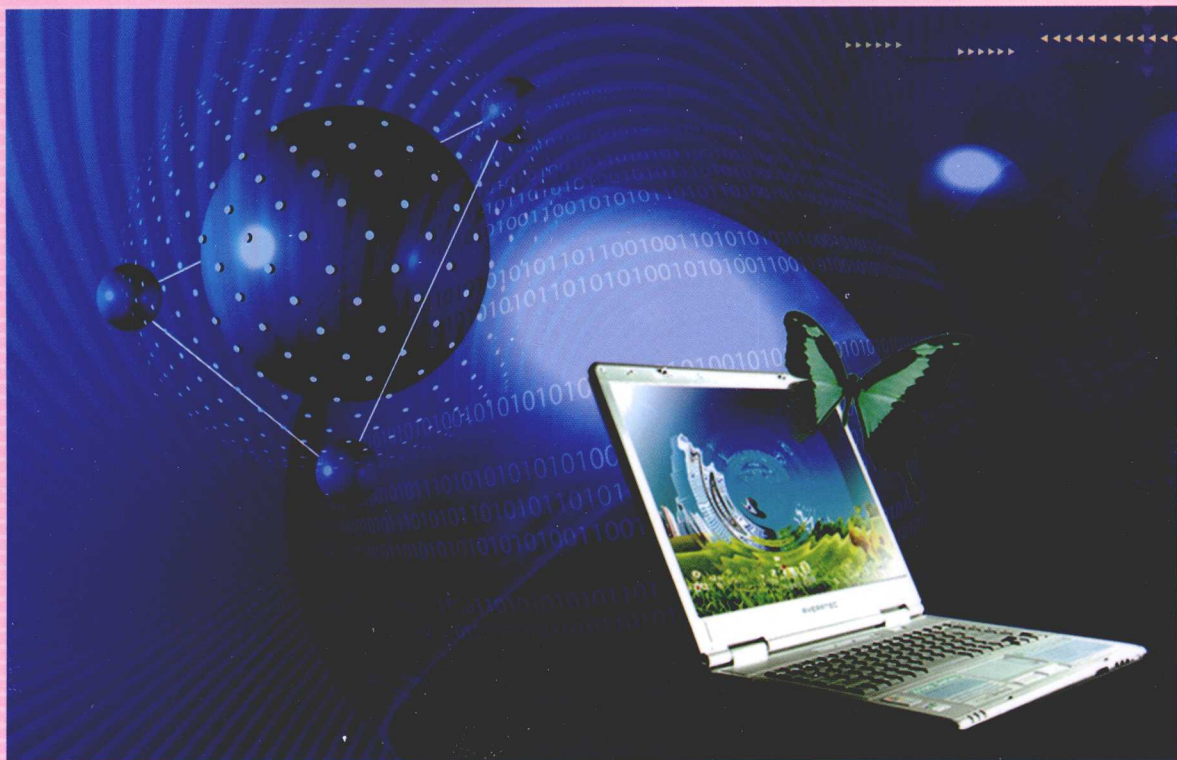




教育部高等职业教育示范专业规划教材
山东省省级精品课配套教材

数字电子技术实训

SHU ZI DIAN ZI JI SHU SHI XUN



初玲 主编

机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



教育部高等职业教育示范专业规划教材
山东省省级精品课配套教材

数字电子技术实训

主 编 初 玲
副主编 刘国尧 谢绍霞 石 恽
参 编 苏 慧 孙 浩 郭三华



机械工业出版社

本书是在认真总结我国近年来高等职业教育教学改革经验的基础上编写的,以提高人才培养质量为目的,结合教学改革项目成果,反映最新的教学改革方向,是2010年山东省省级精品课程配套教材。

本书系统地介绍了数字电子技术实训技术。全书共分6章,主要内容包括数字电子技术实验基础知识、组合逻辑电路、时序逻辑电路、脉冲波形的产生和整形电路、D/A和A/D转换器及其应用、综合设计实验。

本书理论联系实际,讲述深入浅出,可作为普通高等专科学校、高职高专院校、成人高等专科学校及本科院校的二级职业技术学院、继续教育学院和民办高校的电子、计算机、通信、电气自动化及相关专业的实训教材或参考书,也可作为电子领域的技术和管理人员的自学教材或培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

数字电子技术实训/初玲主编. —北京:机械工业出版社,2010.8
教育部高等职业教育示范专业规划教材. 山东省省级精品课配套教材
ISBN 978-7-111-31562-9

I. ①数… II. ①初… III. ①数字电路—电子技术—高等学校:技术学校—教材 IV. ①TN79

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第156532号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)
策划编辑:曲世海 责任编辑:王琪 版式设计:霍永明
责任校对:李秋荣 责任印制:乔宇
北京机工印刷厂印刷(三河市南杨庄国丰装订厂装订)
2010年9月第1版第1次印刷
184mm×260mm·8印张·193千字
0 001—4 000册
标准书号:ISBN 978-7-111-31562-9
定价:15.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010) 68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010) 88379649

读者服务部:(010) 68993821 封面无防伪标均为盗版

前 言

数字电子技术课程是电子相关专业的重要专业基础课，对高职高专院校的学生具有重要的意义。本书是2010年山东省省级精品课程“数字电子技术”的实训教材，经多年使用取得了很好的教学效果，可作为高等职业学校电子、计算机、通信及电气自动化各专业的实训教材。

本书从贯彻高职教育的实际出发，以培养综合能力为主线，加强实用性，从以下几个方面突出高职教育的特色：

1) 全书采用课题形式，将全部内容分为6章，包括若干实训课题，每个课题相对独立，有利于组织实训教学与考核。

2) 重视实训过程，有详细的实验步骤和过程，有利于自学。同时，备有课后思考题，训练学生创新及理解能力。

3) 提供实验报告，便于训练后进行测试，检验训练效果。

4) 难易适中，具有一定的通用性。不仅适合作为高职、高专、中职、职大、成人教育等电子类专业教材，也可供电子设备维修技术人员和参加电子类职业等级证书考试的人员参考。

