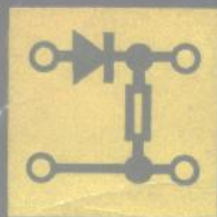




李文峰 陈国桢 编著

脉冲数字电路的测试和阅图

MAICHONG SHUZI DIANLU DE CESHI HE YUETU



人民邮电出版社

74.767
247

脉冲数字电路的测试和阅图

李文峰 陈国桢 编著



人民邮电出版社
1110378

Dt44/05

内 容 提 要

这是一本介绍脉冲数字电路测试方法和阅图技巧的实用性很强的书。全书共分两大部分。第一部分介绍脉冲数字电路测试的基本程序、方法和实验设备，并列举了各类电路测试方案二十三个；第二部分中包括八个既有实用价值、又能帮助读者提高阅图能力的典型应用实例。

本书可供从事数字技术工作（包括生产、维护和研制）的科技人员阅读，也可作为大专院校“脉冲与数字电路”课程的教学参考书。

脉冲数字电路的测试和阅图

李文峰 陈国桢 编著

人民邮电出版社出版

北京东长安街27号

河北省邮电印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

*

开本：787×1092 1/32 1982年6月第一版

印张：13 28/32 页数：222 1982年6月河北第一次印刷

字数：319千字 插页：5 印数：1—20,000册

统一书号：15045·总2564—无6175

定价：1.60元

5550111

前 言

目前,脉冲数字技术已广泛地应用到数字通信、数字计算机、数字式仪表、数字程序控制和雷达数据处理等许多领域。迫切要求掌握脉冲数字电路的基本知识和实际技能(包括安装、调试和阅图),已成为各条战线上应用脉冲数字技术的广大群众的普遍呼声。另一方面,高等院校有关专业“脉冲数字电路”课程的教学工作,也很需要比较系统的实验教案和学习指导。然而目前将脉冲数字电路理论密切联系实际,系统总结实践环节基本内容的书还见得不多。针对这种情况,我们在教学、科研实践的基础上,编写了这本书。

全书共分两大部分。第一部分是“脉冲数字电路的测量和调试”,在综合介绍脉冲数字电路测试的基本程序与方法,常用实验设备器材和半导体器件使用常识的基础上,列出各种类型电路测调方案二十三个。每个方案中包括:电路工作原理、特点、应用场合;测量调试程序和方法;测试结果示范、性能分析或波形处理实例;故障分析及排除等。第二部分是“脉冲数字电路阅图举例”,在介绍电路图种类、逻辑图一般绘制格式、阅图要领和方法的基础上,介绍了既有实用价值,又能帮助读者提高阅图能力的八个典型应用实例。我们希望这本书对培养和提高读者的独立工作能力、基本操作技能和阅图水平有所帮助。

编写本书过程中,曾得到校内外有关同志们的大力支持和热情帮助。北京邮电学院沈树雍教授和安德宁、王占宁同志,

邮电部数据所周师熊同志，清华大学刘宝琴同志等，均对书稿内容提出了宝贵意见。美国哥伦比亚特区大学赵鉴芳教授在回国讲学的百忙中审阅了全稿。在此一并表示深切的谢意。

由于作者水平有限，书中缺点、错误在所难免，敬请读者批评指正。

李文峰 陈国桢
于合肥工业大学

目 录

第一部分 脉冲数字电路的测量和调试	1
1.1 脉冲数字电路测量、调试的基本程序与方法	2
1.1.1 测量、调试前的准备工作及注意事项	2
1.1.2 脉冲数字电路测量、调试工作的一般程序与方法	5
1.2 脉冲数字电路中半导体器件的使用	10
1.2.1 晶体管的开关特性和使用说明	10
1.2.2 晶体管——晶体管逻辑(TTL)集成电路实用知识	15
1.2.3 MOS 集成电路使用注意事项	24
1.2.4 逻辑电平转换	25
附录 半导体器件的老化与筛选	29
1.3 测量、调试所需器材和仪表	31
1.3.1 实验线路板和电源	32
1.3.2 脉冲信号发生器	33
1.3.3 脉冲示波器	39
1.3.4 逻辑探测仪	47
1.4 脉冲数字电路测、调实例	56
1.4.1 脉冲参数及其测量	56
1.4.2 简易多波信号形成电路	60
1.4.3 集—基耦合双稳态触发器	70
附录 以双稳态触发器组成的 n 次分频电路	80
1.4.4 射极耦合双稳态触发器	87
1.4.5 脉冲信号的产生与变换电路	95
1.4.6 间歇振荡器	107
1.4.7 “与—或—非”门电路	111

