

21世纪高等学校系列教材

数字电子技术实验

杨玉强 王秀敏 编著



東北大學出版社
Northeastern University Press

© 杨玉强 王秀敏 2006

图书在版编目 (CIP) 数据

数字电子技术实验 / 杨玉强, 王秀敏编著. — 沈阳: 东北大学出版社, 2006.5
ISBN 7-81102-260-5

I. 数… II. ①杨… ②王… III. 数字电路—电子技术—实验 IV. TN79-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 043327 号

内容简介

本书深入浅出地论述了数字电路设计的基本思想。从内容上看, 全书共分四章, 主要讲述了数字电路基础实验、仿真软件及应用、数字电路综合实验、数字电路设计实验。本书自成体系, 读者从中可以学到数字电路设计的基本方法, 掌握电路设计的基本步骤, 并能从基础实验入手逐渐过渡到综合实验, 最后达到独立地进行复杂电路设计的目的。

本书可作为高等院校电子、通信、自动化、计算机及相关专业学生的实验教材, 也可供高等学校教师、研究生及相关专业科技人员参考。

出版者: 东北大学出版社

地址: 沈阳市和平区文化路 3 号巷 11 号

邮编: 110004

电话: 024—83687331 (市场部) 83680267 (社务室)

传真: 024—83680180 (市场部) 83680265 (社务室)

E-mail: neuph @ neupress.com

http: // www. neupress. com

印刷者: 沈阳市光华印刷厂

发行者: 东北大学出版社行所

幅面尺寸: 184mm × 260mm

印 张: 8.75

字 数: 226 千字

出版时间: 2006 年 5 月第 1 版

印刷时间: 2006 年 5 月第 1 次印刷

责任编辑: 王兆元

责任校对: 冬 雨

封面设计: 唐敏智

责任出版: 秦 力

定 价: 19.00 元

前 言

本书是作者总结多年教学经验，在对数字电路进行多方面研究的基础上编写而成的。全书包括数字电路基础实验、仿真软件及应用、数字电路综合实验、数字电路设计实验。

数字电路基础是电子及相关专业实践性很强的技术基础课，实验教学是不可缺少的重要教学环节，是培养学生实践能力和创新精神的有效途径。数字电路的设计是数字电路研究的核心内容，如果不能正确掌握数字电路的设计方法和设计步骤，进行数字电路设计是非常困难的。

本书从数字电路基础实验入手，先给出了13个基础实验题目。每一个实验都与相应的基础理论紧密相关，只要掌握相关的基础理论，熟悉数字电路实验的基本步骤，做实验就会得心应手。这13个基础实验，包括了数字电路的各个方面。通过实验，读者能系统地掌握数字电路设计的基本思想，并可将课堂上所讲的理论知识加以巩固和应用。编者在撰写本书时，力求内容充实，重点突出，注重引导初学者尽快入门，通过由浅入深、循序渐进的阐述，理论实验的紧密结合，使读者得到基本技术和技能的训练。

读者在学习数字电路设计的基本步骤和基本分析方法的基础上，逐渐过渡到综合实验，最后能达到独立地进行综合设计的目的。本书还介绍了计算机仿真实验，读者可利用电子工作平台当场模拟仿真，验证实验结果是否正确。书中还有一部分实验只给出了实验要求和目的，没有给出具体的实验过程，这样可以给读者提供一定的独立思考空间，有兴趣、有条件的读者可以自行设计完成。

书中的所有实验项目具有可操作性，对其中的基本实验项目、综合实验项目、仿真实验课程实验，编者都进行了实验、安装和调试，可靠性和可操作性强，有利于学生顺利完成各项实验设计任务。本教程在教学安排上具有同步性，使理论教学和实践教学可同步进行，第一课堂与第二课堂同步进行，从而达到理论教学与实践教学的紧密结合。

数字电路实验的目的主要是进行综合设计。为了适应科技的发展，大学生必须能进行更高层次、更复杂的设计。综合实验和设计实验的内容就是把基础

设计的内容结合起来, 统筹兼顾, 根据数字电路的综合设计步骤, 灵活运用所学知识, 设计高水平的复杂电路, 使读者逐渐提高综合设计能力。

本书的目的不仅是让读者了解学习书中所列的设计, 更希望读者通过对本书的学习和实践, 多动脑筋, 多想问题, 提高分析问题和解决问题的能力, 最后能够独立地进行数字电路的综合设计, 使读者逐渐成为具有创造性的、适应社会发展的高素质人才。

本书由杨玉强、王秀敏共同撰写。其中第1章前10个实验及第2章由王秀敏执笔; 第1章后3个实验, 第3、4章及附录由杨玉强执笔。最后由杨玉强统稿。本教材在出版过程中, 得到了渤海大学领导及教务处领导的关怀与资助, 信息科学与工程学院和物理系领导给予了大力支持, 同时也得到了张顺、伦淑贤、戴心来、任骏原等老师的指导, 在此致以衷心感谢!

