

// 高等学校通信教材

gaodeng xuexiao tongxin jiaocai

◎ 毛期俭 主编

◎ 蒋维玉 罗一静 梁燕 编著

SHUZI DIANLU YU LUOJI SHEJI
SHIYAN JI YINGYONG

数字电路与逻辑设计 实验及应用

人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

高等学校通信教材

数字电路与逻辑设计实验及应用

毛期俭 主编

蒋维玉 罗一静 梁 燕 编著

人民邮电出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

数字电路与逻辑设计实验及应用 / 毛期俭主编; 蒋维玉, 罗一静, 梁燕编著.

—北京: 人民邮电出版社, 2005.8

高等学校通信教材

ISBN 7-115-13517-7

I. 数... II. ①毛... ②蒋... ③罗... ④梁... III. 数字电路—逻辑设计—实验—高等学校—教材 IV. TN79-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 079065 号

内 容 提 要

本书是根据国家教育部高等学校电子信息科学与电气信息类基础课程教学指导分委员会提出的“数字电路与逻辑设计”课程教学基本要求编写的。

全书共分为 4 章, 第一章为基本实验, 主要介绍双踪示波器和函数信号发生器的功能及使用方法, 常用数字集成电路的主要参数、逻辑功能和测试方法; 第二章主要介绍基于 EDA 技术的开发工具 MAX+PLUSII 的使用方法和 VHDL 设计, 以及部分 EDA 技术实验原理, 本章还安排了 4 个实验。第三章提供了 10 个大型实验或课程设计的参考课题。第四章主要介绍实验基本知识及常用仪器设备。在附录中汇编了常用数字集成电路的名称、型号、引脚排列等内容。

本书可作为高等学校通信、计算机类和电气、电子类等专业的实验教材, 也可供从事电子技术工作的工程技术人员参考。

高等学校通信教材

数字电路与逻辑设计实验及应用

-
- ◆ 主 编 毛期俭
编 著 蒋维玉 罗一静 梁 燕
责任编辑 滑 玉
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京艺辉印刷有限公司印刷
新华书店总店北京发行所经销
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 11.25
字数: 267 千字 2005 年 8 月第 1 版
印数: 1—3 000 册 2005 年 8 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-115-13517-7/TN · 2522

定价: 18.00 元

读者服务热线: (010) 67170985 印装质量热线: (010) 67129223

编者的话

本书是根据国家教育部高等学校电子信息科学与电气信息类基础课程教学指导分委员会2004年8月提出的“数字电路与逻辑设计”课程教学基本要求,根据作者多年教学和科研经验,并参考诸多相关优秀教材编写而成的。

本书与理论课《数字电路与逻辑设计》教材配套使用,适合精讲多练的教学方法。本书编著遵循理论教学与实践教学相结合的原则,减少不必要的内容重复,通过系统的理论知识学习和实践锻炼,使学生具有较强的分析与解决实际问题能力,具有较强的电子设计与制作的能力,培养学生的创新和工程意识。

实验教学是工院校三大教学环节之一,通过实验不仅可以巩固、加深对基础理论知识的理解,而且可以培养学生独立分析与解决问题的能力 and 严谨的工作作风,以适应未来工作的需要。

由于知识更新周期大为缩短,为了顺应电子科学技术的飞速发展,加强实践性教学环节,加强对学生动手能力的培养,结合学科专业要求,以及实验独立设课的特点,我们编写本书时在内容上加强了中、大规模集成电路和可编程逻辑器件的应用;更加强理论与实践的融合,注重典型性、实用性、设计性及新颖性,力求在原理阐述上深入浅出,并在每个实验中都有实验原理、参考电路、思考题及较多的实验任务供学生参考和选用。本教材具体安排如下。

第一章 基本实验,按理论课教学内容的顺序编排了12个实验,其中既有着重培养学生掌握基本知识、基本技能和常用仪器仪表的使用方法的实验,又有以中规模数字集成电路为主和有代表性的大规模集成电路的应用设计性实验。