附录 逻辑电路与触点电路、逻辑函数式之间的变换	124
1.4.8 与非门电路	125
附录 门电路逻辑符号及其说明	136
1.4.9 TTL 集成电路与非门	138
附录 筛选数字集成电路的新方法——电流峰筛选法	157
1.4.10 TTL 集成逻辑门组成的脉冲电路	161
1.4.11 HTL 集成电路与非门	173
附录 由集成与非门构成的各种脉冲电路对照表	180
1.4.12 集成电路鉴幅器	181
1.4.13 MOS 集成门电路及其组成的基本脉冲电路	186
附录 几种 MOS 集成电路产品及 MOS 元件测试台	197
1.4.14 组合逻辑电路	203
1.4.15 TTL 集成门电路组成的触发器	216
附录 两种手动逻辑信号源	230
1.4.16 TTL 型单块集成触发器	231
1.4.17 二进制、二——十进制计数器	240
1.4.18 MOS 型 N 进制加法计数器	253
1.4.19 译码与显示电路	262
1.4.20 TTL 型十进位通用计数插件板	275
1.4.21 运算放大器	284
1.4.22 数据选择器	300
1.4.23 模数转换和数模转换电路	312
第二部分 脉冲数字电路阅图举例	321
2.1 阅图方法概述	321
2.1.1 电路图的基本种类	321
2.1.2 逻辑图的一般绘制格式	322
2.1.3 一般的阅图要领和方法	323
2.2 阅图实例	325
2.2.1 晶体管参数快速综合测试仪	325

2·2·2	数字式石英钟	338
2·2·3	节拍脉冲发生器	344
2·2·4	小型运算器	351
2·2·5	简易通用程序控制器	365
2·2·6	直流数字电压表	376
2·2·7	通用电子计数器	385
2·2·8	数字温度巡回检测仪	426

第一部分 脉冲数字电路 的测量和调试

测量、调试工作贯穿在数字逻辑设备设计、制作及使用过程的始终。通过测量、调试，可以发现并纠正初拟设计方案（包括整机逻辑框图设计与局部电路参数设计）和工艺制作中的错误或不足之处，掌握数字逻辑设备正常运行时的各项参数、电路状态、动作情况与逻辑功能，并借助于监视、测量环节（如逻辑探测仪、故障自动寻找环节等专用的测试仪器或设备）监视设备的运转情况，进行故障报警与故障寻迹。测量、调试工作既是应用理论知识来解决生产实际中各种问题的关键环节，又是检验、修正设计方案的实践过程，因此是每个数字电路工作者必须具备的基本操作技能。

那么，脉冲数字电路测量、调试的基本程序与方法究竟是什么？如何正确选择、正确测量、正确使用元器件（包括集成电路组件）？如何选择并正确使用测试仪器、仪表？怎样从原理上分析和认识测量、调试过程中所遇到的各种现象和故障？……这一系列问题的讨论正是本书第一部分的中心任务。

第一部分中，在综合介绍脉冲数字电路测量调试的基本程序与方法、常用实验设备器材和集成电路使用常识的基础上，精选了各种类型电路的测调方案二十余个。每个方案包括如下内容：电路工作原理和特点简介；测量、调整程序和方法；测试结果与性能分析。部分方案中附有故障分析及其排除方法，测试结果示范或波形处理实例。