在编写本书时, 参考了电子技术、电子仪器方面的有关书刊、产品说明书中有关实验方面的内容。

由于编者学识有限, 书中的疏漏和错误在所难免, 敬请读者批评指正。

编著者
2006年2月

目 录

第 1 章 数字电路基础实验	1
1.1 基本逻辑关系与基本门电路	1
1.1.1 实验目的	1
1.1.2 实验原理	1
1.1.3 实验内容及步骤	3
1.1.4 预习要求	5
1.1.5 实验报告要求及总结分析	5
1.1.6 实验仪器	5
1.1.7 思考题	5
1.2 TTL 与非门参数测试电路的设计	6
1.2.1 实验目的	6
1.2.2 实验原理	6
1.2.3 实验内容及步骤	9
1.2.4 预习要求	11
1.2.5 实验报告要求及总结分析	12
1.2.6 实验仪器与器件	12
1.2.7 思考题	12
1.3 组合逻辑电路的设计——采用小规模集成电路	12
1.3.1 实验目的	12
1.3.2 实验原理	12
1.3.3 实验内容及步骤	16
1.3.4 预习要求	17
1.3.5 实验报告要求及总结	17
1.3.6 实验设备与器件	17
1.4 数据选择器及应用	18
1.4.1 实验目的	18
1.4.2 实验原理	18
1.4.3 实验内容与步骤	22
1.4.4 预习要求	22
1.4.5 实验报告要求及总结分析	23

1.4.6	实验设备与器件	23
1.5	全加器设计及应用	23
1.5.1	实验目的	23
1.5.2	实验原理	23
1.5.3	实验内容与步骤	27
1.5.4	预习要求	27
1.5.5	实验报告要求及总结分析	27
1.5.6	实验仪器与器件	27
1.6	译码器与显示电路的设计	27
1.6.1	实验目的	27
1.6.2	实验原理	27
1.6.3	实验内容与步骤	29
1.6.4	预习要求	30
1.6.5	实验报告要求及总结分析	30
1.6.6	实验仪器与器件	30
1.7	MSI 移位寄存器及其应用	30
1.7.1	实验目的	30
1.7.2	实验原理	31
1.7.3	实验内容与步骤	33
1.7.4	预习要求	34
1.7.5	实验报告要求及总结分析	34
1.7.6	实验仪器与器件	34
1.8	数值比较器	34
1.8.1	实验目的	34
1.8.2	实验原理	34
1.8.3	实验内容与步骤	35
1.8.4	预习要求	35
1.8.5	实验报告要求及总结	36
1.8.6	实验设备与器件	36
1.9	触发器逻辑功能测试	36
1.9.1	实验目的	36
1.9.2	实验原理	36
1.9.3	实验内容及步骤	38
1.9.4	预习要求	42
1.9.5	实验报告要求及总结分析	42
1.9.6	实验仪器与器件	42
1.10	MSI 计数器及应用	43
1.10.1	实验目的	43
1.10.2	实验原理	43
1.10.3	实验内容与步骤	45

1.10.4	预习要求	45
1.10.5	实验报告要求及总结分析	45
1.10.6	实验设备及器件	46
1.11	555 定时器的设计及其应用	46
1.11.1	实验目的	46
1.11.2	实验原理	46
1.11.3	实验内容及步骤	49
1.11.4	预习要求	49
1.11.5	实验报告要求及总结分析	50
1.11.6	实验仪器与器件	50
1.12	同步时序电路的设计与测试	50
1.12.1	实验目的	50
1.12.2	实验原理	50
1.12.3	实验内容	51
1.12.4	预习要求	52
1.12.5	实验报告要求及总结分析	52
1.12.6	实验仪器	52
1.12.7	思考题	52
1.13	数—模转换器 (D/A)	52
1.13.1	实验目的	52
1.13.2	实验原理	52
1.13.3	实验内容与步骤	54
1.13.4	预习要求	55
1.13.5	实验报告要求及总结分析	55
1.13.6	实验仪器与器件	55
第 2 章	仿真软件及应用	56
2.1	MULTISIM 2001 的菜单栏	56
2.2	工具栏	58
2.3	仿真元器件库栏	58
2.4	MULTISIM 2001 仿真仪器库的使用	60
2.5	电路设计区	62
2.5.1	编辑仿真电路图	62
2.5.2	运行仿真以及观察与分析仪表仿真结果	63
2.6	组合逻辑电路的设计和分析	63
2.6.1	实验目的	63
2.6.2	实验原理	64
2.6.3	实验内容和分析设计过程	64
2.7	组合逻辑电路竞争冒险	67
2.7.1	实验目的	67