第二章 EDA技术与实验,主要介绍了基于EDA技术的开发工具MAX+PLUSII的使用方法和VHDL,以及部分EDA技术实验原理。本章由浅入深地编排了4个实验,着重于可编程逻辑器件FPGA的应用。通过本章的学习和实验,可使学生受到电子设计自动化设计方法的训练,熟悉开发技能与技巧,跟上科技发展的步伐,适应激烈竞争的社会环境。

第三章 综合实验,本章提供了10个大型实验或课程设计的参考课题,它们较系统地反映了中、大规模集成电路及可编程逻辑器件在数字系统中的应用,并对设计思路作了简略提示。通过本章的综合实验或课程设计培养锻炼学生独立思考能力,较全面地应用已学过的基础理论和方法,能用现代数字系统的设计方法进行特定的数字系统设计,以达到巩固扩充课堂理论教学内容,提高工程设计能力和独立工作能力的目的。

第四章 实验基本知识及常用仪器设备,本章主要对双踪示波器、函数信号发生器、数字电路实验箱等常用实验仪器设备的原理和使用方法作了阐述,对标准数字集成电路的种类、特点和使用注意事项,以及实验常见故障的分析、判断和排除方法作了介绍。

在附录中汇编了实验中常用的数字集成电路名称、型号及引脚排列,可供学生在实验、课程设计和毕业设计中查阅参考。

本书第一章的第二、三、五、十二节,第二章的第一、三、四、五、六节,第三章第四、

五、六、七、八、九、十节，附录及每章的引语由毛期俭执笔；第一章第四、六节，第三章第三节及第四章由蒋维玉执笔；第一章第七、八、九、十一节，第二章第二节，第三章第二节，由罗一静执笔；第一章第一、十节，第三章第一节，由梁燕执笔。全书由毛期俭审阅、定稿。书中的电路图及引脚图由梁燕和罗一静同志绘制。

本书由张德民教授主审，参加审稿的还有林定忠、王汝言副教授。三位老师对初稿进行了认真细致的审阅，提出了许多宝贵意见和修改建议。王恩普工程师等做了许多工作，在此一并向他们表示衷心感谢。

由于编者水平有限，书中难免有错误和不当之处，殷切希望读者提出宝贵意见和批评指正。

编者
2005年4月

目 录

第一章 基本实验	1
第一节 实验一——双踪示波器及函数发生器的使用.....	1
第二节 实验二——集成逻辑门测试.....	7
第三节 实验三——三态门、OC 门的功能测试及其应用.....	14
第四节 实验四——组合逻辑电路的设计及功能测试.....	18
第五节 实验五——译码器及其应用.....	22
第六节 实验六——数据选择器及应用.....	30
第七节 实验七——集成触发器.....	32
第八节 实验八——移位寄存器及移存型计数器的应用.....	36
第九节 实验九——计数器及其应用.....	40
第十节 实验十——脉冲信号的产生与整形电路.....	44
第十一节 实验十一——集成定时器 555 及其应用.....	48
第十二节 实验十二——大规模集成存储器 EPROM 的应用.....	51
第二章 EDA 技术与实验	54
第一节 Max+plusII 开发系统简介.....	54
第二节 VHDL 概述.....	64
第三节 EDA 技术实验一——带使能端的计数器原理图输入设计方法.....	75
第四节 EDA 技术实验二——用状态机实现序列检测器的设计.....	77
第五节 EDA 技术实验三——硬件电子琴电路设计.....	79
第六节 EDA 技术实验四——ROM 只读存储器的设计.....	83
第三章 综合实验	84
第一节 课题一——数字电子钟.....	86
第二节 课题二——数字频率计.....	90
第三节 课题三——数字日历.....	94
第四节 课题四——倒计时器.....	96
第五节 课题五——点阵显示屏.....	97
第六节 课题六——波形发生器.....	99
第七节 课题七——简易电话计时器.....	100
第八节 课题八——射击自动报靶器的设计.....	104
第九节 课题九——交通灯控制器的设计.....	109
第十节 课题十——采用可编程逻辑器件实现 UART.....	111

