被读错，错误的指令被执行，信息数据在传输过程中丢失信息比特。这些错误除了偶尔与电子电路故障相吻合外，基本上不属于电气参数的失效，而是由不正确的数据序列所产生的数据错误。就它们的分析方法本身来说，应该列为数据域的分析范围。

进入数据域时代

在很大程度上，经典的测试仪器与迅速发展着的计算机工业的设计，测试要求是很不适应的，所以在六十年代末，数据域分析的概念就逐步形成了。数据域观点的形成，部分地与 HP 公司设计台式计算机、手提式计算机和小型计算机控制系统的经验有关。

节点测试器是最早用于数字系统设计和查找故障的一种工具，它们仍是最便宜的。到七十年代早期，逻辑探头、接线夹、比较器、电流跟踪器、累进计数器已广泛用于查找节点粘连、脉冲动作、开路短路和短脉冲串计数方面。但是，由于数字信号的

时间空间信息内容非常重要，所以除了使用这些简单的测试工具外，人们又根据纠错码理论，增添了更精确的测试技术设备。

或许，压缩大量数据的最有力的方法是以经典的循环冗余校验 (CRC) 方法为代表的。CRC 是对大容量内存进行差错检验的一种方法。基于 CRC 方式的“标记图分析”技术，现正用于数据比较分析的仪器中。这种方法在下面的情况下特别有用：不熟练的操作员在短时间内需要监视、整理和分析大量的数据。由于外来的不正常现象（例如电磁开关的跳动等），要求数字系统设计者对上述技术设备要配合以提供适当的信号校验和必要的缓冲隔离环节；尽管如此，它的耐用性和分析能力通常都大大超过原设计要求。

逻辑分析仪最早被构思为“数字示波器”，但从数字系统设计者方面来进行评价时，确切地说，它只不过是一种类似示波器的工具，并不是“数字化示波器”。此项研究工作是以对偶性方式开始的，也就是说，以 $f(W, E)$ 即字和事件的函数来类似时间域的 $f(V, t)$ 即电压和时间的函数，这样对比类似的结果，就允许研究人员建立类似示波器函数的触发字条件。

取样的数据也有了不同的意义。换句话说，取样理论曾一直被用于连续量高频现象的频闪重现的开发，可是，在七十年代早期，状态变量和算法状态机 (ASM) 成为很流行的课题，而且状态流数据表的表示法是这方面研究工作的明显成果。所以，取样数据理论就从对连续现象的时域分析方法，转移到非连续现象或确切地说对离散型事件-时间现象的数据域分析方法。

一个重要的见解是，为了描述系统特性，在每一个事件-时间单位内，必需收集的数据总量应是多少。程序计数器、指令寄存器、累加器等等含有特定的编码数据，这些数据共同描述一个事件-时间单位内的机器状态。另外，大多数数字系统具有能对外部来的数据进行操作的能力，如能加、减、乘、除，能根据数据比较结果作出分支判定，能累加、存贮和处理更多的数据。为了

选择数据域分析方法作为分析数字逻辑机的手段，人们必须既要了解与数字化数据工作有关的机器外部功能，又要了解与数据序列有条理的流动有关的机器内部操作运算。

数据域分析，从作为数字机的内部数据序列和它的外部数据操作的函数的观点来看，被认为是一组与设计、监视和修正数字机的性能有关的分析技术。

探测故障问题

数据域中的问题是以非正常的数据序列表现出来的。应该指出，不管它们的原因是功能方面的还是电气方面的，故障问题的效应总是功能性的，也就是说，错误数据仍被传输，甚至对噪音或电压容限的测试也是如此，所以，第一步的分析是查出数据流序列中的错误。

用外部测试设备在数据流中寻找问题，首先要捕获数据，初步的整理和给用户以显示。然后还需要进行数据的记录寄存或两系统之间的同步。为了满足这些需要，HP 公司在1973年介绍了两种逻辑状态分析仪——其一为并行数据字的，其二为串行的。同时，Biomation 公司介绍了并行字逻辑定时分析仪。那时，这些仪器的容量虽然很小，但它们的概念及其在1973年的“一片集成电路的计算机”的革命中的应用，却在电子测量界引起很大震动。

