

微机系统测试 仪器与技术

赵振业 李箴贻 蓝桂芬

天津大学出版社

✓

微 机 系 统 测 试 仪 器 与 技 术

赵振业 李箴贻 蓝桂芬

内 容 提 要

本书介绍数字电路及其系统测试所用的各类微机系统仪器和有关技术。全书共五章,内容依次为数据域测试基本概念、数字电路的简易测试、逻辑分析仪原理及应用、微型计算机开发系统和仿真技术、特征分析和微机系统故障检测。各章后附有复习思考练习题。

本书可作为电子技术、电子仪器及测量技术、微机应用技术等专业的本科学学生教材,也可供有关数字及智能化电子设备的研制、生产、检测和维修人员参考。

(津)新登字 012 号

微机系统测试仪器与技术
赵崇业 李藏殆 蓝桂芬 编

★
天津大学出版社出版

(天津大学内)

新华书店天津发行所发行

★
开本:787×1092 毫米 1/16 印张:9.5 字数:237 千字

1994 年 8 月第一版 1994 年 8 月第一次印刷

印数:1—1000

ISBN 7-5618-0700-7
TP·62 定价:7.60 元

前 言

数字技术的发展，特别是微处理器的广泛应用，使许多电子产品朝着数字化和智能化方向迅速发展。这类产品的研制、生产及维修各阶段都离不开必要的测试。由于数字信号系统与模拟信号系统不同，因此，许多传统的测试仪器（如示波器、电压表）已显得很不适应。对数字电路及其系统进行有效的测试及快速开发微机化产品，已成为电子科技人员迫切需要解决的问题。数域测试仪器及技术正是在这种形势下产生，进而迅速发展起来的。目前各种类型的测试仪器已日趋完善，并获得了广泛应用。

本书是作者近年来在讲授“电子仪器及数域测试仪器”课程的基楚上，参考了国内外有关资料编写而成的。书中简要介绍了数域测试的概念，数字信号的特点及目前数字电路测试仪器的概况。比较详细地讨论了微机系统研制开发、使用维修中最常用和最典型的仪器及技术。其中包括了逻辑分析仪的工作原理和应用技术；微机开发系统的功能和在线仿真技术；特征分析法检测数字系统故障的原理和微机系统故障检测仪。编写中力求做到阐述清楚，简明实用。本书可作为电子技术、电子仪器及测量技术及微机应用等专业本科生的教材，也可供电子设备、特别是微机化电子设备的研制开发、生产检测及维修人员参考。

本书由赵振业主编，并编写了一、二、三、五章；第四章由李箴贻执笔；蓝桂芬参加了本书的部分编写工作。

在编写过程中，王慧云教授主审了全部书稿，并提出了许多宝贵意见。骆群同志为本书绘制了插图。还得到本校电子系电子仪器及测量技术教研室同志的帮助，在此一并表示诚挚的感谢。

由于作者水平有限，书中错误和不妥之处在所难免，恳请读者批评指正。

编 者

1993 年于天津大学

目 录

第一章 绪论	(1)
§ 1.1 数据域测试的基本概念	(1)
一、数字系统测试的必要性	(1)
二、数字系统中信号的特点	(1)
三、数据域分析的概念	(3)
四、数据域测试的主要任务和方法	(4)
§ 1.2 数据域测试设备概述	(5)
一、数字电路测试设备的发展	(5)
二、数据域测试设备概述	(6)
思考题	(7)
第二章 数字电路的简易测试	(8)
§ 2.1 简易逻辑电路测试工具	(8)
一、逻辑探头	(8)
二、逻辑脉冲发生器	(10)
三、电流跟踪器	(11)
四、逻辑夹	(11)
五、逻辑比较器	(12)
§ 2.2 简易测试工具的应用	(13)
一、检查线路上的脉冲活动	(13)
二、开路和短路测试	(13)
三、使用电流跟踪器诊断故障	(14)
思考题	(15)
第三章 逻辑分析仪	(16)
§ 3.1 概述	(16)
一、逻辑分析仪的主要性能	(16)
二、逻辑分析仪的基本工作原理	(19)
§ 3.2 数据捕获	(22)
一、探头	(22)
二、时钟处理	(24)
三、输入方式	(28)
§ 3.3 触发逻辑和数据存贮	(32)
一、触发字的预置和识别	(32)
二、触发方式	(36)
三、定时分析中触发的特殊问题	(38)
四、数据存贮	(40)

