

21世纪高等院校电子与通信类教材

数字逻辑电路 实验与能力训练

刘一清 何金儿 丰颖 匡磊 编著

Shuzi Luoji Dianlu
Shiyan yu Nengli Xunlian



科学出版社

21 世纪高等院校电子与通信类教材

数字逻辑电路实验与能力训练

刘一清 何金儿
丰颖 匡磊 编著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书编写以培养中国未来的工程师为目的,注重理论联系实践及培养实验技能。各章节按照理解基本概念—掌握基本方法—培养基本技能—提高综合设计能力这一思想进行编排,由浅入深,引导学生在动手中理解概念,在动手中掌握方法,在动手中学会逻辑思维。

全书共六章,包括基本仪器的实验、基本门电路外部特性的实验和研究、组合逻辑电路实验、脉冲电路实验、时序电路的分析与设计实验、数字电路综合设计,书后有附录和参考文献。

本书可作为电类专业(电子工程、电信工程、电机工程、计算机工程和通信工程)大学本科生的实验教材。

图书在版编目(CIP)数据

数字逻辑电路实验与能力训练 / 刘一清等编著. —
北京: 科学出版社, 2011. 11
ISBN 978 - 7 - 03 - 032573 - 0

I. ①数… II. ①刘… III. ①数字电路: 逻辑电路—
实验 IV. ①TN79 - 33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 211083 号

责任编辑: 郭建宇 谭宏宇 / 责任校对: 刘珊珊
责任印制: 刘 学 / 封面设计: 殷 靓

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码 100717

<http://www.sciencep.com>

南京展望文化发展有限公司排版

江苏省句容市排印厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2011 年 11 月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2011 年 11 月第一次印刷 印张: 10 1/2

印数: 1—3 200 字数: 200 000

定价: 28.00 元

前 言

在做了 20 多年的电路工程师之后,我重新回到培养我的那所大学,并且成了一名大学教师。带着对电路的理解和体会,我承担了“数字逻辑电路及实验”这门课程的教学任务,决心从一名优秀的工程师向成为一名优秀的教师努力,很想把我的全部经验和工程师的心得尽可能地传递给学生。在这 20 多年的电路设计的生涯中,我设计的产品销往世界各地,我也有机会同德国工程师一起设计产品,同美国工程师一道开发项目,而日本工程师则成了我的客户。我发现不同文化背景下的工程师在讨论问题时,相互之间的理解和沟通都很好,因为有着共同的语言——国际工业标准。我也发现中国工程师和外国工程师有着很大的区别:德国工程师非常严谨,美国工程师更富于创造性,日本工程师则体现出深厚的电路功底——他们有时更喜欢用晶体管来解决问题而不是集成电路;中国工程师设计电路时喜欢凭经验,西方工程师设计电路时则更喜欢先理论计算和仿真分析;中国工程师为数不多的人设计电路时考虑信号完整性(SI)、电磁干扰(EMI)、电源完整性(PI)这些问题,很少人能说明自己设计的产品寿命(MTBF)有多长,而这是西方工程师必须回答的问题。这些差异可以追溯到对电路本质的理解;进一步地追索,可以发现我们的电路教材与西方电路教材的不同。我们的教材注重理论,西方的教材注重实践;我们的教师是天生的教师——没有离开过大学;西方的大学教师则是后天的教师——大多来自工业界。

我们不能凭一己之力改变中国大学电路教学的现状,但我们希望做点什么——从中国大学的电路实验开始。因此,我组织了三位都有 20 年以上工作经验的工程师,尝试着编一本培养未来中国工程师的实验教材。教材的编写宗旨是帮助学生准确理解基本电路概念,培养基本的实验技能,学习数字电路系统设计的基本方法,在此基础上提高学生分析问题排除故障的能力,给渴望日后成为工程师的学生工程素养方面的启蒙!

本书编写工作由刘一清提出和组织,他还编写了前言、绪论及第四章,并对全书进行了审核统稿。第一章由丰颖负责编写;第二章、第三章及第六章由何金儿负责编写;实验电路板由何金儿和丰颖设计并验证;第五章由匡磊负责编写。编写过程中各位编者通力合作,都做出了很大贡献,在此深表感谢!