今日的仪器

经过若干年的实践，今天的测量界已经出现了几个明显的分支发展方向。我们可把它们划分为三类：开发系统，总线分析仪和节点测试器。我们已提到过节点测试器。逻辑状态和定时分析仪属于总线分析仪一类。开发系统是以提高数字系统设计的时间效率，或者说是以加速数字系统的设计为目标而形成的测试工具，它主要用于软件和集成电路的开发。今日的仪器，它们常常包括嵌入式逻辑分析仪。本书集中讲述逻辑分析仪。

系统总线分析仪

当已知某一产品或组件失效时，节点测试器具有重要的使用价值。当遇到探知一个系统的哪一部分有故障这种较困难的任务时，总线分析仪就有用了。例如，一个整机系统有一个中央单板计算机，两个磁盘存贮器，两个数据输入终端和二十个联机过程控制变换器。我们完全可以做到，把上述四种外围设备组成一个或几个单独的微型机系统，这样就形成某种类型的多计算机网络系统。试通这一网络的事务数据交换，是寻找故障的第一件重要的事。

我们可以把总线区域划分为三个主要的区：CPU、I/O和外围。CPU总线结构的有关参数与时钟速度是同步的，通常时钟频率为3MHz。总线的含意包括地址总线、数据总线和控制总线与CPU总线区相比，I/O总线是在高达10MHz的速度上，进行异步的多路的数据传输，甚至有时在一个系统中可以进行长距离的数据传输。所以，由于种种原因，I/O总线区相对于CPU总线区来说，可能较多地碰到诸如竞态条件，噪声尖峰脉冲、毛刺等大问题。如果这些问题存在，由于多路体系结构及某特殊点上数据流的原因，将很难跟踪它的源。

CPU和I/O总线通常是并行总线，这意味着，在不管其他特性的情况下，仅就数据格式来说两者可能是相同的。外围的总线通常应用数据传输，这就需要进一步编制数据格式，而且它们是长线，数据传输速率很慢，毛刺不很明显；当然在成批数据传输（例如横跨欧洲大陆进行数据传输）时，毛刺就可能明显了。

应该认识到，设计、安装和维修一个通用计算机网不是一件轻松的事，一个简单的测试器是不能胜任的。现在我们可以定义能胜任各种应用场合的通用测试仪器了，这种通用测试仪应该用到上述计算机网的设计，安装和维修工作中去。

本书所叙述的现时第二代逻辑分析仪的构成有如下特点：

一、查找大多数属于总线分析的故障问题,这些问题多少与各个区的总线有关,并且在很大程度上包含交叉总线事件相关性;二、对链循环和嵌套循环有着很强的选择数据跟踪的功能。

在把这些与很强的设计和分析功能的仪器有关的概念,介绍给有潜力的用户和教师的时候,应该承认,约翰·肯尼在逻辑分析仪的早期开发中的精力、热情和贡献是重要的。这本书是约翰·肯尼在逻辑分析仪开发活动中的副产品。同时,本书对初设计者、准备把自己的知识用于微机控制系统的工程师以及大学生来说,是有价值的奉献。

未来的方向

当然,原始的数据域原理仅是起源,重要的是,我们应该承认数据域分析方法的广度不仅包含字-事件的局部事务处理,而且包含整个全局的数据状态-空间处理的实况。因此,它包括事件-流动的统计方式(例如直方图、重复的CRC和,甚至遍历性的相关性)。人们认为数据域分析方法的数学已经存在,但到目前为止,尚没有把这些数学有机地用到这些测试设备中来。

我们已经进入八十年代,数据域分析设备将在工业界普及。超大规模集成电路(VLSI)的出现及它们的不断扩充,不仅为我们的社会提供低造价、高性能的产品,而且提供了改变我们的设计和测试的指导思想的机会。数据域分析工具使数字系统设计者们运用自顶向下的设计方法成为可能——这种设计使我们考虑的不仅是结构块程序语言,而且还有结构块集成电路的布局以及结构块诊断和测试程序。

本书中叙述的仪器及其在数据域分析域技术中的开拓,将继续把由超大规模集成电路(VLSI)引起的电子革命推向前进。

察尔兹·豪斯

于美国科罗拉多州

目 录

逻辑分析仪

第一章 数字系统测量	1
1.1 引言	1
1.2 以处理机为基础的系统	1
1.3 示波器的限制	3
1.4 必要的数字系统测量	5
功能测量	5
所要求的测试能力	6
第二章 逻辑状态分析仪	9
2.1 引言	9
2.2 显示	10
二进制表格	10
定义格式的表	12
图象显示	14
2.3 时钟控制	18
2.4 触发	20
基本触发	20
延迟或变址触发	23
使能及顺序触发	25
计数触发	27
触发限定	30
结论	31
2.5 选择跟踪	31
2.6 计数测量	32
2.7 分析仪/示波器配合测量	33
2.8 监测计算机系统	35