1110378

· 1 ·

1.1 脉冲数字电路测量、调试的基本程序与方法

1.1.1 测量、调试前的准备工作及注意事项

大家知道，只有按照设计图纸的技术要求，首先对所用元器件进行老化处理、筛选，而后严格遵照装配守则的规定进行装配，经仔细检查确认无误后，方可按技术条件进行各项测量、调整。因此，认真做好以下各项工作是保证脉冲数字设备能稳定、可靠工作的重要环节，也是顺利进行测量、调试的前提和基础。这些工作是：

一、元件的预测、老化和筛选

在进行装配焊接之前，必须对使用的元器件（如电阻、电容、二极管、晶体管、集成电路……）预先进行测量，有的还要进行老化筛选。测量要求和老化、筛选办法，需根据技术条件和老化、筛选规范进行（见附录）。

二、敷 线

数字逻辑设备中各单元之间连线的敷设，应注意如下问题：

防止相互干扰——在敷线之前，要先分析一下可能产生相互干扰的因素，再制定敷线方案。为了防止相互干扰，一般遵循的原则是交流和直流走线要分开，强电与弱电走线要分开，

输入与输出走线要分开。

选择合适的导线——应根据具体情况选择导线。如信号通道和逻辑电路的导线，其工作电压不高，工作电流很小，主要应从机械强度来考虑；市电交流电源线和数码管的供电线，因电压较高，主要应考虑其绝缘强度；一些低电压、大电流的直流稳压源，则主要考虑电流密度；固定敷设的导线可采用单股导线（硬线）。此外，为了使敷线整齐、稳固，多根平行导线宜组成线束；为了方便调测和维修，常按线路性质选用不同的色线，以示区别（如：直流电源正端用红线，负端用白线；地线用黑线或裸线；晶体管的引线套上不同颜色的套管——发射极用红色，基极用蓝色，集电极用黄色）。

三、印刷电路板

设计印刷电路板时应注意如下几点：线条宽度要与电流大小相适应，小电流的电路则从机械强度考虑，线条过细制板时易发生断路；焊点处要加大面积，以提高焊点质量并防止焊接过程中铜箔受热剥落；输入信号和输出信号线并行时，要适当加大线间距离以防止寄生反馈；直流电源线与接地线的线条宽度，要以减少分布电容和寄生反馈为依据，必要时可环抱接地，以增强屏蔽隔离作用；同一设备中的印刷板，引出脚编号规定应该统一，以便于连线和测量调试；印刷板上应注明必要的文字和符号。

双面板的设计、制作要比单面板复杂，但使用双面板可提高板面利用率，应根据具体情况决定选用单面板还是双面板。

由于设计集成电路的印刷板比分立元件的方便，可先用通用印刷板接线调试，然后，再设计专用板。

所有印刷板在焊接元件之前，务必检查一下有无短路和断

路情况，以防意外事故发生。

四、焊 接

各种电子设备由于焊接不良而造成的故障极为常见，这不仅给测量调试工作带来极大困难，而且直接影响到整个逻辑系统的可靠性和稳定性。因此，必须认真对待，以达到消灭此类故障的目的。

为了提高焊接质量，应该注意如下几点：选择合适的焊锡、焊剂和烙铁；被焊点的接脚要认真进行清洁处理，并在焊接之前预先搪锡（目前广泛采用“超声搪锡”的方法，取得较好效果）；焊接时使烙铁头和焊接物的接触面积尽量大一些，严格控制焊接时间并保证有足够的焊接温度；焊接过程中手不要颤抖；焊点上的锡量要适中。

一般焊接次序为先焊细导线和小型元件，后焊管子和较大元件。因为大元件占的面积大，又比较重，后焊比较方便；管子怕热，后焊不致因焊接其它导线时烙铁的热量传到管子内部而损坏。

焊点质量，可以从外表来观察。标准是：焊点的大小合适；焊锡与导线、焊片（或铜箔）之间熔合，没有明显的分界；焊点光亮、圆滑、清洁。

不同器件的具体焊接方法与注意事项，分别在1·2·1、1·2·2和1·2·3节中介绍。

在所有元件焊接、装配完毕但尚未调试之前，应反复检查线路板——是否有断线、缺线、错线、虚焊的地方，电阻、电容元件的参数规格是否符合图纸要求？位置是否正确？电解电容器的极性是否接对？二极管的型号是否符合要求？其位置、极性是否正确？三极管的型号及管脚位置是否对？集成电路的