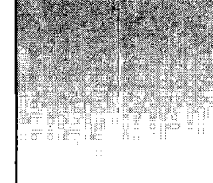
刘一清
2011 年 7 月

目 录

前 言

绪 论	1
0.1 数字电路实验的任务	1
0.2 数字电路的实验过程	2
0.3 实验预习	3
0.4 电子元件参数手册学习	5
0.5 电路原理图阅读	5
0.6 实验过程中的异常情况处理	8
0.7 实验故障排除	9
0.8 实验步骤的编制	9
0.9 实验数据表的设计	9
0.10 实验结果的处理	10
0.11 数字电路实验报告的撰写	12
第1章 基本仪器的实验	13
1.1 万用表	13
1.2 低频信号发生器	18
1.3 示波器	20
1.4 数电实验板的焊接	38
第2章 基本门电路外部特性的实验和研究	44
2.1 基础知识——TTL 非门电路原理	44
2.2 TTL 门电路外部特性的实验研究	45
2.3 CMOS 集成电路外部特性的实验研究	52
第3章 组合逻辑电路实验	60
3.1 基础知识	60
3.2 用小规模电路实现组合电路的实验研究	61
3.3 编码器的实验研究	65

3.4	译码器及数码显示的实验研究	68
3.5	数据选择器的实验研究	73
3.6	冒险和竞争的实验研究	78
第4章	脉冲电路实验	85
4.1	基础知识	85
4.2	多谐振荡器与脉冲产生电路的实验研究	89
4.3	利用逻辑门构成多谐振荡器实验研究	96
4.4	高精确秒脉冲发生器的实验研究	98
4.5	波形调整实验研究	101
第5章	时序电路的分析与设计实验	104
5.1	基础知识	104
5.2	锁存器构成和触发器特性研究实验	105
5.3	同步时序电路分析实验	110
5.4	时序电路设计实验——序列检测	113
5.5	时序电路设计实验——触发器构成计数器	119
5.6	集成计数器应用研究实验	122
第6章	数字电路综合设计	126
6.1	数字电路设计步骤	126
6.2	自动售货机的设计研究	127
6.3	数字锯齿波波形发生器的设计研究	132
6.4	多功能数字电子钟的设计研究	136
6.5	汽车尾灯控制器的设计研究	139
参考文献		144
附录		145



◆ 绪 论

“数字电路”课程是电子工程、自动化工程、通信工程、计算机工程和信息处理工程等专业的核心基础课程,其既是一门抽象的理论课,也是一门操作性很强的实验课,还是一门工程素质培养的启蒙课程。我们调查发现,一些大学在教学中重理论而轻实践,理论课的课时较长,实验课的课时较短,这样培养出来的学生,适合于应试,是应试“思维”;另有一些大学理论和实践并重,一学期纯理论课,另一学期纯实验课;还有的学校是一边上理论课一边上实验课,在一学期内完成。在教学效果上也存在不尽如人意的地方,对于把理论课和实验课独立而在两个学期分别来上的安排,通常学生会觉得第一学期的理论课太抽象难以理解,再加上大多数学生不预习,因此教学效果不佳,老师吃力,学生评教时还反映不满意。我们“数字电路”课程教研小组经过几年的教学实践,探索了一套新型的教学方法,取得了较好的教学效果。其基本思想是理论与实验并重,理论教学和实验教学紧密结合;理论教学的同时也进行实验教学,但实验教学的目的是实验的入门和概念的理解,我们称之为数字电路的概念性实验;理论教学结束后,再进行第二阶段的实验,此时实验教学的目的是对数字电路的基本设计方法和基础仪器的使用技巧进行训练,我们称之为数字电路的技能性实验;第三阶段,我们给学生出一些数模综合性的有一定功能性和实用性的题目,由学生自己选题,自己提出实验方案,我们称之为数字电路的综合性能力拓展实验。