2.7.2	实验原理	67
2.7.3	具体实例	68
2.8	数据比较器及其应用	71
2.8.1	实验目的	71
2.8.2	实验原理	71
2.8.3	实验过程	72
第3章	数字电路综合实验	74
3.1	计数器电路的应用	74
3.1.1	实验目的	74
3.1.2	实验原理	74
3.1.3	实验内容和步骤	76
3.1.4	实验报告要求	76
3.1.5	实验仪器与器材	76
3.2	555 定时器电路的应用	76
3.2.1	实验目的	76
3.2.2	实验原理	77
3.2.3	实验报告要求	78
3.3	寄存器及其应用	78
3.3.1	实验目的	78
3.3.2	实验原理	78
3.3.3	实验内容和步骤	79
3.3.4	实验报告要求	81
3.3.5	实验仪器及器件	81
3.4	序列信号发生电路	82
3.4.1	实验目的	82
3.4.2	实验原理	82
3.4.3	实验内容与步骤	82
3.4.4	思考题	83
3.5	交通信号灯控制电路	84
3.5.1	实验目的	84
3.5.2	实验要求	84
3.5.3	实验原理	84
3.5.4	组装和调试要点	86
3.5.5	实验仪器和器件	87
第4章	数字电路设计实验	88
4.1	数字频率计的设计	89
4.1.1	实验目的	89
4.1.2	设计原理	89

4.1.3 实验内容与步骤	90
4.1.4 实验仪器和器件	90
4.1.5 实验报告要求	90
4.1.6 思考题	90
4.2 抢答电路的设计	90
4.2.1 实验目的	90
4.2.2 设计内容及要求	91
4.2.3 设计原理及方法	91
4.2.4 实验内容	92
4.2.4 组装和调试要点	93
4.2.5 实验仪器和器件	94
4.3 数字电子钟设计	94
4.3.1 实验目的	94
4.3.2 设计内容及要求	94
4.3.3 设计原理	95
4.3.4 组装和调试要点	96
4.3.5 实验仪器和器件	97
4.4 64路延时可调的数控延迟线的设计	97
4.4.1 延迟系统的构成及原理	97
4.4.2 系统各功能电路的介绍	98
4.4.3 实验过程	105
4.4.4 讨 论	107
4.5 自我设计实验	113
4.5.1 十字路口交通灯自动控制器的设计	113
4.5.2 时钟控制器的设计	114
4.5.3 八路彩灯移存型控制器的设计	116
4.5.4~4.5.30	116~119
附 录	120
1. 常用集成电路简介	120
2. CMOS数字集成电路	125
参考文献	127

第 1 章 数字电路基础实验

本章以 12 个数字电路基础实验与设计为例，介绍数字电路实验的基本原理和基本方法，培养学生熟练掌握电子仪器仪表、基本电子元器件的功能和使用方法，培养和锻炼学生实验的基本操作能力和设计能力。它是综合性、设计性实验的前提和基础，也是后续计算机硬件课程设计的基础，学生对这部分内容必须牢固掌握。

在本章编著中，作者改变了传统的讲义编写风格，除少量纯验证性的实验外，其他实验内容都是以设计形式出现的，学生对这些实验必须高度重视，实验前要消化课堂上的理论知识，并对要进行的实验细心预习、精心设计，以期达到实验目的。实践证明：让学生自己准备实验、自己设计电路、自己安装调试，不仅可以增加学生的实验兴趣，极大地调动学生的学习积极性，而且还可以培养和锻炼学生的创新意识、独立设计电路和独立完成实验的能力；实验与设计相结合，会收到事半功倍的效果。

1.1 基本逻辑关系与基本门电路

1.1.1 实验目的

- (1) 掌握 TTL 与非门、异或门、或门等输入与输出之间的逻辑关系。
- (2) 熟悉 TTL 中、小规模集成电路的外型、管脚和使用方法。
- (3) 掌握数字电路实验系统仪器的使用方法。
- (4) 掌握 TTL 门电路间的相互转换。
- (5) 掌握用数字表逻辑挡检测 TTL 门电路好坏的方法。

1.1.2 实验原理

(1) 基本逻辑关系与基本逻辑门

在数字逻辑电路中，研究的主要问题是输入信号的状态和输出信号的状态之间的关系，也就是所谓的逻辑关系。基本逻辑关系有三种，即与、或、非。几乎所有的电路功能都是这三种逻辑关系的组合。实现这些基本逻辑关系的电路就是逻辑门，所以最基本的逻辑门是“与门”、“或门”、“非门”。下面用三种控制指示灯开关电路来分别说明三种基本逻辑关系。开关的闭合或断开作为条件是否具备，灯的亮灭作为事件是否发生，开关和灯之间的因果关系，即为逻辑关系。