第四章 实验基本知识及常用仪器设备	113
第一节 数字集成电路的特点及使用注意事项	113
第二节 实验常见故障分析和排除	120
第三节 数字显示器判别法及使用注意事项	122
第四节 数字逻辑实验箱	123
第五节 GW48 型 EDA 实验箱	127
第六节 双踪示波器	147
第七节 函数信号发生器	154
第八节 实验须知	157
附录 部分常用数字集成电路汇集	158
附录一 半导体集成电路型号命名法	158
附录二 国际数字集成电路规范 (含 TTL、CMOS 电路)	160
附录三 常用集成电路功能表、真值表、时序波形及引脚图	161
参考文献	171

第一章 基本实验

数字电路在各个科学领域中都得到了广泛的应用，它是一门实践性很强的技术基础课。在学习中，不仅要掌握基本原理和基本方法，更重要的是学会灵活应用。因此，本章根据数字电路课程的内容顺序，编排了 12 个基本实验。每个实验编排了较多的实验内容，以适应各专业本科、专科不同层次和不同兴趣学生的需要。通过本章实验，应达到以下要求。

(1) 掌握脉冲波形参数的测量方法和双踪示波器、函数信号发生器的正确使用。

(2) 掌握组合逻辑与时序逻辑电路的一般分析和设计的方法；学会正确选用中规模数字集成器件，熟悉其逻辑功能，并灵活用其实现某些特定的功能，从而提高实验技能和实验研究能力。

(3) 掌握脉冲信号的产生和变换的方法，以及 555 定时器的典型应用。

(4) 了解大规模集成电路的工作原理，熟悉其工作特性、使用方法和简单应用。

通过这些实验，有效地培养学生实事求是和严谨的科学实验作风，培养学生理论联系实际和解决问题的能力。

第一节 实验一——双踪示波器及函数发生器的使用

一、实验目的

- (1) 熟悉双踪示波器的基本工作原理。
- (2) 掌握双踪示波器及函数信号发生器的操作方法。
- (3) 掌握用双踪示波器测量脉冲波形参数的方法。

二、实验原理

(一) 示波器的工作特性

1. 连续扫描和触发扫描

为了在荧光屏上显示稳定的信号波形，要求 x 轴的扫描信号必须与被测信号同步。通用示波器一般有两种扫描工作方式：一种是连续扫描工作方式（AUTO 档），此时示波器的扫描电路产生自激扫描信号，荧光屏显示扫描时基线，与外接信号是否存在无关。即当接入信号时显示屏上便显示信号的波形，若撤去信号显示屏上仍出现一条水平方向的直线光迹。此种

扫描方式适用于观测随时间连续变化的信号，如正弦波形等；另一种是触发扫描工作方式（NORM 档），其特征是只有示波器接上信号，荧光屏上才出现光迹（信号波形），撤去信号，荧光屏上只有光点。即示波器内的扫描锯齿波电压，是由被测信号触发产生的。正因为这样才使得被测信号与扫描信号间保持绝对的同步。该扫描方式能用以观测任意波形（包括脉冲波形）。

2. 两个波形同时显示的过程

为了便于理解双踪示波器对被测信号波形显示的过程和原理，根据图 1-1-1 所示，只作垂直通道（CH1— Y_A 和 CH2— Y_B ）部分的讨论。由图 1-1-1 可见，双踪示波器能同时显示双波形的基本原理，主要是靠电子开关轮流接通 A 门和 B 门， Y_A 通道和 Y_B 通道的输入信号 V_A 和 V_B 按一定的时间分割轮流被接至垂直偏转板，在荧光屏上显示。根据开关信号的转换速度不同有两种分割方式：“交替”方式和“断续”（斩波）方式。