0.1 数字电路实验的任务

数字电路实验既是所有电类专业实践课程的基础,又是学生产生专业兴趣的导引。因此,我们赋予数字电路实验课程如下几项任务。

(1) 数字电路基本概念的理解 数字电路的概念比较抽象,比如“0”和“1”的概念,学生在托儿所和幼儿园就建立起来了,小学、初中及高中都没有变化,其是一个数量多少的表示;而我们数字电路中对其进行了拓展,其还可以表示“是”和“否”,“有”和“无”,“开”和“关”,“大”和“小”,一切的“非此即彼”二值逻辑,其形态也从抽象变成了具体——一个电压信号的大小(TTL 逻辑小于 0.8 V 表示“0”,大

于2 V表示“1”),后续课程进一步拓展(一串脉冲定义为“1”,另一串脉冲定义为“0”);没有实验的体会提供感性认识,这个概念的理解是不可能完成的。

(2) 数字电路设计方法起步 数字电路又称为逻辑电路,其数学基础是布尔代数,它在电路和数学工具之间架起了一道桥梁,其直接导致了计算机的诞生和当今这个信息社会的到来。因此,数字电路的设计方法是一套严密的体系:从逻辑变量的真值表,到卡诺图,从特征方程到状态方程,从状态转换表到状态图,再到具体的电路实现;由简单到复杂,由具体到抽象再回到具体;数字电路的设计方法本质就是化繁为简;使用这种方法,就是从做数字电路实验开始起步的。

(3) 数字电路设计技能的培养 数字电路概念的建立,数字电路设计方法的学习和实践,逐步就会变成一种技能,这种技能的培养需要一个过程,这个过程就是数字电路实验,在实验中领会把握概念,在实验中体会方法和流程,当你能不由自主地,把概念和方法运用到解决工程问题时,这些概念和方法就变成了你的技能。

(4) 工程素养培养的起步 工科专业的主要目的是为社会培养工程师,而合格的工程师不是一天培养出来的,也不是一两门课、一两个项目培养出来的;其核心是工程素养的培养。什么是工程素养?作为工程师所必须具备的概念和知识、方法和习惯,而且这些概念、知识、方法和习惯与人融合成了一个不可分割的整体,举手投足之间都能看到这些概念、知识、方法和习惯的作用和体现,这就是所谓的工程素养;从工程师设计的产品、画的图纸、编的程序、写的方案之中,就可以体会到这些素养;而数字电路实验正是培养这种工程素养的起步训练。

(5) 专业入门的训练 数字电路实验是学生进入大学以后,第一个有关专业的实验课程,其与中学物理和化学的实验是有较大区别的。中学的实验主要目的是验证,而在大学的实验中,验证只是开始,还需要进一步拓展、分析、发掘实验现象背后隐含的规律,在此基础上学生去创造发明。因此,数字电路实验还是电子工程类专业入门的一种训练,这种训练包括:① 基本实验仪器的使用(万用表、示波器、信号发生器、电源等);② 基本实验方法的掌握;③ 好的实验习惯的养成。

0.2 数字电路的实验过程

数字电路的实验过程可以分为三个阶段,即实验前的准备阶段、实验操作阶段、实验结果分析及处理阶段,各阶段的任务都不相同。

实验前的准备阶段工作:

- (1) 学习实验内容。
- (2) 理解实验目的。
- (3) 选定实验方案。
- (4) 实验仪器的准备。

- (5) 理解实验原理图并确定使用的电子元件型号。
- (6) 查阅电子元件参数手册,对实验结果进行推理。
- (7) 制订实验操作步骤。
- (8) 设计实验数据记录表。
- (9) 实验过程中可能出现的问题的推测,及应对策略的考虑。

实验阶段的任务:

- (1) 检查实验仪器是否工作正常,并正确设置工作状态。
- (2) 连接实验电路板和实验仪器。
- (3) 检查实验仪器与电路板连接是否正确。
- (4) 开电源并观察有无异常情况(火花、冒烟、仪器上指示的大电流或者电压跌落等)。
- (5) 如有实验异常情况发生,马上断电、检查原因,直到故障排除。
- (6) 按实验步骤操作并记录数据填写实验数据记录表。
- (7) 实验预期步骤完成后,首先关掉电源,断开电路板和仪器设备的连接。
- (8) 所有的实验设备放回原处,整理实验台。