实现与逻辑关系的电路称为与门。最简单的与门可以由二极管和电阻组成。只有决定一件事情的全部条件都具备了，这件事情才会发生的逻辑关系称作逻辑与，或者称作逻辑乘。

为了便于理解它的含义，来看一个简单的例子。图 1.1.1 所示为一照明电路，灯亮这件事，只有在两个开关 A、B 同时闭合时，灯 Y 才会亮，否则灯就不会亮。如果把开关闭合作为条件，把灯亮作为结果，那么灯亮与开关之间是一种与逻辑关系。图 1.1.2 为它的逻辑符号。如果用 1 表示开关闭合，0 表示开关断开；用 1 表示灯亮，0 表示灯灭，则可以得到

描述开关与灯亮之间与逻辑关系的图表，如表 1.1.1 所示。这种图表称作逻辑真值表，简称为真值表。

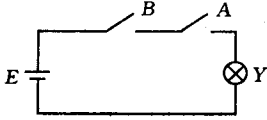


图 1.1.1 用于说明与逻辑定义的电路

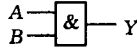


图 1.1.2 与逻辑符号

表 1.1.1 与逻辑真值表

A	B	Y
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

由表 1.1.1 可知，Y 与 A、B 之间的关系是：只有当 A 和 B 都是 1 时，Y 才为 1；否则 Y 为 0。这一关系类似于算术中的乘法，因此用逻辑表达式表示为： $Y = A \cdot B$ 。

在决定一件事的所有条件中，只要具备一个或一个以上的条件，这件事情就会发生，这样的逻辑关系称为或逻辑，逻辑或也称作逻辑加。

如图 1.1.3 所示的照明电路，只要有一个开关 A 或 B 闭合，灯 Y 就会亮；开关 A、B 均不闭合时，灯 Y 不亮。所以灯亮和开关之间的逻辑关系为或逻辑关系。它的逻辑符号如图 1.1.4 所示。若用 1 表示开关合上，0 表示开关断开；用 1 表示灯亮，0 表示灯灭，就可以得到表 1.1.2 所示的或逻辑真值表。逻辑或的逻辑关系表达式写成： $Y = A + B$ 。

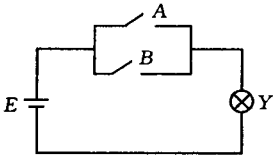


图 1.1.3 用于说明或逻辑定义的电路

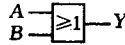


图 1.1.4 或逻辑符号

表 1.1.2 或逻辑真值表

A	B	Y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

当决定一件事情的条件具备时，这件事情不会发生；当条件不具备时，事情反而会发生的逻辑关系，称作逻辑非，也称作逻辑取反。

如图 1.1.5 所示的电路中，当开关 A 闭合时，灯 Y 不亮，而当开关 A 断开时，灯 Y 才会亮。因此灯亮与开关之间就是非逻辑关系。如果用 1 表示开关闭合，0 表示开关断开；1 表示灯亮，0 表示灯灭，可得到非逻辑的真值表，如表 1.1.3 所示。

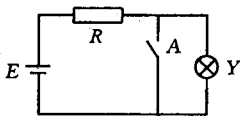


图 1.1.5 用于说明逻辑非定义的电路

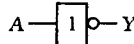


图 1.1.6 非逻辑符号

表 1.1.3 非逻辑真值表

A	Y
0	1
1	0

逻辑非的逻辑关系表达式为： $Y = \bar{A}$ ，式中字母 A 上方的符号“—”表示 A 的非或反运算。非逻辑符号如图 1.1.6 所示。

(2) 复合逻辑及复合门

由于数字逻辑电路的功能均可用基本逻辑关系表征，所以通常在大多数情况下，可用能够实现基本逻辑运算的电路组合来实现一个功能较复杂的电路。这些实现基本逻辑运算的电路，称为门电路，简称门。常用的门电路有与门、或门、与非门和或非门等，其产品均以集

成电路的形式提供。当然，在必要的情况下，也可以用分立元件二极管、三极管和电阻等构成所需的门电路。由三种基本逻辑运算可以组合成多种复合逻辑关系，实现复合逻辑运算的单元电路叫复合门，常用到的复合逻辑运算有：