5) 图文并茂、通俗易懂，使得实训过程及设备使用一目了然。

本书由初玲副教授担任主编，刘国尧、谢绍霞、石怿担任副主编，苏慧、孙浩、郭三华担任参编。全书由初玲统筹策划，并编写了第2章、第6章，刘国尧编写了第3章、第4章，谢绍霞编写了第5章，石怿编写了第1章，苏慧、孙浩、郭三华参与了第4章、第5章部分内容的编写与校订，最后由初玲进行全书的审核。

本书在编写过程中得到了许多专业技术人员的无私帮助，在此深表感谢。

由于作者水平有限，书中难免错误与疏漏之处，敬请使用本教材的教师同仁与同学们批评指正。

编 者

目 录

前言

第1章 数字电子技术实验基础知识 1

- 1.1 数字电子技术实验的基本过程 1
- 1.2 数字电子设备常见故障检修方法 2

第2章 组合逻辑电路..... 12

- 2.1 TTL 集成逻辑门的逻辑功能与参数测试 12
 - 2.1.1 TTL 集成逻辑门的基本知识 12
 - 2.1.2 实验部分 15
- 2.2 CMOS 集成逻辑门的逻辑功能与参数测试 19
 - 2.2.1 CMOS 集成逻辑门的基本知识 19
 - 2.2.2 实验部分 22
- 2.3 TTL 集电极开路门与三态输出门的应用 26
 - 2.3.1 TTL 集电极开路门与三态输出门的基本知识 26
 - 2.3.2 实验部分 28
- 2.4 加法器的设计 32
 - 2.4.1 加法器的基本知识 32
 - 2.4.2 实验部分 34
- 2.5 一般组合逻辑电路的设计 38
 - 2.5.1 一般组合逻辑电路的设计方法及其竞争冒险的消除 38
 - 2.5.2 实验部分 40
- 2.6 数据选择器 42
 - 2.6.1 数据选择器的基本知识 42
 - 2.6.2 实验部分 45

第3章 时序逻辑电路..... 49

- 3.1 触发器及应用 49
 - 3.1.1 触发器 49
 - 3.1.2 触发器应用实验 59
- 3.2 计数器及应用 64
 - 3.2.1 计数器 64
 - 3.2.2 计数器应用实验 73
- 3.3 移位寄存器及应用 78
 - 3.3.1 数码寄存器与移位寄存器 78
 - 3.3.2 移位寄存器应用实验 84

第4章 脉冲波形的产生和整形电路..... 89

- 4.1 555 定时器及其应用 89
 - 4.1.1 555 定时器 89
 - 4.1.2 施密特触发器 90
 - 4.1.3 单稳态触发器 92
 - 4.1.4 多谐振荡器 95
- 4.2 555 定时器及应用实验 97

第5章 D/A、A/D 转换器及其应用 100

- 5.1 D/A、A/D 转换器 100
 - 5.1.1 D/A 转换器 100
 - 5.1.2 A/D 转换器 104
- 5.2 D/A 和 A/D 转换器实验 108

第6章 综合设计实验 113

- 6.1 电子秒表 113
- 6.2 数控步进电动机 116

附录 部分 TTL 及 CMOS 集成电路的引脚排列 119

参考文献 122

第1章 数字电子技术实验基础知识

随着现代科学技术的飞速发展，数字电子技术在各个科学领域中都得到了广泛的应用，其实践性很强，是电子信息工程技术、通信技术、计算机控制技术、自动化技术、应用电子技术等多个专业的重要专业基础课。在学习中不仅要掌握数字电子技术的基本原理和基本方法，更重要的是要学会灵活应用。因此，必须做一定数量的实验，才能掌握这门课程的基本内容，熟悉各单元电路的工作原理，各集成器件的逻辑功能和使用方法，从而有效地培养学生理论联系实际和解决实际问题的能力，培养学生的基本实践操作能力以及进行设计性和综合性实验的能力。

1.1 数字电子技术实验的基本过程

数字电子技术实验的基本过程应包括：确定实验内容，选定最佳的实验方法和实验线路，拟出较好的实验步骤，合理选择仪器设备和元器件，进行连接安装和调试，最后写出完整的实验报告。

在进行数字电子技术实验时，充分掌握和正确利用集成器件及其构成的数字电路所独有的特点和规律，可以收到事半功倍的效果。要完成每一个实验，应做好实验预习、实验记录和实验报告等环节。

一、实验预习

认真预习是做好实验的关键。预习的好坏，不仅关系到实验能否顺利进行，而且直接影响实验效果。预习应按照实验内容的要求进行，在每次实验前首先要掌握相关基本知识，认真学习有关实验的基本原理，掌握有关元器件使用方法，对如何进行实验做到心中有数。通过预习还应做好实验前的准备，设计好实验步骤，写出一份预习报告。预习报告的内容包括：

1) 掌握实验工作原理，熟悉重要知识点，通过查阅相关参考书籍和手册了解实验应该注意的问题。

2) 绘出设计好的实验电路图。实验电路图应该是逻辑图和连线图的结合，既便于连接线，又能反映电路原理，并在图上标出元器件型号、使用的引脚号及元器件参数值，必要时还要用文字进行说明。

3) 制定实验方法，设计实验步骤。

4) 画好记录实验数据的表格和波形坐标。

5) 列出元器件清单。

二、实验记录

实验记录是在实验过程中获得的第一手资料。测试过程中所测试的数据和波形必须和理论基本一致，所以记录必须清楚、合理、正确。若不正确，则要现场及时重复测试，找出原因。实验记录应包括如下内容：

- 1) 实验任务、名称及内容。
- 2) 实验数据和波形以及实验中出现的现象, 从记录中应能初步判断实验的正确性。
- 3) 记录波形时, 应注意输入波形与输出波形在时间上的对应关系, 在坐标中上下对齐。
- 4) 实验中实际使用的仪器型号和编号以及元器件使用情况。

三、实验报告

实验报告是培养学生对实验的总结能力和分析思维能力的有效手段, 也是一项重要的基本功训练, 它能很好地巩固实验成果, 加深对基本理论的认识和理解, 从而进一步扩大知识面。