实验结果分析及处理:

- (1) 实验数据处理(画曲线、统计)。
- (2) 与理论值比较,看是否有不合理结果。
- (3) 分析实验结果,得出结论。
- (4) 撰写实验报告。

0.3 实 验 预 习

根据我的观察,大部分大学生做基础实验时,很盲目——不知道要在实验室干什么;很危险——胡乱地连线,忙乱地开电源,损坏电路元件和实验设备的事经常发生;很机械——按照书上的实验步骤操作一遍;很无助——一碰到书上没有提到的现象,就不知所措;很无收获——离开实验室什么都不知道。造成这种现象的原因是没有做实验预习。怎样做实验预习呢?首先要理解实验的目的,了解数字电路有三种类型的实验,对不同类型的实验,预习的内容也不同。

(1) 理解概念型

这种实验比较简单而直观。以集成电路 74LS04 非门功能验证实验为例。

1) 反复学习非门的概念,理解非门的功能——取反。输入“0”时,输出“1”,输入“1”时,输出“0”;把概念和我们要测量的电参数联系起来,我们要给实验中的“0”和“1”赋予了几伏电压,得到的“0”和“1”又是几伏的电压?

2) 学习实验仪器的特性,掌握其基本操作技巧。这个实验只用到直流电源和

万用表。

3) 学习实验用电子元件的手册,了解电子元件基本工作条件,如工作电源电压是多少伏、输入阻抗是多少欧姆、输入最大电流又是多少、输入最大电压是多少、输出负载能力又是多少、其最高工作频率由是多少等。按照实验的目的不同,还有很多问题可以问。

4) 把“非门”这个抽象的概念与实验的芯片 74LS04 联系起来,哪个引脚是“输入”,哪个引脚是“输出”。

5) 设计实验数据表。

6) 制订实验步骤,把进实验室的所有操作都设想一遍,并列出先后次序;对实验过程中可能出现的问题提出一些设想,并列出查找的对策,如:实验过程中发现输入为“0”时,输出引脚没有测到“1”,怎么查找问题之所在呢?在思考的基础上,列出所有的可能性,针对这些可能性,准备好检测排除方案。

(2) 数字电路方法学习型实验

这种类型的实验比概念理解型略微复杂一些。

1) 要复习实验过程中用到的概念,同时还要运用这些概念,体会数字电路的分析法。数字电路的分析设计方法不是很多,有如下几种:① 数学推理法;② 真值表法;③ 卡洛图法;④ 状态方程法;⑤ 状态转换表法(状态机法)。我们在数字电路实验中,经常会用到一种或几种方法。

2) 学习实验仪器的特性,掌握其基本操作技巧,针对实验的目的,巧用活用实验仪器。

3) 学习实验原理图,请参阅“怎样看实验原理图”。

4) 学习实验用主要电子元件手册,请参阅“怎样看电子元件参数手册”。

5) 制订实验详细步骤,请参阅“怎样编制实验步骤”。

6) 设计实验数据记录表,请参阅“怎样设计实验数据表”。

7) 实验异常情况设想与处理对策表。

(3) 数字电路设计方法训练及设计能力培养型实验

这是一种综合型实验;既包含了对数字电路概念的理解,也包括了数字电路设计方法的运用,还包括了数字电路综合设计能力的培养,对这种类型的实验的预习准备比较花时间。

1) 首先要理解实验题目,把抽象的实验题目与我们数字电路的概念和方法建立起联系,对学生来说这通常是最困难的,但是,这个才是我们学习数字电路的根本目的——用数字电路的概念和方法解决实际的工程问题(这也是这本教材最重要的特色之一,我们把大量的工程题目与数字电路建立起了联系)。

2) 把实验题目中定性的量转化为定量的电参数量,制订实验电参数量规格书。

- 3) 按实验电参数量规格书设计可行的解决方案,画出电路图。
- 4) 查阅主要电子元件手册,对各元件的输入和输出结果进行推理。
- 5) 设计电路参数关键测试点,对各点电特征参数进行推理(电平、波形等)。
- 6) 制订详细的实验计划,列出实验步骤。
- 7) 准备实验设备,针对我们的实验参数,提出最优的使用方案。
- 8) 制订实验参数测量表。
- 9) 对实验过程中可能的故障进行预测,并制订可能的解决方案。

