



面向21世纪课程教材之一

Textbook Series for 21st Century

数字逻辑电路实验

苏友平 马义忠 编



兰州大学出版社
LANZHOU UNIVERSITY PRESS

第2版

清华大学出版社

数字逻辑电路实验

周志敏 马永强 编



面向 21 世纪标准化实验教材之一

数字逻辑电路实验

苏友平 编
马义忠

兰州大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

数字逻辑电路实验/苏友平,马义忠编. —兰州:兰州大学出版社,2004
ISBN 7-311-02457-9

I. 数... II. ①苏...②马... III. 数字电路:逻辑电路—实验 IV. TN79-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 082972 号

数字逻辑电路实验

苏友平
马义忠 编

兰州大学出版社出版发行

兰州市天水路 308 号 电话:8617156 邮编:730000

E-mail:press@onbook.com.cn

http://www.onbook.com.cn

兰州大学出版社激光照排中心照排

兰州德辉印刷有限责任公司

开本: 787×1092 1/16

印张:7.5

2004 年 8 月第 1 版

2004 年 8 月第 1 次印刷

字数:170 千字

印数:1~1000 册

ISBN7-311-02457-9/T.139

定价:15.00 元

前 言

本书是由原苏友平等编著的《数字逻辑电路实验讲义》改写而成。它主要包括三部分：（一）基础实验。包括门电路静态测试和动态测试实验。（二）基本集成逻辑电路的功能与应用。包括一般的大、中、小规模集成电路（即 TTL 和 CMOS）和可编程逻辑器件 PLD；关于前者的应用，采用传统的设计方法；而对 PLD 的应用，是靠计算机辅助设计的 EDA（Electronic Design Automation —— 电子设计自动化）技术。对 PLD，我们只安排了一个基本实验，那就是实验十五。本部分的重点依然是一般的 TTL 和 CMOS。（三）综合性（数字系统）实验。这部分实验既有采用 EDA 技术进行设计的 PLD 电路，也有采用传统设计方法设计的普通 TTL 和 CMOS 电路。注意，设计（包括电路设计、计算机程序设计和实验步骤设计）只是整个实验的一个组成部分，而不是全部，重点是做实验。正如“杂交水稻之父”袁隆平所说：“我们的科技人员不仅需要实验室技术，也要懂种田，电脑里可种不出水稻啊！”所以，EDA 只能帮助我们进行电路设计，不能用它（主要是其中的仿真）代替我们的实验。

为了使学生做起实验来不枯燥，激发他们做实验的热情，引导并开发他们的创造能力，我们总是力图把器件的功能和测试放在电路中，把电路放在应用中。关于如何做好实验，我们提出：思想上重视是做好实验的前提，认真预习是做好实验的保证，坚持“多想少动”是做好实验的诀窍，写好总结报告是实验的重要一环。此外，查阅器件手册和阅读仪器使用说明书也是实验的一项基本功，应注意这方面的训练。

本书所列实验，无论是在题目的数量上，还是在每个题目的实验内容上，都超出了计划课时所规定的量。因此，在具体操作上要根据具体情况加以适当选择。

本书第一章由马义忠编写；第二章至第六章，以及附录 A、附录 B 和附录 C 由苏友平编写。限于我们的学识和经验，书中的错误和不妥之处在所难免，敬请读者不吝赐教。

编 者

2004 年 4 月于兰州大学

目 录

第一章 数字逻辑电路实验及课程设计要求	(1)
第一节 数字逻辑电路实验的目的、意义及要求	(1)
第二节 数字逻辑电路实验的一般要求	(2)
第三节 测量结果的处理	(3)
第四节 数字逻辑电路的测试和故障的查找与排除	(4)
第五节 数字逻辑电路课程设计的基础知识和设计方法	(5)
第六节 数字逻辑电路的组装	(7)
第七节 数字逻辑电路的调试	(7)
第八节 课程设计的总结报告	(10)
第二章 示波器的使用和基本门电路的特性	(11)
实验一 示波器的使用	(11)
实验二 门电路静态特性的测量	(14)
实验三 门电路的延迟时间	(18)
第三章 组合逻辑电路与时序逻辑电路	(24)
实验四 集成门电路的组合电路实验	(24)
实验五 编码器和译码器实验	(27)
实验六 加法器实验	(31)
实验七 触发器实验	(33)
实验八 计数器和移位寄存器实验	(40)
实验九 顺序脉冲发生器的设计与调试	(46)
实验十 序列信号的产生与检测	(47)
第四章 RAM、A/D 转换、D/A 转换及 555 定时器实验	(49)
实验十一 RAM 存储器实验	(49)
实验十二 $3\frac{1}{2}$ 位数字直流电压表的安装调试	(53)
实验十三 D/A 转换器实验	(56)