实验报告要求文字简洁、内容清楚、图表工整。报告内容应包括实验目的、实验内容和实验结果、实验使用仪器和元器件以及分析讨论等, 其中实验内容和实验结果是报告的主要部分, 它应包括实际完成的全部实验, 并且要按实验任务逐个书写, 每个实验任务应有如下内容:

- 1) 实验课题的框图、逻辑电路图 (或测试电路)、状态图、真值表以及文字说明等, 对于设计性课题, 还应有整个设计过程和关键的设计技巧说明。
- 2) 实验记录和经过整理的数据、表格、曲线和波形图, 其中表格、曲线和波形图应充分利用专用实验报告简易坐标格、三角板、曲线板等工具描绘, 力求画得准确, 不得随手画出。
- 3) 实验结果分析、讨论及结论。对讨论的范围, 没有严格要求, 一般应对重要的实验现象、结论加以讨论, 以便进一步加深理解。此外, 对实验中的异常现象, 可作一些简要说明, 分析异常现象的原因, 总结实验中有何收获及心得体会。

1.2 数字电子设备常见故障检修方法

一、概述

数字电子设备通常因为结构和连线较复杂, 在使用过程中, 经常会出现故障, 因此要对数字电子设备的故障进行分析, 找出故障检查和维修的方法。

查找和修理设备故障的过程叫作故障检修。

在数字电子设备中, 经常出现的故障检修主要有两类:

第一类是已经组装好的数字电子设备不工作。

第二类需要进行故障检修的设备, 在各种场合和环境下, 曾经是正常工作的设备, 现在出现了故障, 需要进行检修。

二、数字电子设备的基本问题

导致数字电子设备故障, 正常情况下有两个方面的问题: 一方面是操作人员操作问题; 另一方面是设备中的问题, 而设备中的问题又有些是设计制造中的问题, 一共归纳成 8 个问题。

1. 操作人员问题

在使用数字电子设备时, 最常见的一个情况是操作不合规范要求。由于操作人员没有弄清楚怎样使用设备, 或者不理解他所得到的结果, 于是怀疑设备出了故障, 但实际上设备能

正常地工作。要解决这个问题,必须教会和训练操作人员怎样正确地操作设备,知道正确的操作结果是什么。

2. 电子设备结构差错

结构差错是数字电子设备在样机设计或制造中出现的一种问题。例如,刚下线的产品,电路不能正常工作,通常主要原因是一种结构差错,包括产品设计和生产工艺设计上的错误及生产组装线上的连线差错、元器件选择错误或元器件质量存在问题,以及诸如焊接不良等造成的问题。

3. 电源故障

数字电子设备出现问题的一个最常见原因是电源故障。所有的数字电子设备都含有一个电源部分,通过这部分把交流电压变为精确且稳定的直流电压,供给各个电路。由于电源部分通常含有大电流和高电压,所以常常发生故障。电源发生故障后,设备就不能正常工作了。电源故障是比较容易找到并解决或修理的。

4. 电子元器件和机电部件失效

电子元器件失效是数字电子设备的另一个常见问题。电子元器件本身的质量存在问题,或者设计差错带来的使用不当(如过载),都会使元器件失效。实际使用中各种元器件出现问题的几率是有很大差异的,一台设备一般只有几个易损元器件常出问题,而有的几乎不出问题。

对于机电部件,如经常使用的控制开关,由于磨损,所以容易损坏。任何经常使用的部件,总是比不常用的部件更易于损坏。事实上,在数字电子设备中机械部件的失效多于电子元器件的失效。所以,在检修电子设备时,应首先检查机械和机电部件。

电子元器件的故障通常少于机械部件,集成电路是电子元器件中相当可靠的一种,但它们有时也会出毛病。印制电路板特别可靠,除非滥用,否则几乎不会发生问题,所以,它们的失效率较低。

5. 与设备定时有关的问题

这类问题通常是最不容易查找的问题。对于大多数数字电子设备来说,时钟频率、传送延时以及其他定时特征是极其重要的。如果时钟频率有一些变化,或者某个元器件引起定时误差,就可能会出现問題。电压上下波动、工作频率发生变化及元器件的老化也会产生问题。

6. 噪声问题

噪声是数字电子设备故障的另一个重要来源,它能使数字电子设备工作失灵。噪声是引入设备的某种外来信号,其常见来源有:交流电路上大电流和电压波动产生的脉冲;设备附近磁场;无线电和电视发送设备的射频干扰;电源滤波器质量不好;包括测试装置在内的外部设备连接不当;设备周围剧烈的机械振动等。

如果噪声不是连续的,而是断断续续地随机出现,这种问题就易于分析,但难以排除。特别在一个噪声环境中,若设备的使用不当,会出现很大的麻烦。许多噪声问题可以由良好的初始设计而避免。

7. 环境故障

这种故障是设备所处的工作环境带来的。例如,恶劣的工作环境使设备失效;灰尘、油脂、润滑油、某些挥发性化学物质、含盐的气体等引起设备失效;过度的震动也会使设备产

生故障。另外,损伤接插件、弄断导线、或者弄脏开关接点等都可能引起设备故障。

最主要的一类环境问题是温度。电子设备对温度都很敏感,许多电子设备在设计时只限其工作在一个变化相对窄小的温度范围内。如果环境温度大大地超过了许可的范围,那么设备的工作就会出现不正常的现象。例如,设备在极冷的环境温度条件下工作,就会出问题;极高的环境温度,也能使电子设备工作不正常,出现异常现象。使电子设备发生故障的最常见的环境条件是高温,许多电子设备在设计时就考虑了避免使设备受热的问题。设计者通过适当地采用通风孔、散热器,并在许多情况下还采用了风扇,尽可能地排除设备自身产生的额外热量。