§ 3.4 逻辑分析仪的显示	(43)
一、常见的显示方式	(43)
二、状态表显示的实现方法	(47)
三、定时图显示的实现方法	(53)
§ 3.5 逻辑分析仪应用举例	(55)
一、软件测试	(55)
二、硬件电路测试	(60)
三、交互分析的应用	(62)
思考题	(69)
第四章 微型计算机开发系统	(70)
§ 4.1 概述	(70)
一、什么是微型计算机开发系统	(70)
二、微型计算机开发系统的分类	(71)
三、开发系统的结构和组成	(72)
四、实例	(73)
§ 4.2 软件研制工具	(74)
一、操作系统和文件管理	(75)
二、监控程序	(76)
三、编辑程序	(77)
四、宏汇编程序	(78)
五、模块化程序设计	(78)
六、调试程序	(80)
§ 4.3 在线仿真器	(81)
一、ICE80 的基本组成和功能	(81)
二、ICE80 的硬件系统	(82)
三、仿真器软件	(83)
§ 4.4 通用和多用户开发系统	(92)
一、系统体系结构	(92)
二、多用户分时操作系统	(95)
三、MDL/ μ 和 PASCAL 语言	(95)
四、仿真调试工具	(96)
§ 4.5 单片机开发系统	(99)
一、主要功能	(99)
二、硬件结构	(100)
三、监控程序简介	(103)
思考题	(109)
第五章 特征分析和微机系统故障检测仪	(110)
§ 5.1 特征分析的原理	(110)
一、线性反馈移位寄存器	(111)

二、伪随机二进制序列	(113)
三、利用 PRBS 发生器检测错误	(115)
四、特征分析检测故障的准确率	(116)
§ 5.2 特征分析仪	(118)
一、特征分析仪的组成	(118)
二、HP5004 _A 特征分析仪	(123)
§ 5.3 可测性“特征”设计	(126)
一、特征激励	(126)
二、故障字典	(128)
§ 5.4 微机系统故障检测仪	(130)
一、微机系统的特点及测试	(130)
二、微机系统故障检测仪基本组成	(131)
三、检测仪的主要测试功能	(133)
§ 5.5 9010A 微机系统故障检测仪简介	(135)
一、9010A 检测故障的基本思路	(135)
二、主要性能	(135)
三、基本工作模式	(136)
四、主要测试功能	(137)
思考题	(143)
主要参考文献	(144)

第一章 绪 论

§ 1.1 数据域测试的基本概念

一、数字系统测试的必要性

测量或测试是揭示客观世界规律、用数字语言描述周围世界、进而改造世界的重要手段。电子测量技术的发展与自然科学，特别是电子技术的发展互相促进、互相推动。

大规模、超大规模集成电路出现以来，电子世界正经历着一场深刻的革命。由于这类器件体积小、重量轻、功能强、价格便宜，受到各行各业的重视。各种电子设备大都应用集成电路，以极快的速度朝数字化、集成化、智能化方向发展。许多电子设备的研制开发与使用维护都必须与数字电路及数字系统打交道。数字技术的深入发展使得许多传统的理论方法和技术为之改观，数据域测试技术及相应的测试仪器正是在这种情况下产生并发展起来的。

例如，电子仪器引入微处理器实现了智能化，其设计过程及各个环节的测试方法都出现了许多新变化。为完成某种功能而设计一个数字系统，一旦任务确定之后，开发研制需要沿两条路径进行必要的硬件电路及相应的软件设计。软件设计人员集中在生成码的研究上，按功能要求编写并调试程序，在这个过程中，可能会遇到算法错误、数据相关错误、丢失程序、执行错误等问题，需要一定的测试手段来解决；硬件设计人员根据任务要求，进行微处理器、存贮器、输入输出接口及有关电路的设计与调试，在这些工作中，经常会遇到毛刺干扰、耦合定时和译码等错误，也离不开必要的测试。同时由于软件、硬件必须统一仪器才可能满足原设计的要求，因此，还需要把两部分结合起来再进行开发，对系统检查调试。不管哪部分有故障，都应该返回去，检查修改，直到系统能正常执行原设计功能，才能进行系统综合。开发研制固定后，要进行生产性实验。对各个环节、各个部件及整个系统进行检验性测试，以保证整个系统的质量和可靠性。即便仪器已投入正常使用，还需要维护性测试。当然，仪器出现故障，更离不开对整个系统乃至各个部件的检测，寻找故障进行修复。另外，数字系统使用的元器件，也要检测，剔除故障件，提高产品的合格率和可靠性。总之，从元器件到系统，从研制到使用，要进行各种必要的测试。没有正确的测试，就很难有合格的系统。

二、数字系统中信号的特点

数字系统与模拟系统在测试上有很大差别，许多传统的测试仪器显得很不适应甚至无能为力，这主要是数字系统及使用的信号有自己的特点，使测试对象、测试内容、测试方法和测试仪器都出现了新的问题。下面，简要介绍数字信号的特点，并说明对测试仪器的要求。