0.4 电子元件参数手册学习

电子元件对于电子工程师来说,就像建筑材料对于建筑师。工程师掌握电子元件越多,就能提出越多的工程解决方案;工程师对电子元件特性的理解越深刻,设计出来的产品性能价格比越高,产品也越可靠。对电子元件的理解和认识是一个长期积累的过程,怎样学习电子元件参数手册,是每一个电子工程师必须掌握的方法。

对一个电子元件,我们应该关注如下几个方面的内容:

- 1) 推荐工作条件,包括电源电压、工作电流、环境温度、湿度、大气压等。
- 2) 接口条件,包括输入输出电平特性、负载特性、频率特性、启动、复位等。
- 3) 功能特性,包括可以实现的功能函数,精度指标、AC 特性曲线、时序图等。
- 4) 安全特性,包括极限工作电压、极限工作电流、ESD 防护等。

对一个没有经验的工程师,很容易忽略以下参数:

1) 封装信息。一颗集成电路芯片,往往有多种封装(DIP, SOIC, SSOP, PQFP, BGA 等),不同的封装性能略有差别;在选用封装时要先看清楚;有不少工程师,在焊接电路板时,才发现选错了封装。

2) 采购信息。一颗芯片的参数手册上,通常对不同的封装信息有不同的编码,应该按这种编码去采购;买错了芯片在工厂时有发生。

3) 在工程设计中,通常可以被选用的芯片有很多,此时怎样来决策呢?首先要选用生产批量最大的芯片;其次,在同一工程设计中,尽可能用较少种类的芯片。这样采购的成本最低。

0.5 电路原理图阅读

网上常常看到有刚刚参加工作的网友在问怎样看电路原理图的问题。是的,这是我们高等教育的缺失,还很少看到中国大学教学计划中有关电子电路识图的课程和训练。要看懂电路原理图,先要了解电路原理图。

1. 电子电路图的意义

电路图是人们为了研究和工程的需要,用约定的符号绘制的一种表示电路结构的图形。通过电路图可以知道实际电路的情况。这样,我们在分析电路时,就不必把实物翻来覆去地琢磨,而只要拿着一张图纸就可以了;在设计电路时,也可以从容地在纸上或电脑上进行,确认完善后再进行实际安装,通过调试、改进,直至成功;而现在,我们更可以应用先进的计算机软件来进行电路的辅助设计,甚至进行虚拟的电路实验,大大提高了工作效率。

2. 电子电路图的分类

常遇到的电子电路图有原理图、方框图(框图)、装配图和印板图等。

(1) 原理图

电路图,又被叫做“电原理图”。这种图,由于它直接体现了电子电路的结构和工作原理,所以一般用在设计、分析电路中。分析电路时,通过识别图纸上所画的各种电路元件符号,以及它们之间的连接方式,可以了解电路实际的工作情况,原理图就是用来体现电子电路工作原理的一种电路图。

(2) 方框图

方框图是一种用方框和连线来表示电路工作原理和构成概况的电路图。从根本上说,这也是一种原理图,不过在这种图纸中,除了方框和连线,几乎就没有别的符号了。它和上面的原理图主要的区别就在于原理图上详细地绘制了电路的全部的元器件和它们的连接方式,而方框图只是简单地将电路按照功能划分为几个部分,将每一个部分描绘成一个方框,在方框中加上简单的文字说明,在方框间用连线(有时用带箭头的连线)说明各个方框之间的关系。所以方框图只能体现电路的大致工作原理,而原理图除了详细地表明电路的工作原理之外,还可以用来作为采集元件、制作电路的依据。

(3) 装配图

它是为了进行电路装配而采用的一种图纸,图上的符号往往是电路元件的实物的外形图。我们只要照着图上画的样子,依样画葫芦地把一些电路元器件连接起来就能够完成电路的装配。这种电路图一般是供初学者使用的。