① 与非运算。它是由与运算和非运算组合而成，先与后非。逻辑表达式为 $F = \overline{AB}$ ，与非门的运算符号如图 1.1.7(a) 所示。

② 或非运算。它是先作或运算，再作非运算，其逻辑表达式为 $F = \overline{A + B}$ ，或非门的逻辑符号如图 1.1.7(b) 所示。

③ 与或非运算。它是先作与运算，再作或运算，最后作非运算。其逻辑表达式为 $F = \overline{AB + CD}$ ，逻辑符号如图 1.1.7(c) 所示。

④ 异或运算。当两个输入逻辑变量相同时，逻辑函数为“0”；当两个输入逻辑变量不同时，逻辑函数为“1”。这种逻辑关系叫作异或。逻辑表达式为 $F = A\overline{B} + \overline{A}B = A \oplus B$ 。其中“ \oplus ”为异或运算符号。异或门的逻辑符号如图 1.1.7(d) 所示。

⑤ 同或运算。和异或运算正相反。当两个输入逻辑变量相同时，逻辑函数为“1”；两个输入逻辑变量不同时，逻辑函数为“0”。这种逻辑函数叫同或。其逻辑表达式为 $F = AB + \overline{A}\overline{B} = A \odot B$ ，“ \odot ”为同或运算符号。同或门的逻辑符号如图 1.1.7(e) 所示。

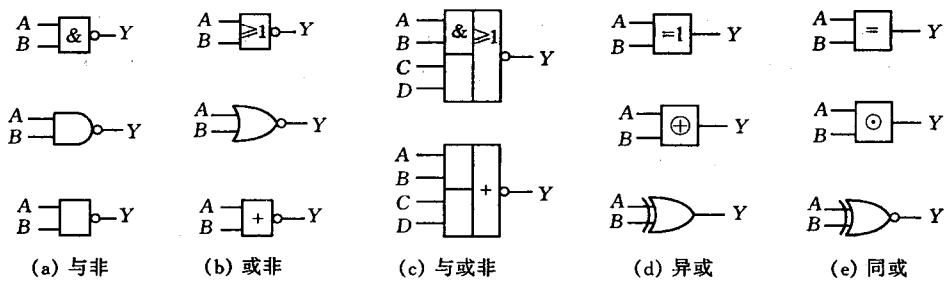


图 1.1.7 复合逻辑运算的逻辑符号

在实际工程中，用得较多的为与非门。因为它既能实现其自身的功能，又可以实现其他的逻辑关系。

例 1.1.1 已知三变量的逻辑表达式为： $Y = AC + ABC\overline{C} + \overline{A}BC$ 。

① 试用最少的与门、或门画出逻辑图。

② 试用最少的与非门画出逻辑图；

解 $Y_1 = AC + ABC\overline{C} + \overline{A}BC$
 $= ABC + ABC\overline{C} + ABC + \overline{A}BC + ABC + \overline{A}BC$
 $= AB + AC + BC$

$Y_2 = AB + BC + AC = \overline{\overline{A}\overline{B}\overline{C}\overline{A}\overline{C}}$

逻辑图如图 1.1.8 和图 1.1.9 所示。

1.1.3 实验内容及步骤

(1) 测与非门 74LS00 的逻辑功能，填入表 1.1.4 中。

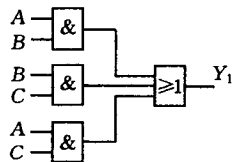


图 1.1.8 例 1.1.1 的逻辑图

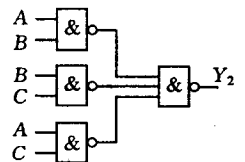


图 1.1.9 例 1.1.1 的逻辑图

表 1.1.4 与非门真值表

输入信号		输出信号		
A	B	电位	电平	逻辑值
0	0			
0	1			
1	0			
1	1			

选集成器件 74LS00，其引脚图如图 1.1.10 所示，将 14 脚接电源 +5V，7 脚接地，集成电路才能正常工作。工作前先检查集成器件的好坏，集成器件接通电源后，其他管脚悬空，将数字表黑笔接地，红表笔接门电路输入端，分别测量各输入端电压。TTL 与非门悬空时相当于接高电平，故逻辑状态应为“1”，若为“0”，表示此门电路已坏。再用红表笔测门电路的输出端，如为“0”态，表示此门电路工作正常，否则，可判断门电路坏了。