1. 数字信号以二进制数据为基础

数字信号以二进制数据为基础。通常用高电平来表示逻辑“1”，用低电平表示逻辑“0”

不同类型的器件，如果都是逻辑“1”，实际电压的高低是不一样的。例如：TTL 器件，电压在 2.4V 以上表示“1”；ECL 器件，电压在 $-0.8\text{V} \sim -0.9\text{V}$ 就表示“1”。一般来讲，通常规定一个门限电平，称为阈值电平。高于门限电平的电压表示“1”，低于门限电平的电压表示“0”。例如：TTL 器件，阈值电压为 1.4V；CMOS 器件，阈值电压为 2.5V；ECL 器件，阈值电压为 -1.3V 。因此，对数字信号的测试，首要的检测是“1”还是“0”，至于它的电压值是多少、精度有多高，已不象测试模拟信号那样必要了。这就要求数字系统的测试仪器必须有检测和识别逻辑“1”还是逻辑“0”的能力。

2. 数字信号通常按时序传送

为完成数字系统的逻辑功能，系统通常按一定的时序工作，系统中的信号都是有序的信号流。例如计算机的取指周期、读周期、写周期，读写信号、地址、数据信号都按一定的时序工作。再如，逻辑电路中各信号间有一定的逻辑关系。因此，测试各信号间的时序关系和逻辑关系就成了数域测试常见的任务。

3. 信号多是多位传输

数字信号经常在总线中传输，一个数据字、一条计算机指令或地址都是多位组成的。用示波器等时域仪器测试这些信号，显得能使用的通道数太少了。典型的数域测试仪器应能同时进行多路测试。

4. 信息的传递方式多种多样

数字系统的结构和数据的格式差别很大，数据传递方式也是多种多样的。例如，同一个计算机系统中，数据信号可能有同步传送和异步传送，可能有并行传送和串行传送。在有些微机化的仪器中，总线是复用的，同一条线有时传送的是数据，有时传送的是地址。这就要求在测试中，注意仪器的结构、数据的格式和数据的选择，要善于捕获有意义的数数据，数据显示应考虑便于对捕获的数据作出解释。

5. 数字信号的速度变化范围很宽

数字系统内信号的速度变化范围很宽，而且在一个系统中，高速信号和低速信号往往同时存在。例如，计算机系统就是高速工作的主机和低速工作的打印机同时工作。为适应这种速度的差异，目前数域测试仪器采样频率几赫芝到上千兆赫芝，在有些仪器中还特别考虑了同时采样不同速度数据的要求。

6. 信号多是单次或非周期的

数字系统和微计算机系统的数据流多是单次或非周期性的信号。这一特点决定了它难以用通用示波器等传统仪器检测，而需要测试仪器具有存贮功能。此外，在长长的数据流中，如何捕获、存贮和显示所需的那部分信号，也是数据域测试仪器要考虑的问题。

7. 数字系统故障判别与模拟系统不同

模拟系统故障往往表现在电路中某些节点的电位不正常，在相同的激励下，节点波形也与正常情况不同。数字系统故障现象与模拟系统不同。例如，某个元器件损坏，可能导致某些节点出现固定“0”或固定“1”的故障；不正确的硬件或软件设计，可能导致某些信号之间的时序关系不满足要求；干扰信号可能导致某些电路的误动作等。由此可见，数字系统故障不在于信号波形及电位的变化，而在于信号间的逻辑关系是否满足要求，当不满足规定的逻辑关系时即发生故障。数字系统中的错误数据流往往混合在正确数据流之中，甚至有时发现故障时，产生故障的原因早已过去，要求数据域测试仪器能从长长的数据流中

检出也许是很少的错误数据。为了寻找出故障的原因，数据域测试仪器不但应能存贮和显示出错后的数据，还应能显示出错前的情况。

三、数据域分析的概念

从数字系统和数字信号的特点来看，它们的测试及分析与模拟系统不同。微处理器问世前，电子仪器以模拟电路为主，相应的测试技术主要是时域分析和频域分析。时域分析，以时间为自变量，以被观测的信号如电压、电流、功率等为因变量进行分析。例如，示波器常用来观测模拟信号电压随时间的变化，在示波器屏幕上可显示出电压随时间变化的波形，是典型的时域测试仪器。频域分析，是在频域内描述信号的特征，其自变量是频率，因变量是电压、放大倍数等参数。例如，频谱分析仪就是以频率为自变量，以各频率分量的信号值为因变量的。时域、频域分析的典型显示如图 1-1 所示。