型号和引出脚连线是否有误？……当把以上提到的及其它从外观可以检查出来的故障排除之后，便可以根据逻辑电路的具体内容拟定合适的测调程序与方法，并选用合适的仪器仪表进行测量、调试工作了。

1.1.2 脉冲数字电路测量、调试工作的一般程序与方法

数字逻辑系统的测量、调试工作一般分两步进行：首先测调单元线路板，俗称为“分调”。其目的是检验每块线路板内每一个门电路、反相器、触发器等单元电路的工作是否正常。在分调工作做好的基础上，再进行整机调试，检验整个逻辑系统是否能够按照预定的技术要求正常工作，俗称为“总调”或“联调”。

脉冲数字电路中的基本逻辑电路或部件的测调，对整个逻辑系统而言，均属一般“分调”范围。它是总调的基础，是本篇着重讨论的主题。

一、对测量工作的要求与测量程序

对脉冲数字电路每进行一次测试，其结果都和选用的仪器、拟定的方法、被测电路的组成及元件特性等因素有关。因此，在正式测量之前务必弄清楚以下问题：测量什么项目和内容？选用什么仪器仪表？拟定什么步骤和方法？注意哪些事项？预测结果是什么？可能出现哪些问题？应如何解决？

1. 对测量工作的要求

无论选用什么测量仪器和方法，对测量工作的总要求应

是：

通过测量，应获得被测电路的有关参数、波形、性能指标及其它必要的测量结果，从而加深对电路工作原理的理解；

要严格保持或模拟电路的实际情况（如外接负载、逻辑电平等等），不能由于测量而失去电路的真实性，或破坏电路正常工作状态；

测量方法和仪表的选用均应从实际出发，力求简便有效，并注意设备和人身安全；

坚持边测量、边记录、边分析估算的求实作风和科学态度。对所测结果立即进行分析、判断，以区别其真伪，进而决定取舍，并为调整工作提供依据和线索。

2. 基本测量程序与内容

脉冲数字电路的基本测量项目分为两大类——“静态”测量和“动态”测量（有时也有“半动态”测量）。测试程序一般是先静后动。在基本测试项目完成的基础上，根据实际需要有时还进行某些专项测试（如电源波动情况下的电路稳定性检查、抗干扰能力测定……）。

静态测量——所谓“静态”，一般是指输入端不加输入信号或加固定电位信号使电路处于稳定状态而言。静态测量的对象，主要是各点电位。因一般逻辑电路对测量精度要求不高，因此采用内阻较高（ $2 \times 10^4 \Omega/V$ ）的万用表进行静态测量已能满足要求。只有一些特殊电路（如A/D转换、比较电路……）才可能提出严格要求。

动态测量——所谓“动态”，一般是指电路输入端引入合适的输入脉冲时，由一种稳态变化到另一种稳态的过程。动态测量通常是用示波器观察和测量电路的输入、输出脉冲波形，并

测出被测信号的幅度、脉宽、占空比、前后边沿时间等脉冲参数。动态测试时需选择合适的脉冲信号发生器和脉冲示波器（见1.3.2节和1.3.3节）。

以多输入端逻辑门电路为例——其静态测试应包括测量各个输入端分别接入不同的电位时输出端的电位变化情况，据此分析各数值间的逻辑关系；动态测试则是指观察和测量输入端接入不断变化的脉冲信号时，输出波形的变化情况。若所有输入端均接脉冲信号时测其输出波形，则称“全动态测试”；若各输入端中既有电位信号又有脉冲信号，则称“半动态测试”（详见1.4.7和1.4.8节）。

再以双稳态触发器为例。静态测试包括两种稳定状态的测定、触发翻转检查、工作稳定性检查等。测试目的是检查电路的原始状态是否符合一管截止、一管饱和导通，电路能否正常翻转，参数是否对称及稳定性如何等。动态测试是在触发信号（选择合适的频率、极性、幅度）作用下，测试记录电路各点波形的变化情况，触发幅度和触发信号频率之间的关系等。据此可以测定输出、输入信号间的分频关系，输出脉冲的上升和下降时间，最高触发频率，触发灵敏度和抗干扰能力，以及接入不同性质负载时，对输出波形参数有何影响（详见1.4.3节）。