实验十四 555 定时器的应用实验·····	(58)
第五章 可编程逻辑器件与 EDA 技术初步·····	(65)
实验十五 可编程逻辑器件实验·····	(65)
第六章 综合性实验·····	(75)
实验十六 智力竞赛抢答器的设计与调试·····	(75)
实验十七 具有程序控制的反馈移位寄存器的设计与调试·····	(80)
实验十八 周期性同步数制转换系统设计与调试·····	(83)
实验十九 PLD 自动售票系统的设计与调试·····	(92)
实验二十 用 TTL 实现自动售票系统的设计与调试·····	(94)
实验二十一 路口交通灯管理系统的设计与调试·····	(99)
附录 A 示波器的基本原理·····	(101)
附录 B “KENWOOD”示波器的操作面板说明·····	(103)
附录 C 器件引脚图·····	(110)
参考文献 ·····	(114)

第一章 数字逻辑电路实验 及课程设计要求

在数字化的今天，数字逻辑电路是数字电子技术的基础之一。为适应科技的发展、知识的拓展，本书将脉冲电路、数字电路、逻辑系统的设计归于数字电子技术的基础部分。

§ 1.1 数字逻辑电路实验的目的、意义及要求

大家知道，科学和技术的发展离不开实验，实验是促进科技发展的重要手段。我国著名科学家张文裕在为《著名物理学实验及其在物理学发展中的作用》一书所写的序言中，精辟论述了科学实验的重要地位。他说：“科学实验是科学理论的源泉，是自然科学的根本，也是工程技术的基础。”他又说：“基础研究、应用研究、开发研究和生产四个方面如果结合得好，经济建设和国防建设势必会兴旺发达。要把上述四个方面结合在一起，必然有一条红线，这条红线就是科学实验。”

数字逻辑电路实验是一门实践性很强的课程，它的任务是使学生获得电子技术方面的基本理论、基本知识和基本技能，培养学生分析问题和解决问题的能力。为此，应加强各种形式的实践环节。

对于数字逻辑电路技术基础这样一门具有工程特点和实践性很强的课程，主要是加强学生的工程训练，特别是对他们技能的培养，对于培养工程人员的素质和能力具有十分重要的作用。现在，有部分大学在学完模拟电子技术基础和数字电子技术基础课程后，又增设了综合实验及课程设计课，这对提高学生综合动手能力和工程设计能力是非常重要的。

数字逻辑电路实验，按性质可分为验证性和训练性实验、综合性实验、课程设计性实验三大类。

验证性和训练性实验主要是针对电子技术本门学科范围，为理论论证和实际技能的培养奠定了基础。这类实验除了巩固、加深某些重要的基础理论外，主要在于帮助学生认识现象，掌握基本实验知识、基本实验方法和基本实验技能。

综合性实验属于应用性实验，实验内容侧重于某些理论知识的综合应用，其目的是培养学生综合运用所学理论的能力和解决较复杂的实际问题的能力。

课程设计性实验对于学生来说既有综合性又有探索性，它主要侧重于某些理论知识的灵活运用。例如，完成特定功能的数字电路的设计、安装和调试等。要求学生在教师指导下，独立进行查阅资料、设计方案与组织实验等工作，并写出实验报告。这类实验对于提高学生的素质和科学实验能力非常有益。