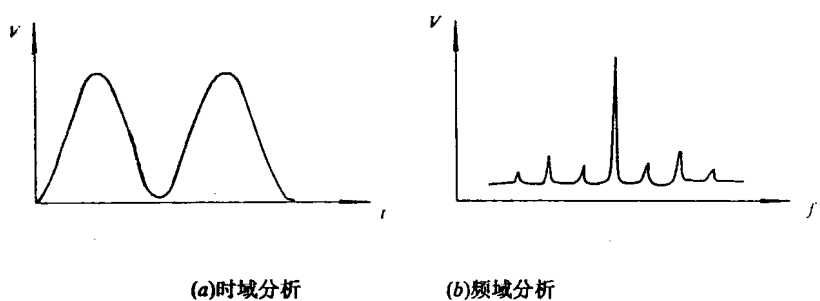


图 1-1 时域、频域分析的典型显示

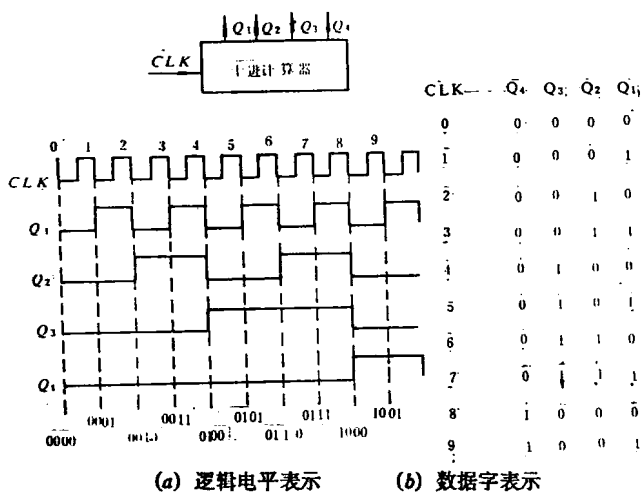


图 1-2 数据域分析

在数字化设备中，使用、传送和处理的多是数字信号，且往往要在时钟信号的作用下同步工作。例如，一个简单的十进制计数器，自变量是计数时钟的作用序列，输出值是计数的状态。计数器的计数状态可看成由 4 位二进制码组成的数据流。该数据流可用各有关位在不同时钟作用下的高低电平表示，也可用在时钟序列作用下由各信号状态二进制码组

成的“数据字”表示。数据域分析如图 1-2 所示。这种在离散时间内收集数据的分析方法称为数据域分析。

除用离散时间作自变量外，数据域分析还可用事件序列作自变量。当然，上述计数时钟的出现也可看成一种事件，只是这种时钟是等周期的，计数器的输出是等间隔时间的数据流。在不少情况下，所研究的数据流不一定是等间隔出现的。例如，在分析 GPIB 接口系统工作时，要检测微计算机发出的接口消息，要分析各次 $ATN=1$ 时 8 条数据线上的数据，而 $ATN=1$ 的出现通常就是非周期的事件。

在数据域分析中，一般关心的不是被测线上电压的确切数值和测量的准确程度，而是要知道被测信号处于逻辑高电平还是低电平，要了解各信号互相配合在整体上表示什么意义，这就与仪器的结构、数据的格式等都有关系。例如，在检测 GPIB 接口消息时，就应了解仪器包含三组总线，被测接口消息是在 8 条数据线上编码传送，只有 $ATN=1$ 时，数据线上的信息才是接口消息。在数据有效时，检测出 8 条数据线的电平按不同规律排列，可以表示不同的指令数据和地址，所以通常认为，数据分析是用数据流、数据格式、仪器结构和状态空间概念表征的数字系统特征。显然，为了获得数字系统特征，就要对数字系统及各个部件测试。要实现数据域测试，一定要有相应的测试技术和测试仪器。

四、数据域测试的主要任务和方法

从上面讨论可知，不管是数字仪器的开发研制阶段，还是使用维修阶段，都可能发生这样那样的故障。故障可能是器件级的，也可能是部件级的，还可能是系统级的；既可能是硬件方面的，也可能是软件方面的。例如，集成电路内某处机械断裂、氧化层缺陷会使器件失效；印制电路板上出现不应有的短接或断路，会引起某功能块出现故障。数字电路的故障是多种多样的，产生的原因也是多种多样的，后果首先是影响逻辑级，进而使系统功能与设计的规定不一致。为了解决这些问题，关键是通过适当的测试诊查出故障。

数据域测试的基本任务主要有两个：一是判断器件或系统的好坏，即检查是否能实现预期的逻辑功能；二是发现有故障，应进一步查明其部位、性质和原因，即故障定位。这两项统称故障诊断。