实验时将门电路的输入端接入实验箱逻辑电平开关 K，门电路的输出端接逻辑电平指示灯，由灯的亮或灭来判断输出端的高低电平。

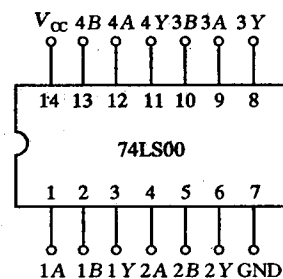


图 1.1.10 74LS00 的引脚图

(2) 测或门 74LS32 的逻辑功能，填入表 1.1.5 中。

表 1.1.5 或门真值表

输入信号		输出信号		
A	B	电位	电平	逻辑值
0	0			
0	1			
1	0			
1	1			

(3) 测异或门 74LS86 的逻辑功能，填入表 1.1.6 中。

表 1.1.6 异或门真值表

输入信号		输出信号		
A	B	电位	电平	逻辑值
0	0			
0	1			
1	0			
1	1			

(4) 测试 TTL 与或非门 74LS55 的逻辑功能，填入表 1.1.7 中。

表 1.1.7

与非门真值表

输 入				输 出	输 入				输 出
A	B	C	D	F	A	B	C	D	F
0	0	0	0		1	0	0	0	
0	0	0	1		1	0	0	1	
0	0	1	0		1	0	1	0	
0	0	1	1		1	0	1	1	
0	1	0	0		1	1	0	0	
0	1	0	1		1	1	0	1	
0	1	1	0		1	1	1	0	
0	1	1	1		1	1	1	1	

(5) 设计电路, 用与非门分别实现与门和或门, 填入自设计的表格中。

(6) 设计电路, 用或非门实现函数 $F = AB + BC + CA$, 填入自设计的表格中, 画出逻辑图, 并用实验验证之。

1.1.4 预习要求

(1) 实验前阅读实验原理说明, 了解与门、或门、与非门等的工作原理和逻辑功能, 预习思考题内容, 查本书附录中有关 TTL 集成电路型号命名规则及管脚确定方法, 在实验原理图中标出对应的集成电路管脚号。

(2) 对于设计题, 画出设计电路图。

(3) 用铅笔在真值表中填上理论上的输出值, 以便在实验中验证。

(4) 实验前要检验集成电路的好坏。

1.1.5 实验报告要求及总结分析

(1) 阐述实验原理。

(2) 画出实验用电路连接图。

(3) 将测试结果填入真值表中, 绘制与非门的电压传输特性曲线。

(4) 将测量结果与实际值进行比较, 并对结果进行讨论。

1.1.6 实验仪器

稳压电源 1 台;

万用表 1 块;

通用实验板 1 台;

参考元件: 74LS00, 74LS04, 74LS08, 74LS32, 74LS86, 74LS55 各 1 片。

1.1.7 思考题

(1) 对于多个输入端的逻辑门, 其不用的输入端如何处理? 是否可以悬空?

(2) 如何使用与非门(74LS00)实现非门功能?

1.2 TTL 与非门参数测试电路的设计

1.2.1 实验目的

- (1) 熟悉 TTL 与非门外形和管脚引线排列。
- (2) 了解 TTL 与非门参数的物理意义。
- (3) 掌握 TTL 门电路电压传输特性及主要参数的测试方法。
- (4) 通过测试了解 TTL 与非门的直流参数。
- (5) 加深对与非门逻辑功能的认识。

1.2.2 实验原理

图 1.2.1 所示为 74 系列 TTL 与非门的典型电路结构。它包括由 T_1 , R_1 , D_1 和 D_2 组成的输入级, 由 T_2 和 R_2 , R_3 组成的倒相级和由 T_3 , T_4 , T_5 , R_4 , R_5 组成的输出级等三部分。

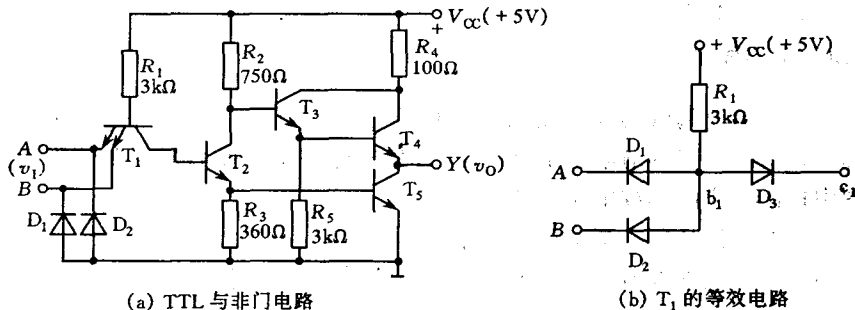


图 1.2.1 TTL 与非门电路和多发射级三极管 T_1 的等效电路

与非门的逻辑功能是: 输入有 0, 输出为 1; 输入全 1, 输出为 0。设输入高、低电平分别为 $V_{IH}=3.6V$, $V_{IL}=0.3V$, PN 结导通时结压降为 $0.7V$ 。