自 20 世纪 90 年代以来，数字电子技术发展呈现出系统集成化、设计自动化、用户专

业化和测试智能化的优势,为了培养 21 世纪数字电子技术人才和适应电子信息时代的要求,我们认为,除了完成常规的硬件实验外,在数字电路技术实验中引入电子电路计算机辅助分析与设计的 EDA (Electronic Design Automation——电子设计自动化)的内容(其中包括若干仿真实验和通过计算机来完成设计的小系统)是必要的,也是很有益的。

总之,数字逻辑电路实验应突出基础技能、设计性综合应用能力、创新能力和计算机应用能力的培养,以适应培养面向 21 世纪人才的要求。

§ 1.2 数字逻辑电路实验的一般要求

尽管数字逻辑电路各个实验的目的和内容不同,但为了培养良好的学风,充分发挥学生的主观能动作用,促使其独立思考、独立完成实验并有所创造,我们对实验前、实验中和实验后分别提出如下基本要求:

一、实验前的要求

为了避免盲目性,参加实验者应对实验内容进行预习,明确实验目的和要求,掌握有关电路的基本原理(课程设计则要完成设计任务),拟出实验方法和步骤,设计实验表格,对思考题作出解答,初步估算(或分析)实验结果(包括参数和波形),最后作出预习报告。

二、实验中的要求

1. 参加实验者要自觉遵守实验室规则。
2. 根据实验内容合理布置实验现场,准备好实验所需仪器和装置并安放适当,按实验方案连接实验电路和测试电路。
3. 要认真记录实验条件和所得数据、波形,发生故障应独立思考,耐心排除,并记下排除故障的过程和方法。
4. 发生故障应立即切断电源,并报告指导教师和实验室工作人员,等待处理。
5. 实验结束时,可将记录送指导教师审阅、签字。经教师同意后方可拆除线路,清理现场。

实验过程中不顺利,不一定是坏事,常常可以从分析故障中增强独立工作能力。相反,“一帆风顺”也不一定收获大。做好实验的目的,是独立解决实验中所遇到的问题,把实验做成功。

三、实验后的要求

实验后要求学生认真写好实验报告。

1. 实验报告的内容

(1) 列出实验条件,包括何时与何人共同完成什么实验,当时的环境条件,使用仪器名称及编号等。

(2) 认真整理和处理测试的数据和用坐标纸描绘出波形,并列出表格或用坐标纸画出曲线。

(3) 对测试结果进行理论分析,作出简明扼要的结论。找出产生误差原因,提出减小实验误差的措施。

(4) 记录产生故障的情况, 说明排除故障的过程和方法。

(5) 写出对本次实验的心得体会以及改进实验的建议。

2. 实验报告的要求

文理通顺, 书写简洁; 符号标准, 图表齐全; 讨论深入, 结论简明。

§ 1.3 测量结果的处理

测量结果通常用数字或图形两种方法表示, 下面分别讨论。

一、测量结果的数据处理

1. 有效数字

由于存在误差, 所以测量的数据总是近似值, 它通常由可靠数字和欠准数字两部分组成。例如, 由电压表测得电压 24.8V, 它是个近似数字, 其 24 是可靠数字, 而末尾 8 为欠准数字。即 24.8 为三位有效数字。

对于有效值的正确表示, 应注意如下几点:

(1) 有效数字是指从左边第一个非零的数字开始, 直到右边最后一个数字为止的所有数字。例如, 测得的频率为 0.0157MHz, 它是由 1、5、7 三个有效数字组成的频率值, 而左边的两个零不是有效数字, 它可以写成 1.57×10^{-2} MHz, 也可以写成 15.7kHz, 而不能写成 15700Hz。

(2) 如已知误差, 则有效值的位数应与误差相一致。例如, 设仪表误差为 ± 0.01 V, 测得电压为 12.352V, 其结果应写作 12.35V。

(3) 当给出误差有单位时, 测量数据的写法应与其一致。

2. 数据舍入规则

为使正、负舍入误差的机会大致相等, 传统的方法是采用四舍五入的办法, 现已广泛采用“小于 5 舍, 大于 5 入, 等于 5 时取偶数”的办法。

3. 有效数字的运算规则

当测量结果需要进行中间运算时, 有效数字的取舍, 原则上取决于参与运算的各数中精度最差的那一项。一般应遵循以下规则:

(1) 当几个近似值进行加、减运算时, 在各数中 (采用同一种计量单位), 以小数点后的位数中最小的那一个数 (如无小数点, 则以有效值最小者) 为准, 其余各数均舍入至比该数多一位, 而计算的结果所保留的小数点后的位数, 应与各数中小数点后位数最少者的位数相同。

(2) 进行乘法运算时, 以有效数值位数最小的那一个数为准, 其余各数及乘 (或商) 均舍入至比该因子多一位, 而与小数点位置无关。

(3) 将数平方或开方后, 结果可比原数多保留一位。

(4) 用和进行运算时, n 位有效数字的数应该用 n 位对数表。

(5) 若计算式中出现如 e 、 π 、 $\sqrt{3}$ 等常数时, 可根据具体情况来决定它们应取的位数。

§ 1.4 数字逻辑电路的测试和故障的查找与排除

设计安装好电路之后,要对其进行测试,以检验设计的正确性。测试过程中,难免会出现各种故障,要仔细观察,周密思考,分析其原因,并予以排除。

一、数字电路的测试

数字电路的测试一般分为静态测试和动态测试。静态测试就是直流测试,即由置数开关给电路输入端一组高电平和低电平的组合,测量输出各端的电平,一般可用 LED 指示灯来显示。观察输出和输入的关系是否符合设计要求。动态测试就是在输入端加入交流脉冲信号(通常用方波)情况下,用示波器观察波形以判断其逻辑关系的实验方法。对组合电路除观察冒险毛刺外,一般只进行静态测试就可以了;而对时序电路,必须进行动态测试。

对于复杂电路,要分部进行调试,不要一囫圇就作整体测试。一定要养成分部、逐级调试的良好习惯,不然问题出在什么地方,很难查找。

二、故障的查找与排除

实验中出现问题是难免的,重要的是要冷静分析,找出出现故障的原因,并予以解决。学生在排除故障的过程中,会学到许多知识,积累许多经验,从而提高他们的实验技能。一般说来,产生故障有以下原因:

1. 器件故障

器件故障是器件损坏或器件插接不良引起的,表现为器件不工作或工作不正常。首先应仔细查看器件插接,一般多为管脚折断,或某些引脚没有插到插座中。器件失效,最简单的解决办法是更换,或把该器件换到工作正常的电路上,用以判断该器件是否真的损坏了。

2. 接线错误

接线错误是最常见的故障原因。常见的接线错误有:忘记了接电源和地线;连线和插孔接触不良;连线内部断裂;连线多接、漏接或接错了;连线过长、过乱造成干扰(尤其对时序电路)。接线错误造成的现象多种多样,例如,某个芯片不工作或工作不正常,或过分发热,或某部分电路工作状态不稳定等等。解决的办法就是对着电路图,仔细检查连线。

3. 设计错误

设计错误容易发生在对实验原理和要求没有完全掌握,对器件的功能没有彻底搞清;或者设计考虑不周而造成的。对复杂电路,即使很认真的设计了,也难免会出现失误。不要紧,只要你认真对待了,你会在错误中前进,在错误中成长。即使是很优秀的设计者,也难以作到“文不加点”,一次成功。关键的问题是,通过实验能不能找到问题所在,并予以解决。这是能力高底评估的一个重要方面。

4. 测试方法不正确

在数字逻辑电路实验中,测试方法不正确一般表现在:使用仪器不当,或测量仪器的接入,会对被测电路有较大影响,使电路状态发生改变。这主要是由于测量仪器的输入电

阻过小,或者输入电容(包括引线的分布电容)过大,一般此电容不应大于 200pF。

测量仪器对被测电路的影响是无法避免的,关键是要会估计这种影响的严重程度,以及减小这种影响的方法。有时还要作一些辅助电路,例如在数字电路实验中加入缓冲器或跟随器等。