另外,环境过于潮湿,也容易引起元器件封装不良,受到腐蚀,从而导致设备出现故障。

8. 机械问题

开关、继电器和其他的机械部件经常出现故障。连线和接插件也可看做是机械部件。接插件有可能受到腐蚀或被弄断。任何时候移动设备,或者设备处在某些工作情况下,都有可能使接插件和连线发生故障。在电子设备中,连线在接头处或其他某些地方断开,接插件出现松动、龟裂及接触不良,造成设备故障的现象相当普遍。

三、集成电路故障

电子元器件的故障通常少于机械部件的故障,其中集成电路工作更是相当可靠,但它们有时也会出现故障。当元器件失效使设备出现故障时,则很可能是集成电路的问题。集成电路的失效可能是内部原因,也可能是外部因素。下面逐一加以说明:

1. 内部可能的原因

1) 芯片与输入端或输出端的连线断开,即集成电路的输入开路、输出开路。芯片与集成电路端线之间是一些细微的线,接点经过熔焊连接,细线及熔接点容易烧断。如果其中某一个点连接断开,形成开路,输入或输出与外部电路之间就失去了连接。

2) 输入和输出与地或 U_{cc} 短路。输入和输出与地或 U_{cc} 的引线短路,较常出现的是集成电路外壳内的某一根连线或其断头与邻近线接触,或与管壳接触形成短路,这种情况极易造成外部电源或芯片中的电路损坏。

3) 输入端之间或输出端之间短路。输入端与输入端短路,往往是当初制造时出的问题。通过简单的实验就可以判断出问题所在。

4) 电子元器件或电路失效。芯片自身损坏,可能是其内部某一元器件出问题,在通常的情况下不对集成电路作完全的诊断,而是用另一芯片来进行替换。对于修理设备来说,没有必要去研究集成电路的内部故障原因。

2. 外部可能的原因

1) 某一个端线与电源、 U_{cc} 或地短路,集成电路的外部短路、开路以及电子元器件失效也会产生与集成电路内部故障相同的效果。

2) 某两个或更多的端线短路。

3) 插座、印制电路板、接插件、导线开路。

4) 外部电路问题。

四、故障的检修步骤

检修基本上分4步,分别为收集资料、查找问题、进行维修、测试电路工作情况。

1. 收集资料

这些资料应包括：

1) 关于电子设备的文件，是指全部操作和维护手册、逻辑电路图和工作原理图、操作和作业程序，以及相关的信息。

2) 一些关于待修设备使用和维修的有价值的资料，如修理和维护工作记录。

2. 查找问题

故障检修时主要的一步工作是查找问题。一般按如下步骤操作：

(1) 测试电子设备或电路 开机试着去操作或试运行设备，仔细观察和测试出设备的故障。

(2) 先检查简单的和明显的项目 假定已经发现故障部位，那下一步要做的事情就是检查明显的和简单的问题，检查测量仪表的旋钮位置和显示，同时还要注意检查连线是否有接触不良或断线现象。

(3) 进行诊断测试 对某些设备（如微型计算机）而言，存储在光盘上的诊断程序对管理计算机是有效的。要充分利用诊断程序，帮助寻找具体的故障。在另外一种设备中，诊断程序是装在机器内的，通过开关控制，即可实现机器自测。

(4) 利用感官判断进行处理 通过感官进行检查，即通过眼看、手摸、鼻闻和耳听来寻找问题，有时可以迅速地找到问题。

通过仔细观察，有可能会发现断开的连线或烧坏的元器件；也可能会看到集成电路没有插在插座上，印制电路板被拔了出来；还可能会看到如多芯导线断开，脏物或灰尘积蓄过多，风扇不运转或其他许多类似的现象。有时故障部位会产生一种特殊的气味，这就很快地暴露了问题。用手去触摸电路中的电子元器件，也能给我们提供一些线索。如果一个元器件过热，就意味着有问题。当用手轻轻地触摸集成电路时，感到其温度过热，那就说明这块印制电路板工作不正常。

(5) 检查电源部分 这是很重要的一步，因为没有正常的工作电压，设备就不能正常工作。

1) 检查交流电源线是否已经插在交流电插座上了，通过检查，确定交流电源线连接是否正常。

2) 检查直流电源输出，并测量直流电压。

(6) 检查时钟脉冲 检查电路时，首先要检查的是时钟脉冲。如果时钟脉冲发生器不工作，系统也就无法正常运行。检查时钟脉冲最好的方法是用示波器。

通过可用的文件资料，找到时钟脉冲发生器，检查其输出信号，看时钟脉冲发生器是否在工作并观察时钟脉冲发生器的输出电平及脉冲工作频率是否正确。

(7) 用信号检查寻找电路故障 如果时钟脉冲正常，即可开始进行下一步的故障检查。所谓用信号检查寻找电路故障，是从输入到输出，跟踪逻辑信号，注意发生的每一个异常现象。首先检查设备接收信号，然后看电路的其他部分是否能正确地传输信号，最后检验数据显示。在用信号检查寻找故障的过程中，有可能会发现某种问题，由此可以找到问题出在哪个部分。

(8) 用测量法检查故障 电子设备中的某些元器件或参数，在长期使用的过程中，不但有量的变化，也伴随着质的变化。如晶体管和集成电路的工作电流和电压，在良好的情况

下,有一定的理想数值,随着使用时间的增长,这些数值就会发生变化,从而引起质变。这种情况的原因较为复杂,用其他方法判断故障比较困难,但用测量法进行检查就比较可靠准确,容易找到失效或损坏的元器件。

测量法一般用于电压、电流、电阻、绝缘电阻、信号波形等测量。特殊的情况下,还需进行功率、频率、灵敏度等测量。前几种一般用万用表、示波器、绝缘电阻表即可;后者要用到专用仪器,如综合测试仪、波长表、频率计、功率表等。

1) 电压测量。电压测量一般常用指针或数字式万用表测量,特殊情况可用真空管电压表、高频毫伏表和静电电压表等。检修时,应先找到相应的检测点进行测量,将测量结果与正常值比较。如果发现电压不正常,说明存在故障,再查相对应的部位,找出故障元器件,最后排除故障。电压测量应根据被测量电压的性质(交流、直流)和大小选择相应的挡位和量程。