(1) 输入信号有低电平时的情况

当输入端有一个或几个接低电平 ($+0.3V$) 时, 对应于输入端接低电平的发射结导通, T_1 的基极电位等于输入低电平加上发射结正向电压, $v_{B1}=0.3+0.7=1V$ 。由于 T_1 的基极到地之间 b_1c_1 , b_2c_2 , b_5c_5 共有三个 PN 结, 因此要使三极管 T_2 , T_5 导通, 必须使 $v_{B1} = v_{BC1} + v_{BE2} + v_{BE5} = 0.7 + 0.7 + 0.7 = 2.1V$, 所以 T_2 , T_5 截止。由于 T_2 截止, 其集电极电位接近于 V_{CC} , 于是电源 V_{CC} 经过电阻 R_2 向三极管 T_3 , T_4 提供基极电流而使 T_3 , T_4 导通, 输出 Y 为高电平。

(2) 输入信号全为高电平时的情况

当输入端全部接高电平 ($+3.6V$) 时, T_1 的两个发射结都处于反向偏置, 电源 V_{CC} 经过电阻 R_1 和 T_1 的 b-c 结向 T_2 , T_5 提供足够的基极电流而使 T_2 , T_5 饱和导通, 所以输出电位为

$$v_o = V_{CES} = 0.3V。$$

即输出 Y 为低电平。

此时 T_1 的基极电位 $v_{B1} = v_{BC1} + v_{BE2} + v_{BE5} = 0.7 + 0.7 + 0.7 = 2.1V$, T_2 的集电极电位 $v_{C2} = V_{CES2} + v_{BE5} = 0.3 + 0.7 = 1V$, 此值大于 T_3 的发射结正向电压, 使 T_3 导通。由于 $v_{B4} = v_{E3} = v_{C2} - v_{BE3} = 1 - 0.7 = 0.3V$, 所以 T_4 必然截止。

综上所述, 图 1.2.1(a) 所示电路的输入与输出之间的逻辑关系为与非逻辑关系, 即输入有 0 时输出为 1, 输入全 1 时输出为 0, 所以图 1.2.1(a) 所示电路实现了与非逻辑运算, 是与非门。即有

$$Y = \overline{A \cdot B}.$$

下面介绍一下 TTL 与非门的几个主要参数。

① 输入短路电流 I_{IS}

当某一输入端接地而其余输入端悬空时, 流过这个输入端的电流称为输入短路电流, 用 I_{IS} 表示。如图 1.2.2(a) 所示。由图可知 $I_{IS} = \frac{V_{CC} - v_{BE1} - 0}{R_1} \approx -1.4mA$ 。

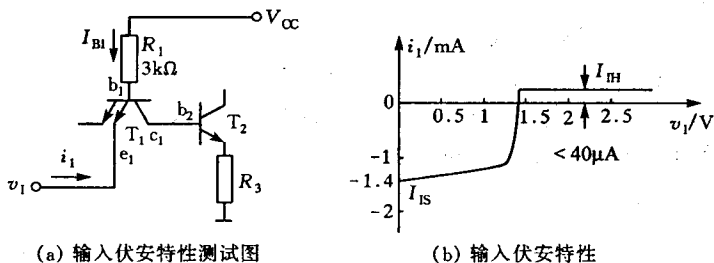


图 1.2.2 TTL 与非门输入伏安特性

图 1.2.2(b) 是 TTL 与非门输入特性曲线。从曲线上可查得 v_1 接近于 0 时, $I_{IS} \approx -1.4mA$, 与计算结果相符。一般情况下, TTL 与非门的 I_{IS} 在 $1.0 \sim 1.5mA$ 之间。在实际应用中, 当前级“与非门”的输出为低电平时, 后级“与非门”的输入短路电流总和将灌入前级门成为前级门的负载电流, 即 $I_L = NI_{IS}$ 。其中 N 为后级同类“与非门”个数, 一般 $N \geq 8$, I_{IS} 的大小将直接影响 TTL “与非门”的负载能力。若 I_{IS} 过大将使前级门的 T_5 退出饱和, 输出低电平升高, 破坏了电路正常的逻辑功能。因此, 对输入短路电流要有一个限制。产品规范值 $I_{IS} < 1.6mA$ 。

当 v_1 为低电平时, 对 v_1 来说, TTL 与非门形成灌电流负载, 而 I_{IS} 就是可能灌入 v_1 的最大电流值。

② 输入漏电流 I_{IH}

当 $v_1 = I_{IH} = 3.6V$ 时, T_1 管处于 $v_{BC} > 0$, $v_{BE} < 0$ 的状态。在这种状态下, 相当于把原来的集电极 c_1 当作发射极使用, 而把原来的发射极 e_1 当作集电极使用了。这种工作状态称为倒置状态。 T_1 管处于倒置状态, 而在倒置状态下三极管的电流放大系数可以小到 0.01 以下, 所以高电平输入电流 I_{IH} 很小, 只有几十微安。74 系列门电路每个输入端的 I_{IH} 值在 $40\mu A$ 以下。