在实验中,发生测量结果和预期的结果不一致时,不要慌乱,要多想少动,只要不造成电路烧毁事件,没有想好就不要动,每动一步都要有动这一步的理由。要先查“外伤”,后查“内伤”。这对学生的能力是一个很好的锻炼,是检验学生智慧的大好时机。

§ 1.5 数字逻辑电路课程设计的的基础知识和设计方法

数字逻辑电路技术基础课程的设计包括选择课题、电路设计、组装、调试和编写总结报告等教学环节。本章介绍课程设计的有关知识。

设计一个数字逻辑电路系统时,首先必须明确系统的设计任务,根据任务进行方案选择。然后对方案中的各部分进行单元的设计、参数计算和器件选择,最后将各部分连接在一起,画出一个符合设计要求的完整的系统数字电路图。

一、明确系统的设计任务要求

对系统的设计任务进行具体分析,充分了解系统的性能、指标、内容及要求,以便明确系统应完成的任务。

二、方案的选择

这一步的工作要求是把系统要完成的任务分配给若干个单元电路,并画出一个能表示各单元功能的整体系统原理框图。

方案选择的重要任务是根据掌握的知识和资料,针对系统提出的任务、要求和条件,完成系统的功能设计。在这个过程中要敢于探索、勇于创新,力争做到设计方案合理、可靠、经济、功能齐全、技术先进,并且对方案要不断进行可行性和优缺点的分析,最后设计出一个完整框图。框图必须正确反映数字系统应完成的任务和各组成部分的功能,清楚地表示系统的基本组成和相互关系。

三、单元电路的设计、参数计算和器件选择

根据系统的指标和功能框图,明确各部分任务,进行各单元电路的设计、参数计算和集成器件选择。

1. 单元电路的设计

单元电路是整机的一部分,只有把各单元电路设计好才能提高整体设计水平。

每个单元电路设计前都需明确本单元电路的任务及各集成逻辑电路功能,详细拟定出单元电路的性能指标与前后级之间的关系,分析电路的组成形式。具体设计时,可以模仿成熟的先进的电路,也可以进行创新或改进,但都必须保证性能要求。而且,不仅单元电路本身要设计合理,各单元电路间也要互相配合,注意各部分的输入数字信号、输出数字信号和控制数字信号的关系。

2. 参数计算

为保证单元电路达到功能指标要求,就需要用数字逻辑电路技术知识列出驱动方程、

状态方程。例如加法计数器, 555 定时器的应用。只有很好地理解电路的工作原理, 正确利用计算公式, 计算的参数才能满足设计要求。

在列逻辑方程或驱动方程时, 同一个电路可能有几组逻辑函数, 注意选择一组能完成电路设计要求的功能、在实践中能真正可行的参数。

3. 器件的选择

(1) 阻容元件的选择

电阻和电容种类很多, 正确选择电阻和电容是很重要的。不同的电路对电阻和电容性能的要求也不同, 有些电路对电容的漏电要求很严, 还有些电路对电阻、电容的性能和容量要求很高。例如, 在滤波电路中, 常用大容量 ($100\mu\text{F}\sim 3000\mu\text{F}$) 铝电解电容, 为滤掉高频, 通常还需并联小容量 ($0.01\mu\text{F}\sim 0.1\mu\text{F}$) 瓷片电容。设计时, 要根据电路的要求选择性能和参数合适的阻容元件, 并注意功耗、容量、频率和耐压范围是否满足要求。

(2) 集成电路的选择

由于集成电路可以实现很多单元电路甚至整体电路的功能, 所以选用集成电路来设计单元电路和总体电路既方便又灵活, 它不仅使系统体积缩小, 而且保证性能可靠, 便于调试及运用, 在设计电路时颇受欢迎。集成电路有模拟集成电路和数字集成电路。国内外已生成大量集成电路, 其器件的型号、原理、功能、特征可查阅有关手册。选择的集成电路, 不仅要在功能和特性上实现设计方案, 而且要满足功耗、电压、速度、价格等多方面的要求。