有时根据具体使用场合的特殊要求，还需进行某些专项测试。例如，要求某数字逻辑系统在干扰严重的恶劣环境中工作，我们除了在电路设计时应采取周密的抗干扰措施外，还应在以上各项测试之后，专门进行抗干扰实验，以确保系统能经得起考验而稳定、可靠地运行。

根据测量结果，我们结合电路进行分析，就可以得出具有普遍意义的结论，并找出存在问题，为调整工作做好充分准备了。

二、脉冲数字电路调试工作的关键和常用方法

测量电路可以发现电路设计或制作工艺中存在的问题和故障。此后，如何改善电路性能使之满足预定要求，则是急待解决的问题。通过对电路或参数进行合理的调整，使电子设备的各项指标完全符合要求，是一项极为重要而技术性较强的工作。

调整工作的关键是善于对实测结果进行分析，而中肯的分析只能来自正确的测量。根据测量得来的数据、波形和现象，结合电路进行分析、判断，明确症结所在，就可以进而提出调整、改进措施。显然，“测量”是发现问题的过程，“调整”则是解决问题、排除故障的过程，而调整后的再测量，又往往是判断调整是否正确的依据。

根据电路类型和工作者的经验不同，调整方法多种多样。针对脉冲数字设备中相同的基本单元往往比较多这一特点，可以总结出很多行之有效的调整方法。

通常，调整工作是循着信号的流程逐级进行的，可以从输入端向输出端推进，也可以从输出端向输入端倒着调整。为了尽快缩小疑区，迅速找出故障点，对于较复杂的数字逻辑装置来说，常用“替代法”、“对比法”、“对分检测法”等等。

替代法——在调试中，将已调整好的单元组件替代有故障或有疑问的电路中相同的单元组件，可以很快地判断出故障原因是在单元组件本身，还是在其他有关的单元或接线；当确认这一单元有问题时，还可以将单元中的部分电路与正常单元的相同部分进行替代；当确认某一局部有问题时，还可将元件进行替代调试。当采用插座板和专用夹具进行集成电路调测时，替代法更显示出其优越性。

对比法——当怀疑某一电路存在问题时，可将其状态、参数与相同的正常电路一一进行对比。用这种方法可以很快地找到电路中某些不正常参数，进而分析出故障原因，将故障排除。

对分法——对于有故障的多级电路，为了减少调测工作量，可将电路分为两个部分，先检测这前后两部分中究竟哪一部分有故障，然后再对有故障部分进行对分检测，一直对分到找出故障点为止。

对于单元逻辑电路而言，若经测量发现有异常现象，可能的原因有：某些焊点虚焊，元器件损坏，半导体器件特性参数取值不当或性能不稳定，脉冲信号源参数与电路参数配合不当，信号源本身脉冲参数不符合要求等。各种类型脉冲数字电路的测量、调试方案及故障分析，将在1·4章中详细介绍。

必需强调指出，实际工作中测量与调整决非截然分开的两个步骤，而是紧密配合、穿插进行的。总是遵循测量、分析、调整、再测量……的程序步步深入，直至故障排除，各项指标符合要求，才算测调工作暂告结束。

此后还需要对从发现问题、分析问题到解决问题的全过程中的经验、教训、心得体会进行总结，这是“技术档案”工作的核心，也是不断积累经验的必经之路。单元电路测量、调试总结的内容一般包括：测调目的，使用仪器仪表，实验电路与接线图，实测波形、数据与计算结果（包括绘制曲线），测调结果及有关问题的分析讨论（主要指实测结果与预期结果的符合情况，误差分析以及测调中出现的故障及其排除等等）。数字逻辑系统的总结内容还应包括：（1）方框图（提供一个系统的输入、输出、功能块、数据通路和重要控制信号的概貌）、逻辑图（按部颁的标准逻辑电路符号绘出组成线路的详