装配图根据装配模板的不同而各不一样,大多数作为电子产品的场合,用的都是下面要介绍的印刷线路板,所以印板图是装配图的主要形式。

在初学电子知识时,为了能早一点接触电子技术,我们选用了螺孔板作为基本的安装模板,因此装配图也就变成另一种模式。

(4) 印板图

印板图的全名是“印刷电路板图”或“印刷线路板图”,它和装配图其实属于同一类的电路图,都是供装配实际电路使用的。

印刷电路板是在一块绝缘板上先覆上一层金属箔,再将电路不需要的金属箔

腐蚀掉,剩下的部分金属箔作为电路元器件之间的连接线,然后将电路中的元器件安装在这块绝缘板上,利用板上剩余的金属箔作为元器件之间导电的连线,完成电路的连接。由于这种电路板的一面或两面覆的金属是铜皮,所以印刷电路板又叫“覆铜板”。印板图的元件分布往往和原理图中大不一样。这主要是因为,在印刷电路板的设计中,主要考虑所有元件的分布和连接是否合理,要考虑元件体积、散热、抗干扰、抗耦合等诸多因素,综合这些因素设计出来的印刷电路板,从外观看很难和原理图完全一致;而实际上却能更好地实现电路的功能。

随着科技发展,现在印刷线路板的制作技术已经有了很大的发展,除了单面板、双面板外,还有多面板,已经大量运用到日常生活、工业生产、国防建设、航天事业等许多领域。

在上面介绍的四种形式的电路图中,电原理图是最常用也是最重要的,能够看懂原理图,也就基本掌握了电路的原理,绘制方框图,设计装配图、印板图这都比较容易了。掌握了原理图,进行电器的维修、设计,也是十分方便的。因此,关键是掌握原理图。

3. 电路图的组成

电路图主要由元件符号、连线、结点、注释四大部分组成。

元件符号表示实际电路中的元件,它的形状与实际元件不一定相似,甚至完全不一样。但是它一般都表示出了元件的特点,而且引脚的数目都和实际元件保持一致。

连线表示的是实际电路中的导线,在原理图中虽然是一根线,但在常用的印刷电路板中往往不是线而是各种形状的铜箔块,就像收音机原理图中的许多连线在印刷电路板图中并不一定都是线形的,也可以是一定形状的铜膜。

结点表示几个元件引脚或几条导线之间相互的连接关系。所有和结点相连的元件引脚、导线,不论数目多少,都是导通的。

注释在电路图中是十分重要的,电路图中所有的文字都可以归入注释一类。细看以上各图就会发现,在电路图的各个地方都有注释存在,它们被用来说明元件的型号、名称等。

看电路原理图要有一些基础的知识:

1) 认识电路中的各种图形符号的物理意义。每一种电子元件都有一个符号,如电阻符号、电感符号、电容符号等,比较常见,其出自国际有关行业标准;但更多的符号是由设计工程师自己定义的符号,如大多数的集成电路符号等;有的电路是用一个符号表示就行了,有的电路引脚特别多,会分成多个符号表示,有时甚至有几十个符号。

2) 标准的电路图通常画成一个矩形的实现框。实现框有固定的尺寸规格,如A号图纸、B号图纸、C号图纸等;行坐标标注为(A, B, C, D, …)、列坐标标注为

(1, 2, 3, 4, ...);电子元件通常都安放在实线框内。

3) 电子元件的标识有一个字母加一串数字组成,例如电阻 R0、R1,电容 C0、C1、集成电路 IC1、IC2 等。

4) 图纸的最右边通常会列出本页图中各电子元件的坐标信息,以便于查找。

5) 图纸中电子元件引脚连接到一根横线,横线上的一串字符(英文加数字)通常表示信号名;具有相同的信号名所有引脚在印刷电路板(PCB)上是连在一起的。

6) 电路原理图通常把实现某一特定功能的模块放在一起。

7) 通常把外部输入的信号放在左边,并连接一个输入标志;把输出的信号放在电路图的右边,并连接一个输出标志。

8) 电路图中有时电子元件被虚线框围绕,表示选装元件。

9) 一张电路图上通常会有多种电源符号和地线符号,不同的符号没有连接关系;多张图纸上相同的电源符号和地线符号 PCB 上具有连接关系。

0.6 实验过程中的异常情况处理

对于刚开始动手做实验的学生来说,实验过程中出现异常情况是难免的。对异常情况进行分析,应对预案的准备,一方面有助于减少实验设备的损坏,另一方面有助于学生应变能力的培养和良好实验习惯的养成。