故障诊断，测试对象可能是整个系统，可能是某个功能部件，还可能是一般的逻辑电路或元器件。显然，逻辑功能越复杂，测试越困难；复杂程度不同，测试方法也不同。例如，对低级别的逻辑电路，一般可根据线路结构设立故障、寻求测试，这种结构测试法与实际线路较接近且有利于故障定位。对于部件级，如微处理器、存储器等大规模集成电路芯片，本身具有很强的逻辑功能，内部由成千上万晶体管或逻辑门组成，外部只有为数不多的可测引脚，因此，只能进行功能性测试。当然对于整个系统，功能性测试更是常用的方法。在产品开发研制过程中，应首先测试所用的元器件，进而测试各功能部件，最后测试整个系统。在使用维修过程中测试路径相反，首先检查整个系统的功能性故障，通过故障分析尽可能缩小故障范围，然后从大到小逐级检查，直到找到故障元器件或故障部位。应根据不同情况，按不同路径进行测试，这对减少测试费用有利。

实现数据域测试。应根据测试对象和测试条件的不同，采用不同的方法或技术。通常采用的方法和技术有：

1. 实装法

实装法或称替换法。这种方法是对怀疑的元器件或功能部件,用已知良好的同类元器件替换,看系统是否正常工作,进而判断所怀疑的部分是否存在故障。替换后系统正常了,则说明原怀疑正确,否则说明故障不在这里。这种方法简便易行,不需要对被测系统深入了解,但需要有备用元器件或功能板,成本较高。

2. 比较法

比较法是常用方法之一。例如,将一系列的输入信息同时加到标准电路和待测电路上,通过比较两者的输出是否一致,判断被测电路是否存在故障。当然不同情况比较的内容或方式不同,有的用对应数据比较,有的用输出图形比较,有的进行功能性比较。

3. 运行跟踪法

这种方法是让系统处于运行状态,通过测试仪器捕获并显示有关节点或线上数据活动情况,通过对显示结果的分析进而判断和查找故障。显然,这种方法应对被测系统有深入的了解。

4. 激励响应法

给被测电路或系统施加一定的测试激励图形,从其响应判断被测电路是否存在故障。电路越复杂,需要的测试激励也越复杂。产生测试图形的方法可通过一定的算法用硬件电路实现;也可以把需要的图形存入存贮器中,需要时按要求的条件取出得到激励图形;还可采用软件程序产生。

5. 特征分析法

采用数据压缩技术,把被测系统中某测试节点的数据流变换成几位简明易懂的特征字符,通过与正确特征比较,判断电路是否存在故障。

6. 机联仿真测试

仿真测试适用于微机化的系统。用仿真取代被测系统中的微处理器,并帮助被测系统把软件和硬件结合起来,通过仿真器对被测系统的存贮器、输入/输出口进行读写检查,也可逐条执行用户程序,跟踪流程及检查指令执行结果。这种方法是微机系统硬件研制或软件联试的有力工具。

7. 微处理器系统的自检测试

由于微机化产品中内部应用了微处理器,借助它强有力的逻辑判别功能和灵活的测试能力,可在仪器研制阶段,在基本上不增加硬件电路的情况下,利用灵活自如的软件操作和逻辑判别,增加一些供自检测用的软件,对仪器本身电路自检测试。这就为用户和维修人员提供了很大的方便。

§ 1.2 数据域测试设备概述

一、数字电路测试设备的发展

在数字电路使用的初期,测试主要靠人工查找故障,如在待测电路的输入端加上信号,然后借助示波器等仪器观察输出波形,看是否属于正常的响应。显然,这种方法对测试人员的技术水平依赖性大,复杂电路的测试也很难实现,特别是对内部电路复杂、外部可

测节点少的中、大规模集成电路更显得很不适应。从 60 年代开始,陆续提出了诊断组合电路的通路敏化法、D 算法等方法,和系统诊断理论,人工诊断逐渐被机器诊断代替。各种数字测试设备也不断涌现。70 年代初,逻辑探头累进计数器测试工具广泛应用于查找节点粘接、开路、短路和脉冲串计数等方面。微处理器问世后,数据经常多路并行传输,简单的测试工具已不适应。1973 年,能同时观测多路数据的逻辑分析仪首先在美国出现,十几年来发展十分迅速,成为数字系统测试的有力工具。70 年代出现了特征分析仪。近年,出现了微机系统故障检测仪,为数字系统的现场检测提供了新的技术和设备。

随着微处理器广泛使用和微机技术的深入发展,许多测试设备和微计算机结合在一起,构成多种多样的自动测试系统,如微机开发系统印制板自动测试系统及大规模集成电路测试系统等。相信,随着科学技术的不断进步,数据域测试技术会更加迅速地发展。

二、数据域测试设备概况

数据域测试概念是逻辑分析仪出现后才开始强调的,当时认为数据域测试的典型仪器是逻辑分析仪。数据域测试设备发展非常迅速,仅十几年的时间,为适应数字电路和微机化系统测试的需要,出现了微机开发系统,特征分析仪及大规模集成电路测试仪等测试仪器。究竟哪些仪器归属数据域测试范畴,可能有不同的看法。从广义理解,可把对数字电路或数字系统开发、运行、跟踪测试和故障检测等仪器都归属这类设备。