(3) TTL 和 CMOS 小、中规模集成电路的选择

在我们的实验中, 大量使用的是小、中规模集成电路 (SSI 和 MSI) 74 系列和 4XXX/45XX 系列。74 系列中的 74LS 是双极性低功耗肖特基器件, 74HC 是高速 CMOS 器件, 4XXX/45XX 是 CMOS 器件, 一般选用双列直插式封装 (参见附录 C)。从上面俯视, 器件一端有一个半圆形缺口, 是正方向的标志。从缺口开始, 逆时针方向引脚从 1 依次增加。通常最大号 n 引脚接 V_{CC} , 另一排引脚的最大号 $n/2$ 接 GND。凡符合这种规律的, 在本讲义中有时就不标出哪个引脚接 V_{CC} , 哪个引脚接 GND。有个别器件不遵守这种电源接法规律的, 在讲义中均已标明。

CMOS 可以直接驱动 TTL, 而 TTL 直接驱动 CMOS 有时会发生困难, 解决的办法是给 TTL 的输出端接一个几千欧的上拉电阻, 以提高其输出高电平值。

在实验中, V_{CC} 都取 +5V, 数字波形是离散量。电压值在 2.5V 以上, 都是高电平; 在 0.8V 以下, 都是低电平。

四、电路图的绘制

为详细表示设计的整机电路及各单元电路的连接关系, 设计时需要绘制完整的电路图。电路图通常是在系统框图、单元电路设计、参数计算和器件选择的基础上绘制的, 它是组装、调试和维修的依据。绘制电路图时要注意以下几点:

1. 布局合理、排列均匀、图面清晰、便于看图、有利于对图的理解和阅读。

有时一个总电路由几部分组成, 绘图时应尽量把总电路画在一张图纸上。如果电路比较复杂, 需绘制几张图, 则应把主电路画在同一张图纸上, 而把一些比较独立或次要的部分画在另外的图纸上, 并在图的断口两端做上标记, 标出信号从一张图到另一张图的引出

点和引入点，以此说明各图纸在电路连线之间的关系。

有时为了强调并便于看清各单元电路的功能关系，每一个功能单元电路的元件应集中布置在一起，并尽可能按工作顺序排列。

2. 注意信号的流向。

一般从输入端或信号源画起，由左至右或由上至下按信号的流向依次画出各单元电路，而反馈通路的信号流向则与此相反。

3. 图形符号要标准，图中应加适当的标注。

图形符号表示器件的项目或概念。电路图的中、大规模集成电路器件，一般用方框表示，在方框中标出它的型号，在方框的边线两侧标出每根线的功能名称和管脚号。除中、大规模器件外，其余元器件符号应当标准化。

4. 连接线应为直线，并且交叉和折弯应尽量少。

通常连接可以水平布置或垂直布置，一般不画斜线，互相连通的交叉处用圆点表示，根据需要，可以在连接线上加注信号名或其他标记，表示其功能或其去向。有的连接线可用符号表示，例如器件的电源一般标电源电压的数值，地线用符号（ $\perp$ ）表示。

设计的电路是否能满足设计要求，还必须通过组装、调试进行验证。

§ 1.6 数字逻辑电路的组装

数字电路设计好后，便可进行组装。下面介绍在实验箱上用插接方式组装电路的方法。

1. 集成电路的装插

插接集成电路时首先应认清方向，不要倒插，所有集成电路的插入方向保持一致，注意管脚不能弯曲。

2. 元器件的装插

根据电路图的各部分功能确定元器件在实验箱的插接板上的位置，并按信号的流向将元器件顺序地连接，以易于调试。

3. 导线的选用和连接

导线直径应和插接板的插孔的直径相一致，过粗会损坏插孔，过细则与插孔接触不良。为检查电路的方便，根据不同用途，导线可以选用不同颜色。一般习惯是，正电源用红线，负电源用蓝线，地线用黑线，信号线用其他颜色的线等。