常见的实验故障有:

(1) 打开电源实验电路板就冒烟,电源过流保护

可能的问题:

1) 电源正负极接反。

2) 电源输出电压调整得太高。

3) 电子元件安装错误(电解电容正负极装反、二极管正负极装反、集成电路装反)。

4) 在电容的位置上安装了小阻值,小功率电阻。

5) 跳线错误,致电源接地。

(2) 电解电容爆炸

可能的问题:

1) 电源正负极接反。

2) 电源输出电压调整得太高。

3) 电解电容正负极安装反了。

4) 电容漏电,过热致爆炸。

5) 电解电容安装在散热器旁边,过热致爆炸。

(3) 水等饮料,洒在实验设备及电路板上,致实验设备损坏

(4) 实验设备开机无输出

可能的问题：外部 220 V 电源接触不良；输出短路；电源保险丝损坏。

(5) 示波器探头损坏

(6) 万用表探头损坏，万用表干电池用尽

实验中出现任何异常状况，第一个动作，就是切断电源，分析异常状况产生的原因，直到排除这个原因，再开启电源，否则导致更大的损失。

0.7 实验故障排除

数字电路试验中，通常只有三种类型的故障：

- 1) 连接短路：没有连接关系的电路连接到了一起。
- 2) 连接短路：应该连通的没有连接。
- 3) 电子元件损坏：由于某种原因，电路损坏。

短路和断路故障的排除，最直接的办法是使用万用表的欧姆挡，对照电路图测量电阻；电子元件的损坏的判断，应该先排除短路和断路故障，再结合电子元件参数手册，分析工作条件是否满足，工作条件满足而不工作，可以判断为损坏；有时也有因数字电路没有正确复位导致不工作而误判损坏的；碰到电子元件损坏，不要立即更换好的电子元件，要先分析损坏原因，排除致损的原因，再安装好的电子元件，避免重复损坏。

0.8 实验步骤的编制

编制实验步骤，对提高试验效率，避免仪器设备和实验电路的损坏至关重要。试验步骤依据实验内容的不同，有些是共同的（如仪器的准备、电路的连接等），更多是不同的，如试验目的不同，使用电子元件不同，测试方法不同，试验数据不同，试验过程不同等，导致试验步骤的不同。

实验步骤的编制原则，是把实验过程中重要的动作和关键点，按照自己的理解，从前到后的操作顺序列出来，以便实验过程中遵照执行。

实验步骤的编制应该由实验者本人编制，不能由老师或其他人代劳；因为编制实验步骤，对实验者而言是一个强迫自己了解试验原理、学习实验仪器、逻辑推理演算、分析试验结果的过程，也是一个自我管理的实践过程，是实践能力培养的重要手段。

0.9 实验数据表的设计

预习时设计实验数据表，对实验者来说是一个好的习惯，有利于加深对实验目

的理解,同时,也有利于提高试验效率,取得更好的实验效果。实验数据表通常包括以下几方面的内容:

- 1) 选择测试点。
- 2) 定义测试条件。
- 3) 输入条件及变化范围。
- 4) 输出结果及变化范围。
- 5) 预测的实验结果。
- 6) 注释。

同样实验数据表应该由实验者自己设计,不能由他人代劳。

0.10 实验结果的处理

数字电路实验时,通常有两个目的:一是预知某个基本电路或整个电路系统的工作状态,及电路的运行情况;二是了解电路或整个系统的特性,即当某些条件(如输入频率、幅度、负载、时间等)改变时,系统会出现什么反应。不管是哪个目的,首先都需要获取足够的原始数据,然后对这些原始数据进行加工、整理、分析,才能得出结论。因此,实验时仅获得一些测量数据还远达不到实验目的,还必须对其进行处理。