1. 简易测试工具

简易测试工具主要指逻辑探头、逻辑脉冲发生器、电流跟踪器和逻辑夹等检测工具。它们一般结构简单,使用方便。逻辑脉冲发生器能给数字电路节点注入单个脉冲或脉冲串,类似模拟电路测试中的信号源。逻辑探头可检查节点的逻辑电平或信号。这类工具对粗略地检查逻辑电路的开路、短路等故障简单且有效,缺点是难以观测复杂的数字信号及活动情况,使用局限性大。

2. 逻辑分析仪

逻辑分析仪类似检测模拟电路的示波器,是最基本的数据域测试设备。被测系统中的多路数据信息经采样电路存入存贮器,存贮的信息以各种方式进行显示。若采样时钟由被测系统提供,称逻辑状态分析仪,多用于跟踪软件程序运行;若采样时钟由分析仪内部提供,称逻辑定时分析仪,多用于硬件电路检测分析。分析仪内设有相应的触发逻辑电路,触发功能十分丰富,能把人们感兴趣的数据段信息寄存在存贮器中,以供分析。

逻辑分析仪属响应型仪器,它本身不能对被测系统进行控制,只能测量被测系统运行的动态情况,要求检测人员对被测系统有比较清楚的了解。

3. 在线仿真和微机开发系统

在线仿真和微机开发系统是在微型计算机基础上发展起来的。微机开发系统最重要的硬件工具就是仿真器,它可以在微机开发系统控制下对被测系统中的 CPU 进行实时仿真,进行诸如程序装入、程序受控运行、断点设置与清除、存贮器及 CPU 芯片中各寄存器内容的观察和修改等。另外,微机开发系统还可把硬件和软件资源出借给需要开发的系统,适用于新产品的软硬件研制开发及调试维修测试等工作。目前,功能灵活、价格低廉的个人仪器式的各种开发系统正在发展中。

4.特征分析仪和微机系统故障诊断仪

这类仪器属数字系统现场故障检测设备。特征分析仪从被测系统中取得起动、停止、时钟和被测节点的数据信号，在由起动到停止信号的时间窗口内观测被测节点数据流的特征，通过比较特征值进行故障检测。优点是故障检测的准确率非常高，可以检测到元器件级。缺点是对被测电路只能进行动态观测，要求在被测系统的设计阶段就考虑应用特征分析检测故障，并提供一定测试激励条件。

微机系统故障检测仪克服了特征分析仪的一些缺点，其本身可提供各种测试激励，又吸收了仿真的一些技术，是专门的微机系统故障检测设备。

5.印制电路板测试系统

从元器件到组成仪器各个环节的测试工作非常重要，特别是批量生产，测试工作量很大。印制电路板自动测试系统是为适应这种需要发展起来的，包括裸板测试、已装板测试、功能测试等类型。从测试对象来看，有模拟型、数字型和混合型。本身是较复杂的自动测试系统，一般采用计算机辅助测试的方法。

6.集成电路测试仪器

集成电路的集成度越来越高，特别是存储器、微处理器等大规模和超大规模集成电路测试工作非常复杂，有直流参数测试、交流参数测试和功能测试，大都采用计算机控制，种类繁多，结构功能也不尽相同。不少人把这类测试仪器也归并入数据域测试设备。

思 考 题

- 1.数字信号有哪些特点？与测试模拟信号相比，有哪些不同？
- 2.数据域测试主要任务是什么？目前主要有哪些测试方法？
- 3.数据域测试设备主要有哪些类型？各有什么特点？

第二章 数字电路的简易测试

电子示波器电压表等仪器，由于通用性强、价格较便宜、用户拥有量大，故在数字电路测试中，仍是常用的测试工具之一。但是，这些通用仪器在测试数字电路时有局限性。因而，相继出现了许多数字电路的专用测试设备。其中，如逻辑笔、逻辑脉冲发生器、逻辑夹和逻辑比较器等都属于简易逻辑电路测试工具。适当使用这类简单工具，可使数字电路检修过程大为简化。本章介绍几种简易数字电路测试工具及其应用技术。

§ 2.1 简易逻辑电路测试工具

一、逻辑探头

逻辑探头或称逻辑笔是一种方便的数字测试工具。它可用来确定某一个端点的逻辑状态是“1”，“0”，还是故障状态。在初步故障分析中，逻辑探头比较实用。通常用逻辑探头确定故障范围后，可用示波器来确定故障的详情。

检测端点的逻辑状态时，把该点的信号引入测试仪。测试仪应有相应的“0”、“1”检测器和显示装置，以便直观地反映给测试人员。逻辑探头通常做成笔状，类似示波器探头。显示可用电平指示灯完成。原理框图如图 2-1 所示。