2) 电流测量。电流测量就是将电流表串入待测量电路进行测量。为了测试方便,电子设备大多设有专用的测试插孔进行测量,如放电管电流、继电器起动电流以及其他各种元器件的漏电流等。

3) 电阻、绝缘电阻测量。电阻测量在实际工作中使用最多,这是因为:

① 在许多情况下,故障产生之后,机器不能正常工作,电压、电流、波形检查均不易进行,较有效的方法就是进行电阻测量。

② 判断元器件是否损坏、变质用电阻测量最简单有效。

③ 连接导线和电缆短路、断路、接地等故障,用电流、电压、波形检查方法一般只能大致确定部位,而不能找到真正的故障点,最后找到故障点只能采用电阻测量法。

在进行电阻测量时,应注意以下几点:

① 应注意并联电路的影响,即在测量某个电阻时,如果还有相并联的元器件,应予以考虑,或将其断开。

② 在测量较大的电阻时,注意不要将两手捏在表笔裸露部分而造成测量误差。

③ 在用绝缘电阻表检查有关电路或电动机、电缆的绝缘电阻时,应注意绝缘电阻表的工作电压不能超过有关电路中元器件的耐压值,以防止击穿,造成不应有的损失。

④ 对串联有电流表或尚未放电完毕的电容电路进行电阻测量时,应注意测量安全。

4) 信号波形测量:信号波形测量是用示波器进行的,这种方法多用于观察数字电子设备的信号传输情况。可以检查信号的传输质量,定性比较波形形状、大小,判断电路是否正常。

(9) 替换法 如果有可用的备用元器件,那么就可以换下工作似乎不正常的元器件,而用一个新的来代替它。这种简单的替换是一种好办法,通过这种方法常能使设备很快地工作起来。这种方法也适用于集成电路。如果用替换法还不能解决问题,那就要采用各种测试仪器,经过详细的测试,最终会检查出问题。

1) 拆卸印制电路板上的集成电路块:在进行电路检修时,经常需要从印制电路板上拆卸集成电路,由于集成电路引脚多又密集,拆卸起来很困难,有时还会损害集成电路及印制电路板。这里总结了几种行之有效的集成电路拆卸方法。

① 吸锡器吸锡拆卸法。使用吸锡器拆卸集成电路,是一种常用的专业方法,使用工具为普通吸、焊两用电烙铁,功率在 35W 以上。拆卸集成电路时,只要将加热后的两用电烙

铁头放在要拆卸的集成电路引脚上,待焊点上的焊锡融化后会被吸入吸锡器内,全部引脚的焊锡吸完后集成电路即可拿掉。

② 电烙铁毛刷配合拆卸法。该方法简单易行,只要有一把电烙铁和一把小毛刷即可。拆卸集成电路时先把电烙铁加热,待达到熔锡温度时,将引脚上的焊锡熔化,此时用毛刷扫掉熔化的焊锡。这样就可使集成电路的引脚与印制电路板分离。该方法可分脚进行,也可分列进行。最后用尖镊子或小一字槽螺钉旋具撬下集成电路。

③ 增加焊锡熔化拆卸法。该方法较为方便,只要给待拆卸的集成电路引脚上再增加一些焊锡,使每列引脚的焊点连接起来,以利于传热,便于拆卸。然后用电烙铁轮换加热两列引脚,每加热一列引脚就用尖镊子或小一字槽螺钉旋具撬一撬,直到拆下为止。一般情况下,每列引脚加热两次即可拆下。

④ 多股铜线吸锡拆卸法。该方法需要将多股铜芯塑胶线去除塑胶外皮,使用多股铜芯丝(可利用短线头)。拆卸前先将多股铜芯丝蘸上松香酒精溶液,待电烙铁烧热后将多股铜芯丝放到集成电路引脚上加热,这样引脚上的焊锡就会被铜芯丝吸附,吸上焊锡的部分可剪去,重复进行几次就可将引脚上的焊锡全部吸走。若有条件也可使用屏蔽线内的编织线。只要把焊锡吸完,用镊子或小一字槽螺钉旋具轻轻一撬,集成电路即可取下。

2) 焊接:焊接是维修电子设备很重要的一个环节。电子设备的故障检测出来以后,紧接着的就是更换元器件进行焊接。

焊接电子产品常用的几种加热方式有:电烙铁加热、热空气加热、锡浆加热、红外线加热、激光加热等,很多大型的焊接设备都是采用其中一种或几种方式的组合来加热。

常用的焊接工具有:电烙铁、热风焊台、锡炉、BGA 焊机。

焊接辅料有:焊锡丝、松香、吸锡枪、焊膏、编织线等。

电烙铁主要用于焊接模拟电路的分立元器件,如电阻、电容、电感、二极管、晶体管、场效应晶体管等,也可用于焊接尺寸较小的 QFP 集成电路,当然也可以用它来焊接 CPU 断针,还可以给印制电路板补线,如果显卡或内存的金手指坏了,也可以用电烙铁修补。电烙铁的加热心实际上是绕了很多圈的电阻丝,电阻丝的长度及所选用的材料不同,功率也就不同,维修普通电子产品的电烙铁一般选用 20 ~ 50W。有些高档电烙铁做成了恒温电烙铁,且温度可以调节,内部有自动温度控制电路,以保持温度恒定,这种电烙铁的使用性能要更好些,但价格一般较贵,是普通烙铁的十几甚至几十倍。纯净锡的熔点是 230°,但维修用的焊锡往往含有一定比例的铅,导致它的熔点低于 230°,最低的一般是 180°。

拆除或焊接电阻、电容、电感、二极管、晶体管、场效应晶体管时,可以在元器件的引脚上涂一些焊锡,这样可以更好地使热量传递过去,等元器件所有引脚上的焊锡都熔化时就可以取下来或焊上去了。焊接时要注意,当温度较高时,焊锡熔化后迅速抬起烙铁头,则焊点光滑,但若温度太高,则易损坏焊盘或元器件。