引言	35
例1: MOS技术的 MCS6502	36
例2: Intel8085	37
例3: PDP-11小型计算机	39
例4: 长字交替处理	41
2.9 结论	42
第三章 逻辑定时分析仪	44
3.1 引言	44
3.2 定时分析仪的分辨率和时滞	46
3.3 测试信号特性	48
3.4 定时分析仪的异步触发	49
3.5 毛刺检测	54
3.6 毛刺触发	56
3.7 状态分析仪和定时分析仪的相互作用	58
3.8 结论	59
第四章 逻辑分析仪与标准输入/输出总线	61
4.1 标准测量母线 IEEE-488	61
4.2 监测串行数据总线	66
简介	66
串行同步数据总线的监测	68
串行异步数据总线的监测	71
串行总线控制线的监测	72
4.3 母线控制下的逻辑分析仪	72
第五章 逻辑分析仪应用示例	77
5.1 引言	77
5.2 状态分析仪测量	78
测量1: 微处理机的启动	78
测量2: 跟踪触发事件	81
测量3: 触发字的出现次数	86
测量4: 中断监视	88
测量5: 突然故障	90
5.3 定时分析仪测量	90
测量1: 数据总线上的定时关系	90

测量2: 瞬变状态触发	93
测量3: 跟踪毛刺	96
5.4 状态与时间测量的相结合	96
测量1: 定时分析仪触发状态分析仪	96
测量2: 状态分析仪触发定时分析仪	100
5.5 串行分析仪测量	104
测量1: 监测一个RS-232C总线	104
测量2: 捕捉超时错误	109
测量3: 仿真	111
附录 逻辑分析仪的术语和定义	112

1615A逻辑分析仪使用方法简介

第一章 1615A逻辑分析仪概述	126
1.1 引言	126
1.2 逻辑分析仪的数据采集	126
1.3 清单的概念	127
1.4 状态分析	128
1.5 定时分析	128
第二章 1615A逻辑分析仪的操作	129
2.1 键盘和面板	129
2.2 24位模式(状态分析)	134
2.3 8位模式(定时分析)	138
2.4 16位与8位模式(状态与定时分析)	143

第一章 数字系统测量

1.1 引言

现代数字系统多数是以处理机为基础的。起初,人们利用现代集成电路技术把多器件电路集成在一块芯片上,以提高电路的可靠性。微处理机是集成电路发展的必然结果,且它还有其它一些优点。微处理机强有力的功能可以执行各种任务,因此,为执行特定任务可以用强有力的软件功能来代替硬件功能。此外,由于微处理机是软件控制的,所以其系统功能可以迅速改变,而不需要进行昂贵的硬件修改。然而,微处理机系统也有它自己的问题,其中之一就是如何监测和分析系统的运行,这也正是本书要解决的问题。

1.2 以处理机为基础的系统

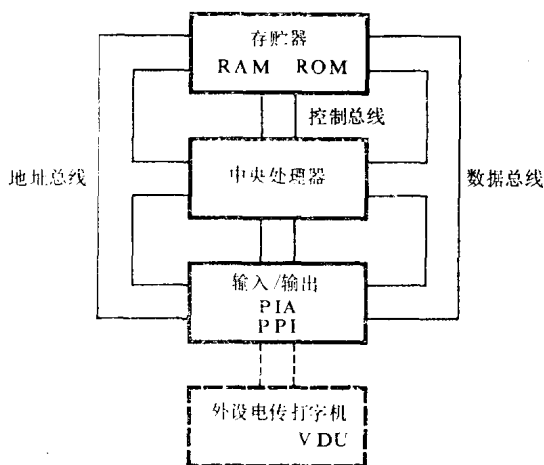


图 1-1 典型的微处理机系统

以处理机为基础的大部分现代数字系统可由图 1-1 的方框图来表示。尽管这是个简单系统，可它也有 28 根线（16 根地址线，8 根数据线和 4 根控制线），监测这些线，可以全面描述系统内部的运行。若对输入输出也进行观测，那么，对监测设备的要求还要增加。