逻辑探头采用高阻抗输入，不扰乱被测电路。不同输入信号的响应如图 2-2 示。当输入为高电平，超过“1”门限电平时，指示灯全亮；当指示灯不亮时，表示输入为逻辑“0”，当输入为不良电平时，指示灯会半亮。当输入有干扰脉冲时，指示灯也会有响应，通过电平展宽电路，可使指示灯闪烁时间达到测试人员能感觉的程度。若输入为高速脉冲串，指示灯也可以实现低速闪烁。

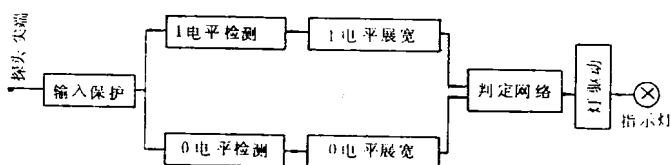


图 2-1 逻辑探头原理框图

下面以一个实用逻辑探头为例，介绍逻辑探头的工作情况。它的主要电路由一专用的集成电路芯片构成，逻辑探头原理图如图 2-3 所示。

探头具有 2V 和 0.8V 的预置逻辑电平，相应于 TTL 和 DTL 电路的高、低电平门限。探头触及高电平点时，探头端部指示灯会亮；探头触及低电平点时，指示灯熄灭；当被测点开路或在不良电平时，会产生一半的亮度。采用脉冲展宽的办法，可以稳定地观察到 10ns 以上的单脉冲。重复频率高到 50MHz 的脉冲串，可以 10Hz 的速率闪亮或熄灭。探头灯的闪亮或熄灭决定于脉冲的极性。若用仓检测各种关键信号是否存在，例如检测时钟、复位和启动等信号，可使被测电路以正常的速率工作。检查逻辑组件真值表时，被测电路可以每次送入一个脉冲以发现故障。逻辑探头可用被测电路的 5V 是源，也可用