3) 给印制电路板补线:印制电路板断线的情况时有发生,显示器、开关电源等的线较粗,断的线容易补上,至于主板、显卡、便携式计算机的线很细,线距也很小,要想补这些断线,先要准备一个很窄的扁口刮刀,要求刮刀口的宽度与印制电路板布线的宽度差不多。补线时要用刮刀把印制电路板断线表面的绝缘漆刮掉,注意不要用力太大以免把线刮断,另外还要注意不要把相邻的印制电路板布线表面的绝缘漆刮掉,为的是避免焊锡粘到相邻的线上。表面处理好以后就要在上面均匀地涂上一层焊膏,用电烙铁在刮掉漆的线上加热涂

锡, 然后找一根细铜丝, 把单根铜丝涂上焊膏, 再用电烙铁涂上焊锡, 然后用电烙铁小心地把细铜丝焊在断线的两端。

焊接完成后要用万用表检测焊接的可靠性。先要测量线的两端, 确认线是否已经连上; 然后还要检测一下补的线与相邻的线是否有粘连短路的现象。

4) 塑料软线的修补: 光驱激光头排线、打印机的打印头连线也经常有断裂的现象, 焊接的方式与印制电路板补线差不多, 需要注意的是因普通塑料可承受的温度很低, 用电烙铁焊接时温度要把握好, 速度要尽量快些, 尽量避免塑料被烫坏, 另外, 为防止受热变形, 可用小的夹子把线夹住定位。

5) CPU 断引脚的焊接: CPU 断引脚的情况很常见, CPU 引脚的根部比较结实, 断引脚一般都是从中间折断, 比较容易焊接, 只要在引脚和焊盘相对应的地方涂上焊膏, 上了焊锡后用电烙铁加热就可以焊上了。对于位置特殊, 不使用电烙铁的情况可以用热风焊台加热。

CPU 的引脚受外力太大时, 往往连根拔起, 且拔起以后的下面的焊盘很小, 直接焊接成功率很低, 且焊好以后, 引脚也不易固定, 很容易又会被碰掉。对于这种情况一般有如下几种处理方式:

① 用从鼠标里剥出来的细铜丝一端的其中一根与 CPU 的焊盘焊在一起, 然后用 502 胶水把线粘到 CPU 上, 另一端与主板 CPU 座上相对应的焊盘焊在一起, 从电气连接关系上说, 这种焊接方式与接插在主板上没有什么两样, 缺点是取下 CPU 不方便。

② 在 CPU 断引脚处的焊盘上置一个锡球 (可以用 BGA 焊接用的锡球, 当然也可以自己动手做), 然后自己动手做一个稍长一点的针, 插入断引脚对应的 CPU 座内, 上面固定一小块固化后的导电胶 (导电胶有一定的弹性), 然后再把 CPU 插入 CPU 座内, 压紧锁死, 这样处理后的 CPU 就可以正常工作了。

6) 显卡、内存条等金手指的焊接: 显卡或内存条如果多次反复从主板上拔下来或插上去, 可能会导致金手指脱落, 供电或接地的引脚也常会因电流太大导致金手指烧坏, 为使它们能够正常使用, 就要把金手指修补好。金手指的修补较简单, 可以从别的报废的卡上用壁纸刀刮下同样的金手指, 将表面处理干净后, 用 502 胶水小心地把它对齐粘在损坏的卡上, 胶水凝固以后, 再用壁纸刀把新粘上去的金手指上端的氧化物刮掉, 涂上焊膏, 再用细铜丝将它与断线连起来即可。

7) 集成电路的焊接: 双列扁平封装和矩形封装的集成电路一般用电烙铁焊接, 分为以下 3 步。

① 先定位。焊接前, 按照引脚编号顺序把集成电路引脚与印制电路板上的相应焊盘严格对齐, 接着用少许焊锡将集成电路对角的引脚固定在印制电路板上。

② 堆锡。固定好集成电路后, 应在其引脚周围堆锡, 注意焊锡不要太多。

③ 取锡。将集成电路引脚上多余的焊锡取干净。在取锡过程中, 印制电路板要倾斜, 当电烙铁加热时, 焊锡就会随着烙铁头的移动而向下流动。堆在引脚上多余的焊锡不断积聚起来, 用电烙铁反复将积聚的锡取下, 这样逐步把多余的焊锡取干净。加热焊锡时, 电烙铁应快速地在小范围内移动, 使焊锡始终处于熔化状态。取锡时应注意: 既要保证集成电路很好地焊接在印制电路板上, 又要避免引脚间短路。

8) 贴片式元器件的焊接: 贴片式元器件的焊接宜选用 $200 \sim 280^{\circ}\text{C}$ 调温式尖头电烙铁。贴片式电阻、电容的基片大多采用陶瓷材料制作, 这种材料受碰撞易破裂, 因此在拆卸、焊

接时应掌握控温、预热、轻触等技巧。控温是指焊接温度应控制在 $200 \sim 250^{\circ}\text{C}$ ；预热指将待焊接的元件先放在 100°C 左右的环境里预热 $1 \sim 2\text{min}$ ，防止元件突然受热膨胀损坏；轻触是指操作时烙铁头应先对印制电路板的焊点或导带加热，尽量不要碰到元件。另外，还要控制每次焊接时间在 3s 左右，焊接完毕后让印制电路板在常温下自然冷却。以上方法和技巧同样适用于贴片式二极管、晶体管的焊接。

贴片式集成电路的引脚数量多、间距窄、硬度小，如果焊接温度不当，极易造成引脚焊锡短路、虚焊或印制导线铜箔脱离印制电路板等故障。拆卸贴片式集成电路时，可将调温电烙铁温度调至 260°C 左右，用烙铁头配合吸锡器将集成电路引脚焊锡全部吸除后，用尖嘴镊子轻轻插入集成电路底部，一边用电烙铁加热，一边用镊子逐个轻轻提起集成电路引脚，使集成电路引脚逐渐与印制电路板脱离。用镊子提起集成电路时一定要随电烙铁加热同步进行，防止操之过急将印制电路板损坏。