连线用的导线要紧贴在插接板上，避免接触不良。连接线不允许跨在集成电路上，一般从集成电路周围通过，尽量做到横平竖直，这样便于查线和更换器件。

组装电路时，电路之间要共地。正确的组装方法和合理的布局，不仅使电路整齐美观，而且能提高电路工作的可靠性，便于检查和排除故障。

§ 1.7 数字逻辑电路的调试

实践表明，一个电子装置即使按照设计的电路参数进行安装，往往也难于达到预期的效果。这是因为人们在设计时，不可能周密地考虑各种复杂的客观因素（如元件值的误差，

器件参数的分散性,分布参数的影响等),必须通过安装后的测试和调整,来发现和纠正设计方案的不足和安装的不合理,然后采取措施加以改进,使装置达到预定的技术指标。因此,掌握调试数字电路的技能,对于每一个从事电子技术及其有关领域工作的人员来说是很重要的。

实验和调试的常用仪器有:万用表、稳压电源、示波器、信号源等。

一、调试前的直观检查

电路安装完毕,通常不宜急于通电,先要认真检查一下。检查内容包括:

1. 连线是否正确。

检查电路连线是否正确,包括错线、少线和多线。查线的方法通常有两种:

(1) 按照电路图检查安装的线路

这种方法的特点是,根据电路图连线,按一定顺序逐一检查安装好的线路。由此,可比较容易查出错线和少线。

(2) 按照实际线路来对照原电路图进行查线

这是一种以元件为中心进行查线的方法。把每个元件(包括器件)引脚的连线一次查清,检查每个引脚的去处在电路图上是否存在,这种方法不但可以查出错线和少线,还容易查出多线。

为了防止出错,对于已查过的线通常应在电路图上做出标记,最好用指针式万用表“ $\Omega \times 1$ ”挡,或数字式万用表“ Ω ”挡的蜂鸣器来测量并且直接测量元器件引脚,这样同时发现接触不良的地方。

2. 元、器件的安装情况。

检查元、器件引脚之间有无短路;连接处有无接触不良;集成电路和电解电容极性等是否连接有误。

3. 电源供电(包括极性)、信号源连线是否正确。

检查直流极性是否正确,信号线是否接正确。

4. 电源端对地(⊥)是否存在短路。

在通电前,断开一根电源线,用万用表检查电源端对地(⊥)是否存在短路。检查直流稳压电源对地是否短路。若电路经过上述检查,并确认无误后,就可转入调试。

二、调试方法

调试包括测试和调整两个方面。所谓数字电路的调试,是以达到电路设计指标为目的而进行一系列的“测量→判断→调整→再测量”的反复进行过程。

为了使调试顺利进行,设计的电路图上应当标明各点的电位值、相应的波形图以及其他主要数据。

调试方法通常采用先分调、后联调(总调)。我们知道,任何复杂电路都是由一些基本单元电路组成的,因此,调试时可以循着信号的流程,逐级调整各单元电路,使其参数基本符合设计指标。这种调试方法的核心是,把组成电路的各功能块(或基本单元电路)先调试好,并在此基础上逐步扩大调试范围,最后完成整机调试。采用先分调、后联调的优点是能及时发现问题和解决问题。新设计的电路一般采用此方法,对于数字电路的电子装置更应采用这种方法进行调试。因为只有把三部分分开调试后,分别达到设计指标,并

经过信号及电平转换电路后才能实现整机联调。否则，由于各电路要求的输入、输出电压和波形不符合要求，盲目进行联调就可能造成大量的器件损坏。

除了上述方法外，对于已定型的产品和需要相互配合才能运行的产品也可采用一次性调试。

按照上述调试电路原则，具体调试步骤如下：

1. 通电观察

把经过准确测量的电源接入电路。观察有无异常现象，包括有无冒烟，是否有异常气味，手摸元器件是否发烫，电源是否有短路现象等。如果出现异常，应立即切断电源，待排除故障后才能再通电。然后测量各路总电源电压和各器件的引脚的电源电压，以保证元器件正常工作。通过通电观察，认为电路初步工作正常，就可转入正常调试。

另外，应注意一般电源在开与关的瞬间往往会出现瞬态电压上冲的现象，集成电路最怕过电压的冲击，所以一定要养成先开启电源，后接电路的习惯，在实验中途也不要随意将电源关掉。