辅助的 5V 电源，其地线夹用来将探头电路和被测电路的地线相接。

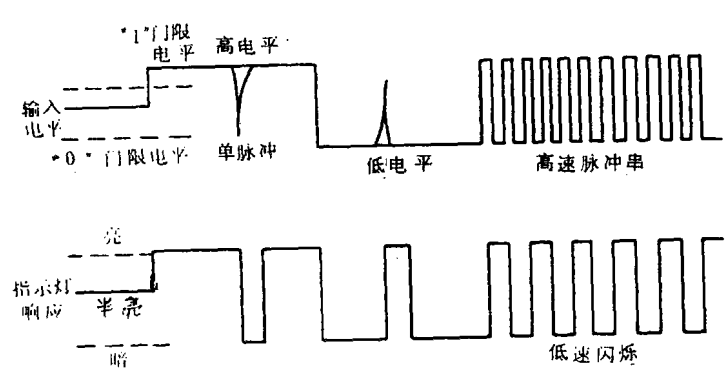


图 2-2 逻辑探头对不同输入电平响应示意图

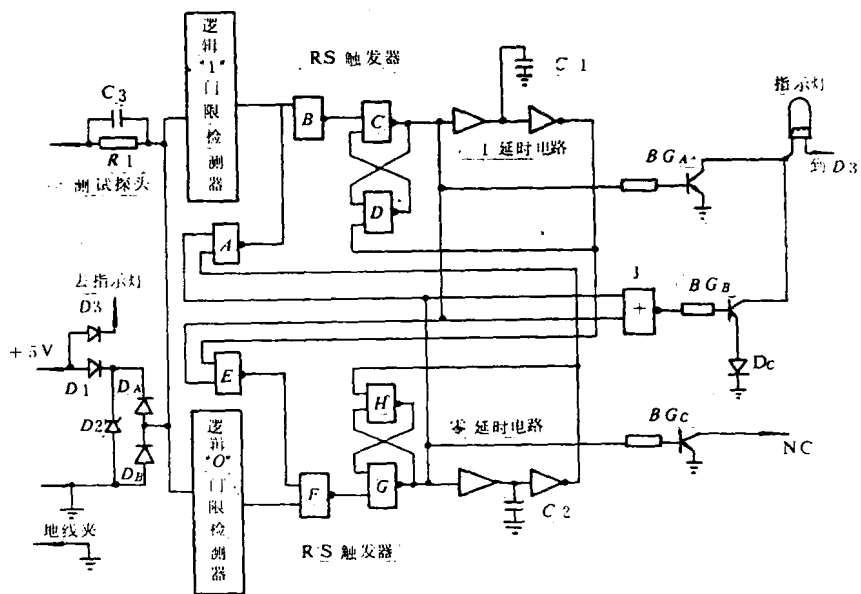


图 2-3 逻辑探头原理图

从图 2-3 可知，在门限检测器以后的逻辑“0”通路和逻辑“1”通路是一样的，所以考虑工作过程时，只讨论其中一路就可以了。

下面介绍逻辑“1”通路的情况。这里使用正逻辑，高电平表示逻辑“1”，低电平表示逻辑“0”。探头输入端的电阻 R1 和二极管 D_A 、 D_B 保护探头不会因输入过载而损坏，电源输入端联接 D1、D2 是在电源反接时起保护作用。从探头引入的输入信号加到两个门限电平检测器。两个检测器将输入信号的电压和内部参考电压进行比较，如果输入电压比“1”，门限电平检测器的参考电压高，检测器输出变为高电平。输入等于参考电平时，由于延时电路的作用可防止输出不稳。正常时门 A 输出为高电平（门 G 输出低电平）。门 B 产生的低电平使 RS 触发器置位，所以门 C 输出高电平。与此同时，晶体管 BG_A 使逻辑电平指示灯点亮门 C 输出高电平和 1 延时电路使门 E 输出低电平，它关闭了门 F，这

样。在刚刚俘获到“1”期间，如果输入信号马上又降到“0”可以使指示灯避免立即熄灭。输入是高频脉冲串时，由于上述两条通路间交叉耦合关闭特性，闪光速率为 10Hz。

每当门 C 输出的高电平通过“1”延时电路（约为 50ms）传送时，门 D 的 R 端的低电平将使触发器复位，只是在输入电压下降到逻辑“1”门限以下时，才能复位，当探头电压低于“0”门限电平时，逻辑“0”通路的 RS 触发器被置位，阻止了逻辑“1”通路的 RS 触发器置位，指示灯熄灭。当探头电压不够高，不能接通“1”通路但又低不到接通“0”通路时，两个 RS 触发器都输出低电平，它们都联到门 J，门 J 使 BG_B 接通，也可点亮指示灯，但由于 BG_B 发射极中串入了二极管 D_C ， D_C 有附加的二极管电压降，故指示灯只有一半亮度。

如果逻辑探头输入是持续的高电平，则逻辑“1”通路触发器输出点是持续高电平，逻辑灯常亮。如果有 5~10ns 以上宽度的干扰脉冲，由于脉冲展宽电路的作用，指示灯会有 50ms 的响应。显然，在低电平上有正的干扰脉冲，指示灯会瞬间点亮，在高电平上负向单脉冲，会使指示灯瞬间熄灭一下。

逻辑探头电路简单，体积很小，通常可做成笔尖，使用非常方便。目前，逻辑探头品种很多。但总的来说，它的用途局限性较大，只能大致地观察简单逻辑电路一些端点上的逻辑状态或有无信号，存在不存在开路故障等，更详细情况的了解要借助示波器等测试仪器。

逻辑探头主要用来检测数字电路切点上电平高低及变化情况。使用前要注意被测电路器件的类型，以便选取检测电平门限。另外，逻辑探头是无源的，使用时应先把地线及电源线接好。电源可直接取自被测系统，也可以用直流电源供电，供电电压应和被测系统元器件一致。

数字电路中有些元器件具有高阻抗输出状态（如三态门、微机系统中的总线等），逻辑探头在检测这种状态时，会出现不良电平的响应。利用逻辑探头试图在复线电路（如微机系统中的数据线和地址线复用）确定故障位置，是很难做到的。

二、逻辑脉冲发生器

逻辑脉冲发生器的作用类以模拟电路测试所用的信号源。它可以把控制脉冲注入到被测电路的节点上，与逻辑探头配合使用，便可在相关的输出节点上检测逻辑状态的变化，进而判断电路中是否存在故障。

目前的逻辑脉冲发生器采用特制的集成电路芯片，内部包括加减计数器、ROM 时钟电路和输出敏感电路等。外形做成笔状，笔身上装有操作按钮和 LED 监视器。通过对输出类型的选择，可输出单个脉冲或规定个数的连续脉冲串。

逻辑脉冲发生器在关断状态时，它的高输出阻抗不会影响被测电路，按下操作按钮就可向所触及的电路节点注入脉冲，而不需要断开被测电路。

逻辑脉冲发生器可在被测电路运行状态下使用，被测节点在注入脉冲时，既可能是处于开路状态，更可能是具有高或低的逻辑电平。为了使被测节点对注入脉冲有响应，逻辑脉冲发生器输出的极性、脉冲宽度和幅度都是自动调整的。如图 2-4 所示表示脉冲注入开路节点时的输出图形。逻辑脉冲发生器关断时，探针处于高阻抗状态，当按下按钮时，它