换用新集成电路前要将原集成电路留下的焊锡全部清除，保证焊盘的平整清洁。然后将待焊集成电路引脚用细砂纸打磨清洁，均匀搪锡，再将待焊集成电路脚位对准印制电路板相应焊点，焊接时用一只手轻压在集成电路表面，防止集成电路移动，另一只手操作电烙铁蘸适量焊锡将集成电路四角的引脚与印制电路板焊接固定后，再次检查确认集成电路的型号与方向，正确后正式焊接。将电烙铁温度调节在 250°C 左右，一只手持电烙铁给集成电路引脚加热，另一只手将焊锡丝送往加热引脚进行焊接，直至全部引脚加热焊接完毕，最后仔细检查和排除引脚短路和虚焊，待焊点自然冷却后，用毛刷蘸无水酒精再次清洁印制电路板和焊点，防止遗留焊渣。

3. 进行维修

大量的经常性的修理工作是更换不能正常工作的元器件，比如换一块新的集成电路。在修理过程中，有两个方面要特别注意：

(1) 注意做好拆焊和焊接工作 在拆焊元器件时要特别小心，防止损坏印制电路板。在更换元器件时，首先是把元器件拆焊，去掉旧的元器件，然后把新的元器件焊上。

(2) 正确地使用 MOS 器件 重点要注意的是 MOS 器件的使用。MOS 器件容易受静电的影响，处理不当就会造成损坏。新 MOS 器件总是包在导电的材料中，并把所有的端线都互相短接。在处理和安放这种器件时，必须要小心。一般是通过良好的接地避免出问题，另外有两个简便易行的措施可以采用：把正在使用的印制电路板和电烙铁都接地；在装配线上，一定要可靠地接地，以防止静电荷转移到 MOS 器件上。

在维修过程中，要注意集成电路维修代换的方法与技巧，总结为如下几条：

1) 集成电路型号的识别。要全面了解一块集成电路的用途、功能、电特性，必须知道该集成电路的型号及其产地。电视、音响、录像用集成电路与其他集成电路一样，其正面印有型号或标记，从而根据型号的前缀或标志就能初步知道它是哪个生产厂或公司的集成电路，根据参数就能知道它具备哪一类的电路功能。

2) 使用前应对集成电路进行一次全面了解。不同系列的集成电路替换时，要对该集成电路的逻辑功能、内部结构、电气性能、外形封装以及与该集成电路相连接的电路作全面分析和理解，使用时各项电气性能参数不得超出该集成电路所允许的最大使用范围，还要考虑引脚的匹配问题。

3) 安装集成电路时要注意方向。在印制电路板上安装集成电路时，要注意方向不要搞

错,否则通电时集成电路很可能被烧毁。一般规律是:集成电路引脚朝上,以缺口、“·”或竖线条为准,引脚编号则按逆时针方向排列;如果是单列直插式集成电路,则以正面(印有型号商标的一面)朝自己,引脚朝下,引脚编号顺序一般从左到右排列。除了以上常规的引脚方向排列外,也有一些引脚方向排列较为特殊,应引起注意。这些大多属于单列直插式封装结构,它的引脚方向排列刚好与上面说的相反,后缀为“R”,如M5115和M5115RP、HA1339A和A1339AR、HA1366W和HA1366AR等,即印有型号或商标的一面朝自己时,引脚朝下,后缀为“R”的引脚排列方向是自右向左。这主要是一些双声道音频功率放大电路,在连接BTL功率放大电路时,为印制电路板的排列对称方便而特别设计的。

还有双列14脚附散热片封装,如单声道音频功率放大电路AN7114与AN7115,它们与LA4100、LA4102的封装形式基本相同,所不同的是AN7114的散热片安装在引脚第7、8脚的一边,而LA4100的散热片是安装在引脚第1、14脚的一边,其内部电路和参数等均相同,如果LA7114的第1~7脚对应于LA4100的第8~14脚,而AN7114的第8~14脚对应于LA4100第1~7脚,正好相差 180° ,散热片互为 180° 安装代换时,则两者引脚可兼容。

4) 要防止超过最高温度,一般集成电路所受的最高温度是 $260^\circ\text{C}/10\text{s}$ 或 $350^\circ\text{C}/3\text{s}$ 。这是指每块集成电路全部引脚同时浸入离封装基底平面的距离在 $1\sim 1.5\text{mm}$ 的位置所允许的最长时间,所以波峰焊和浸焊温度一般控制在 $240\sim 260^\circ\text{C}$,时间约 7s 。

发射极耦合逻辑(Emitter Couple Logic, ECL)电路的速度高,功耗也大。用于小型系统时,器件上应装散热器;用于大、中型系统时,则应加装风冷或液冷设备。

5) 注意引脚能承受的应力与引脚间的绝缘。集成电路的引脚不要加上太大的应力,在拆卸集成电路时要小心,以防折断。对于耐高压集成电路,电源(U_{CC})与地线及其他输入线之间要留有足够的空隙。

6) 对功率集成电路需要注意以下几点:

① 在未装散热板前,不能随意通电。

② 在未确定功率集成电路的散热片应该接地前,不要将地线焊到散热片上。

③ 散热片的安装要平,紧固转矩一般为 $4\sim 6\text{kg}\cdot\text{cm}$,散热板面积要足够大。

④ 散热片与集成电路之间不要夹进灰尘、碎屑等东西,中间最好使用硅脂,用以降低热阻,散热板安装好后,需要接地的散热板用引线焊到印制电路板的接地端上。

7) 集成电路引脚加电时要同步,原则上集成电路的 U_{CC} 与地之间要最先加上电压。CMOS电路尚未接通电源时,绝不可以将输入信号加到CMOS电路的输入端。如果信号源和CMOS电路各用一套电源,则应先接通CMOS电源,再接通信号源的电源;关机时,应先切断信号源电源,再关掉CMOS电源。

8) 集成电路不允许大电流冲击。大电流冲击最容易导致集成电路损坏,所以,正常使用和测试时的电源应附加电流限制电路。

9) 要注意供电电源的稳定性,不应带电插拔集成电路。带有集成电路插座、电路间连接采用接插件以及组件式结构的音响设备等,应尽量避免插拔集成电路或接插件,若必须要插拔,之前一定要切断电源,并注意让电源滤波电容放电后再进行。