2. 静态调试

交流、直流并存是数字电路工作的一个重要特点。一般情况下，直流为交流服务，直流是电路工作的基础。因此，数字电路的调试有静态调试和动态调试之分。静态调试一般是指在无外加信号的条件下所进行的直流测试和调整过程。例如，通过静态测试数字电路的各输入端和输出端的高、低电平值及逻辑关系等，可以及时发现已经损坏的元器件，判断电路工作情况，并及时调整电路参数，使电路工作状态符合设计要求。

3. 动态调试

动态调试是在静态调试的基础上进行的。调试方法是在电路的输入端接入适当频率和幅值的信号，并循着信号的流向逐级检测各有关点的波形、参数和性能指标。发现故障现象，应采取不同的方法缩小故障范围，最后设法排除故障。

测试过程中不能凭感觉和印象，要始终借助仪器观察。使用示波器时，最好把示波器的信号输入方式置于“DC”挡，通过直流耦合方式，可同时观察被测信号的交、直流成分。

通过调试，最后检查功能块和整机的各项指标（如信号的幅值、波形形状、相位关系、增益、输入阻抗和输出阻抗等）是否满足设计要求，如必要，再进一步对电路参数提出合理的修正。

三、调试中注意事项

调试结果是否正确，很大程度上受测量方法正确与否和测量精度的影响。为了保证调试的效果，必须减小测量误差，提高测量精度。为此，需注意以下几点：

1. 正确使用测量仪器的接地端。凡是使用低端接机壳的电子仪器进行测量，仪器的接地端应和放大器的接地端连接在一起，否则仪器机壳引入的干扰不仅会使放大器的工作状态发生变化，而且将使测量结果出现误差。

2. 在信号比较弱的输入端，尽可能用屏蔽线连线。屏蔽线的外屏蔽层要接到公共地线上。在频率比较高时要设法隔离连线分布电容的影响，例如用示波器测量时应该使用有探头的测量线，以减少分布电容的影响。

3. 测量电压所用仪器的输入阻抗必须远大于被测处的等效阻抗。因为, 若测量仪器输入阻抗小, 则在测量时会引起分流, 给测量结果带来很大的误差。

4. 要正确选择测量点用同一台测量仪进行测量时, 测量点不同, 仪器内阻引进的误差大小将不同。

5. 测量方法要方便可行。需要测量某电路的电流时, 一般尽可能测电压而不测电流, 因为测电压不必改动被测电路, 测量方便。若需知道某一支路的电流值, 可以通过测取该支路上电阻两端的电压, 经过换算而得到。

6. 在调试过程中, 不但要认真观察和测量, 还要善于记录。记录的内容包括实验条件, 观察的现象, 测量的数据、波形和相位关系等。只有有了大量可靠的实验记录, 并与理论结果加以比较, 才能发现电路设计上的问题, 完善设计方案。

7. 调试出现故障时, 要认真查找故障原因。切不可一遇故障解决不了就拆掉线路重新安装。因为重新安装的线路仍可能存在各种问题, 如果是原理上的问题, 即使重新安装也解决不了问题。应当把查找故障和分析故障原因看成一次好的学习机会, 通过它来不断提高自己分析问题和解决问题的能力。

§ 1.8 课程设计的总结报告

编写课程设计的总结报告是对学生写科学论文和科研总结报告的能力训练。通过写报告, 不仅把设计、组装、调试的内容进行全面总结, 而且把实践内容上升到理论高度。总结报告应包括以下几点:

1. 课题名称。
2. 内容摘要。
3. 设计内容及要求。
4. 比较和选写设计的系统方案, 画出系统框图。
5. 单元电路的设计、参数计算和器件选择。
6. 画出完整的电路图, 并说明电路的工作原理。
7. 组装调试的内容。

主要包括:

- (1) 使用的主要仪器和仪表。
- (2) 调试电路的方法和技巧。
- (3) 测试的数据和波形并与计算结果比较分析。
- (4) 调试中出现的故障、原因及排除方法。

8. 总结设计电路的特点和方案的优缺点, 指出课题的核心及实用价值, 提出改进意见和展望。

9. 列出系统需要的元器件清单。
10. 列出参考文献。
11. 收获、体会。