对实验结果的处理通常采用两种方法:列表法和曲线法。

1. 列表法

列表法就是将测取的原始数据进行整理分类后放在一个特制的表格里,其目的是为了将所有数据有序地放在一起,既可以使实验结果一目了然,也为对其进行分析提供方便。用列表法能否达到上述目的,制表是关键,因此制表时要注意以下问题:

1) 项目齐全。即原始数据、中间数据、最终结果,以及理论值、误差分析等不可缺项。

2) 项目名称简练易懂。项目名称可采用字母或文字,但一定要符合习惯。有量纲的要给出单位,间接量要给出计算公式;如果公式不易在表中给出,可在表后用加注的方法给出。

3) 测试条件明确。对大多数测试,都是在特定条件下进行的,因此,只有当给出测试条件时,测试结果才有意义。当测试条件不变时,可以把测试条件放在表格里;也可以放在表格外明显的地方,如右上角。

4) 制表规范、合理,易读懂,表达的信息完整。制表可能会被认为是一件简单的事情,但是要制出一种非常有效的表格,全面、正确地反映实验情况,则必须经过认真考虑、仔细斟酌,才能达到目的。制表可以使用 Microsoft 的 Excel 工具,方便

分析处理。

2. 作图法

常用作图包括曲线图、折线图、直方图等,所用图纸有直角坐标、极坐标、对数坐标纸等几种,表达实验结果的曲线通常有两种类型:特性曲线和响应曲线。

(1) 特性曲线

用列表法可以把所有的实验数据有序地集中在一起,以便对其进行观察和分析。但在研究器件、电路的特性时(如伏安特性、频率特性),仅有数据表格还不能准确地反映出电路地变化规律。原因是:一般电路的变化规律是连续的,而表格中的数据却是有限的、间断的。因此,这就需把表格中的数据作为点的坐标放于坐标系中,然后用线段将这些点连接起来,形成一条曲线。用这样的方法绘制曲线叫做描点法,绘制的曲线叫做电路的特性曲线。用特性曲线描述实验结果,具有直观完整、可获取更多信息的优点,但在绘制时要注意以下几点:

1) 建立完备且合适的坐标系。完备,即坐标轴的方向、原点、刻度、函数变量及单位俱全;合适,是指坐标轴刻度的比例大小合适,它决定了曲线图形的大小。

2) 测量时要将所有的特殊点(如最大点、最小点、零点等)取到,此外应按照曲线曲率小的地方多取、曲率大的地方少取的原则,取足够数量的点。

3) 绘制曲线时,可剔除坏点(坏点可以标在图上,但曲线不用通过该点,只供分析时用)。坏点是指因操作或其他原因引起的测量结果与理论不符、脱离正常规律的点。

4) 曲线要光滑,粗细一致。特性曲线的绘制,原则上是用线段逐一将各点连接起来,但由于取点不可能无限多,再加上有测量误差的存在,这样绘出的曲线往往会是一段折线。此时允许在理论的指导下,按照函数的变化规律去处理曲线,即曲线可以不通过所有的测量点,这和处理数据时取平均值是一个道理。

(2) 响应曲线

在实验室进行实验,对电路进行测量可看成是用仪器对电路进行求解。测量结果有的只是一个数值,但大多数情况则是一个函数(波形)。为了记录测量结果,就必须从测量仪器(多为图形显示仪器)上将其画下来。绘制的近似程度直接影响着测量结果的准确程度,因此在画图时一定要保持和原图一致或对应成比例。在绘制时,要注意做到以下几点:

1) 首先将响应曲线的位置、大小调整合适,使曲线既携带了全部信息,又便于绘制。

2) 绘制时使用坐标纸(因一般显示屏上有坐标格)。先在坐标纸上标出与图形对应的一些点(具有一定特点),然后再对这些点进行连线。当两点之间曲线的曲率较小、不易连接时,可在这两点之间再插入点。

3) 考虑是否建立坐标系。一旦建立坐标系,其刻度要与曲线的变量幅度对应