当 v_1 为高电平时, 对 v_1 来说, TTL 与非门形成拉电流负载, I_{IH} 就是索取拉电流的数值。

③ 电压传输特性。

- 输出高电平 V_{OH} 。当输入有低电平时, 输出端得到高电平值。TTL “与非门” V_{OH}

典型值为 3.6V，最小值为 2.8V。一般情况下输出高电平 3.6V 是指输出空载情况下的值。而实际电路都带有负载。所以在测量高电平时在门电路输出端常接一个模拟负载 R_L ，设

负载电流为 I_L ，则 $R_L = \frac{V_{OH}}{I_L}$ 。

• 输出低电平 V_{OL} 。当输出为低电平时，门电路输出级的 T_5 饱和导通而 T_4 管截止，输出端的等效电路如图 1.2.3(a) 所示。

由于 T_5 饱和导通时 c-e 间的内阻很小(通常在 10Ω 以内)，所以负载电流 i_L 增加时输出的低电平 V_{OL} 仅稍有升高。图 1.2.3(b) 是低电平输出特性曲线。可以看出， V_{OL} 与 i_L 的关系在较大的范围里基本呈线性。

输出低电平 $V_{OL} \leq V_{OLmax}$ 。负载电流 $i_L \leq I_{OLmax}$ 。

• 开门电平 V_{ON} 。保证输出低电平的最小输入电压称为开门电平。当输入电压大于开门电平 V_{ON} 时，与非门处于导通状态。

• 关门电平 V_{OFF} 。保证输出电压为高电平时的最大输入电压值称为关门电平(一般认为是输出电压下降到高电平值 V_{ON} 的 90% 时所对应的输入电平)。当输入电压小于关门电平 V_{OFF} 时，与非门处于截止状态。

讨论：

V_{ON} 和 V_{OFF} 的值愈接近，曲线愈陡，线性放大区愈狭小，电路的静态特性愈好。

如果将 $V_{OFF} - V_{IL}$ 定义为低电平噪声容限 V_{NL} ，那么 V_{OFF} 和 V_{IL} 的值相差愈大，则表明低电平方面的抗干扰能力愈强。

如果将 $V_{IH} - V_{ON}$ 定义为高电平噪声容限 V_{NH} ，那么 V_{IH} 和 V_{ON} 的值相差愈大，则表明高电平方面的抗干扰能力愈强。

④ 带负载能力。

TTL 与非门的带载能力常用可以驱动同类门的个数 N 来表示， N 称为扇出系数。也就是说， N 表示一个 TTL 与非门能够驱动同类门的最大数目。

逻辑门带上负载后，负载电流的流向有两种情况。一种是负载电流 i_L 流入逻辑门，称为灌电流，这种负载 R_L 称为灌电流负载。另一种是负载电流 i_L 从逻辑门流出，称为拉电流，这种负载 R_L 称为拉电流负载。对于 TTL 与非门，输出低电平时，带灌电流负载；输出高电平时，带拉电流负载。值得注意的是，一个门的输出有高、低电平之分，那么谈这个门的带负载能力，必须综合考虑输出高电平时的带负载能力和输出低电平时的带负载能力。

门电路常驱动同类门，在这种情况下，用扇出系数来描述其带负载能力。扇出系数就是一个门电路驱动同类门的最大数目。输出高电平时的扇出系数 N_{OH} 满足

$$N_{OH} \leq \frac{I_{OHmax}}{I_{IHmax}} \left(N_{OH} \text{ 取 } \frac{I_{OH}}{I_{IH}} \text{ 的整数部分} \right),$$

那么，输出低电平时的扇出系数也应满足

$$N_{OL} \leq \frac{I_{OLmax}}{I_{ILmax}} \left(N_{OL} \text{ 取 } \frac{I_{OL}}{I_{IL}} \text{ 的整数部分} \right)。$$

一个门的扇出系数只能有一个，当 N_{OH} 与 N_{OL} 不一样时， $N_O = \min(N_{OH}, N_{OL})$ 。

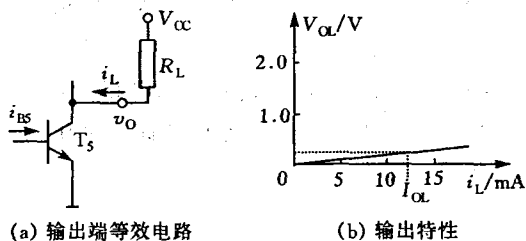


图 1.2.3 TTL 反相器低电平输出等效电路和输出特性