供电电源和集成电路测量仪器在电源通断切换时,如果产生异常的脉冲波,则要在电路中增设由二极管组成的浪涌吸收电路。

10) 集成电路及其引脚应远离脉冲高压、高频等装置,防止感应电动势击穿集成电路。

连接集成电路的引线及相关导线要尽量短，在不可避免的长线上要加入过电压保护电路，尤其是汽车用汽车音响的安装更要注意。CMOS 集成电路接线时，外围元器件应尽量靠近所连引脚，引线力求短捷，避免使用平行的长引线，否则易引入较大的分布电容和分布电感，容易形成 LC 振荡。解决的办法是在输入端串入适当阻值的电阻。

CMOS 集成电路用于高速电路时，要注意电路结构和印制电路板的设计。输出引线过长，容易产生“振铃”现象，引起波形失真。

由于 ECL 电路属于高速数字集成电路，因此必须考虑信号线上存在的“反射”以及相邻信号线之间的串扰等特殊问题，必要时应采用传输线（如同轴电缆），并保证传输线的阻抗匹配。此外，还需采用一定的屏蔽、隔离措施。当工作频率超过 200Hz 时，宜选用多层印制电路板，以减少地线阻抗。

电子设备电路中带有继电器等感性负载时，在集成电路相关引脚要接入保护二极管以防止过电压击穿。焊接时宜采用 20W 内热式电烙铁（电烙铁外壳需接地线）或采用防静电电烙铁，防止因漏电而损坏集成电路。每次焊接时间应控制在 3~5s 内。有时为安全起见，也可先拨下电烙铁电源插头，利用电烙铁的余热进行焊接。严禁在电路通电时进行焊接。

CMOS 电路的栅极与源极之间，有一层厚度仅为 $0.1 \sim 0.2 \mu\text{m}$ 的二氧化硅绝缘层。由于 CMOS 电路的输入阻抗高，而输入电容又很小，只要在栅极上积有少量电荷，便可形成高压，将栅极击穿，造成永久性损坏。因人体能感应出几十伏的交流电压，衣服在摩擦时还能产生若干伏的静电，故尽量不要用手或身体接触 CMOS 电路的引脚。长期不用时，最好用锡纸将全部引脚短路后包好。塑料袋易产生静电，不宜用来包装集成电路。

4. 测试电路工作情况

设备修理完毕，需要进行的最后工作就是测试设备工作是否正常，这是在实际运行条件下检验设备。只有通过这一步才能确定检测到的故障是否确实解决了。一般分以下两步进行：

- 1) 如果有系统诊断程序，开启诊断程序，进行自诊断，若无故障信号，则可确认故障排除；对没有系统诊断程序的数字电子设备，重新对设备进行诊断测试，确认能否正常工作。

- 2) 请专业操作人员来测试设备，确认设备能正常工作。

至此，数字电子设备故障检查维修步骤全部结束。

第2章 组合逻辑电路

组合逻辑电路应用极其广泛，它的特点是接收二进制代码输入并产生新的二进制代码输出，其在任意时刻的输出状态只与当时的输入信号状态有关，与电路的原状态无关。组合逻辑电路的基本单元电路是各种门电路。

常用的组合逻辑电路有加法器、译码器、编码器、数据选择器等多种电路。这些电路都有 TTL 和 CMOS 系列的中规模集成电路产品，可以按需选用。由于逻辑电路应用的广泛性和系列产品的多样性，熟悉常用组合逻辑电路的功能结构特点、工作原理及使用注意事项是十分必要的，这对正确、合理使用集成电路非常有用，对设计组合逻辑电路也是极其有益的。

2.1 TTL 集成逻辑门的逻辑功能与参数测试

2.1.1 TTL 集成逻辑门的基本知识

一、TTL 与非门的典型电路结构

TTL 与非门的典型电路结构如图 2-1 所示。

电路可分为输入级、中间级及输出级 3 个部分。

输入级：由一个多发射极晶体管 VT_1 和电阻 R_1 组成，相当于一个与门。

中间级：由晶体管 VT_2 、电阻 R_2 、 R_3 组成，起倒相作用，在 VT_2 的集电极和发射极各提供一个电压信号，两者相位相反，供给推拉式结构的输出级。

输出级：由晶体管 VT_3 、 VT_4 、 VT_5 和电阻 R_4 、 R_5 组成推拉式结构的输出电路，其作用是实现反相，并降低输出电阻，提高带负载能力。

二、TTL 与非门的电压传输特性

TTL 与非门的电压传输特性描述了输出电压与输入电压的函数关系，即 $U_o = f(U_i)$ 。对于图 2-1 所示的典型反相器，其电压传输特性如图 2-2 所示，其中 U_i 是加在多发射极晶体管 VT_1 发射极的输入电压， U_o 是输出电压。

电压传输特性分为以下几个部分：

AB 段（高电平段）：当 $U_i \leq 0.6V$ 时， $U_o = 3.6V$ 。这是特性曲线的截止区。

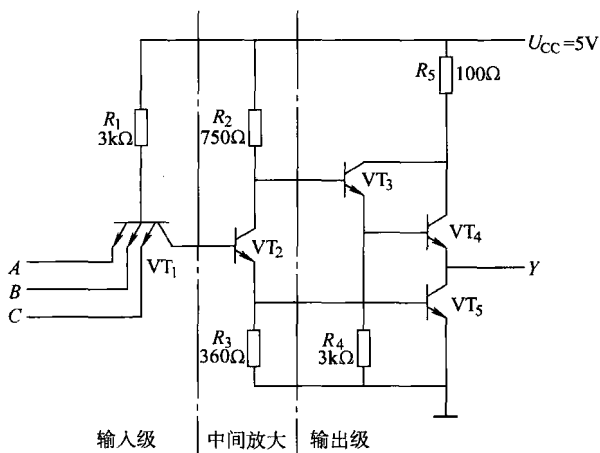


图 2-1 TTL 与非门的典型电路结构