处理机系统的三种总线各具有不同的特性，因此监测设备也必然具有不同的功能。地址总线 and 数据总线上所载信息是与一根或多根控制线或时钟同步的，出现在这些总线上的信息仅与相应的时钟有效沿有关。对控制线和并行的输入输出线来说，重要的是

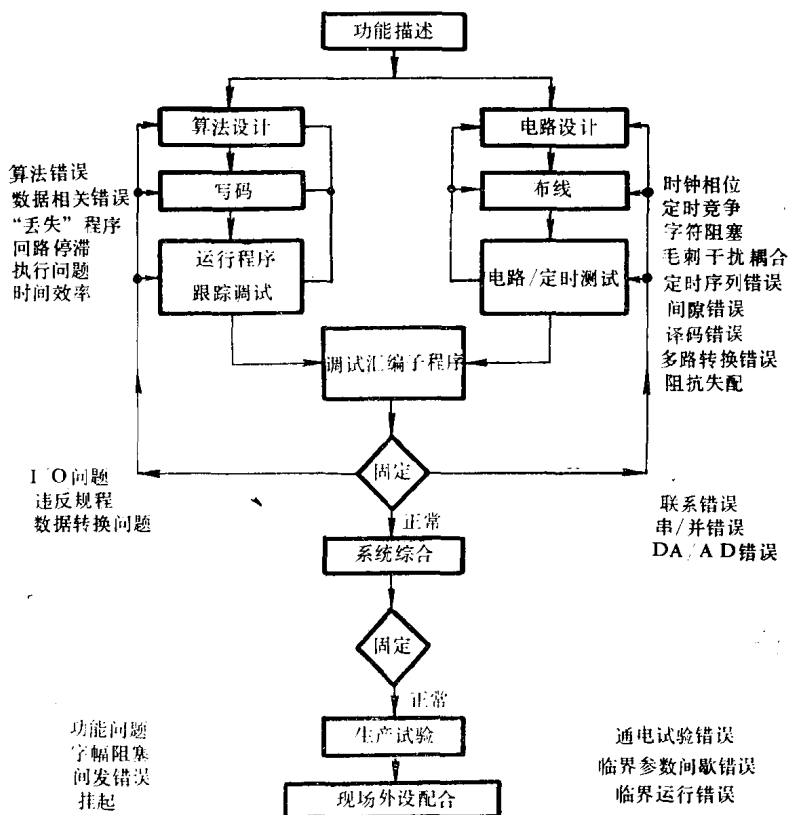


图 1-2 数字系统开发过程

反映不同线上状态变化的时间序列,而在串行的数据口或总线上,字和成帧两者都是重要的。

数字系统的生成周期如图 1-2 所示。一旦设计任务确定,其开发过程就需沿着两条路径进行。软件设计组集中在生成码的研究上,硬件设计组则主要是存贮器和接口设备的开发。最后,还需把两条路径合到一起再进行开发。当设计经过充分试验后,就投入生产,直到投入使用。在系统开发的不同阶段,需要不同的监测功能。在开发阶段,监测设备的功能应相对精巧、完善;在生产阶段,重要的是高速测试;在使用现场,轻便和易操作是主要的。上述这些测量所要求的指标的意义,将在后续章节中讨论。

1.3 示波器的限制

过去,常用的测试设备是供静态测试用的万用表和供变化的或与时间有关的信号测量用的示波器。示波器是显示电压信息(例如上升和下降时间,振铃、过冲信号或信号通道和节点上的脉冲宽度)的理想设备,但是能显示多于两个数据通道的示波器却很少,而在现代数字系统中有许多节点应同时观察。原来在监测总线的工作中,操作员先选用一个通道作为参考,再依次测量其他各线。这虽然不能令人满意,但许多年来,这竟是唯一可行的办法。

解决这个问题的一個办法是研制多通道示波器。但是,这样的示波器的研制受到了很多条件的限制。如工作在交替方式下,被测系统必须是重复动作的,并需提供触发信号去同步示波器上显示的全部波形。早期的数字系统故障查找仪器的制造者们意识到了这种触发问题,他们生产了一些设备用于数字系统的字样式识别。图 1-3 显示的是一组没有被正确同步的信号,因此,把应该显示的一组十进制序列的 0, 1, 2, 3, …… , 误显示成了一组十六进制序列的 AB4545。在断续工作方式中,示波器有一个最大断续频率,它只有几兆赫,这个频率与典型的被测系统的