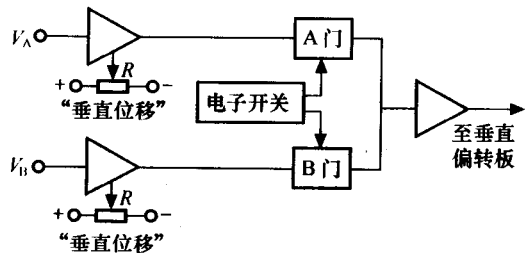


图 1-1-1 示波器 Y 通道简化等效框图

“交替”方式工作时，若第一个扫描周期电子开关使 A 门接通，并显示 Y_A 通道输入信号波形 V_A ，则第二个扫描周期电子开关 B 门接通，而显示 V_B 波形，如此重复，并在荧光屏上轮流显示出两个信号波形。若被测信号周期不太长，那么，利用荧光屏的余辉和人眼的残留效应，我们感觉到荧光屏上同时显示出两个波形，如图 1-1-2 (a) 所示。显然，为了实现“交替”方式的双踪显示，开关信号必须与扫描信号同步。实际上，控制电子开关的开关信号由时基电路提供。当被测信号频率较低时（低于 25Hz），由于交替显示的速率很慢，图形将出现闪烁。

当开关信号频率远大于被测信号频率时，双踪显示将工作在“断续”方式。这时开关信号对两个被测信号波形轮流地进行实时取样，所以，在荧光屏上看到的是由若干个取样光点所构成的“断续”波形，如图 1-1-2 (b) 所示。在“断续”方式中，由于每个扫描周期同时显示出两个信号波形，所以，在观测重复频率较低的波形时可避免闪烁。

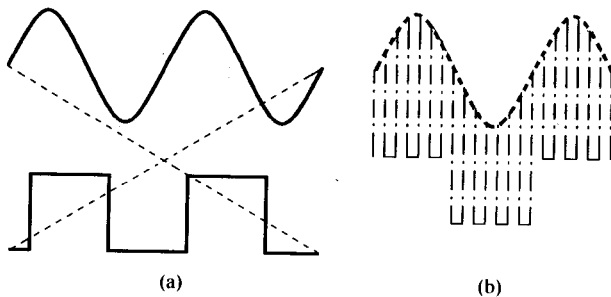


图 1-1-2 双踪显示方式

在双踪显示时，不管工作在“交替”方式，还是“断续”方式，为了显示出两个信号之间的相位（或时间）关系，需要用其中（ Y_A 通道或 Y_B 通道）一个信号去触发扫描发生器，在波形转换过程中产生的光迹（图 1-1-2 (a) 中虚线）应消隐处理。

(二) 示波器的基本应用

示波器不仅可以观察波形 ($v-t$) 和图形 ($x-y$), 而且还可以进行电压、时间、频率、相位以及其他物理量的测量。在这里仅介绍上述部分物理量的基本测量方法。这些方法对各类型的通用示波器都适用。

1. 电压的测量

示波器测量电压的独特优点是可以直接观察到信号波形及其失真情况, 这是其他测量电压的仪表无法做到的。一般电压表的读数与被测电压的波形有关, 而示波器可以测得各种波形和各点瞬时值。但示波器测量电压的缺点是精度不高, 一般测量误差为 $\pm 5\%$ 。这是由于示波器的固有误差、光迹宽度和视差等造成的。

测量电压按下述步骤。

(1) 调整示波器到最佳工作状态

电压测量方法有直接测量法和间接测量法。通常, 用示波器测量电压的方法是直接测量法, 也就是电压测量法。由被测波形在示波器荧光屏上显示的 y 方向占有的高度或标度格数 (div) 乘垂直偏转系数 (灵敏度)。因此, 为了提高测量精度, 测量前, 必须把示波器的亮度和聚焦调节到使基线细而清晰。若灵敏度已校正好, 其微调旋钮应置于校正位置 (CAL)。

(2) 交流电压与脉冲幅度的测量

调节示波器的多功能开关和旋钮, 使被测波形显示稳定, 并使测量部分占有荧光屏较大的区域, 这样做, 既便于读数又可减小误差。

其测量电压结果为:

$$V_{p-p} = D_y \times H \quad (1-1-1)$$

式中: V_{p-p} —— 被测电压峰-峰值或任意两点间的电压值, 单位为 V (伏);

D_y —— 灵敏度选择开关所指示的标称值, 单位是 V/div (cm);

H —— 被测电压波形峰-峰 (即占有 y 向的格数) 或任意两点间的高度, 单位是 div(cm)。

有时为了提高示波器的输入阻抗, 减少对被测电路的影响, 特别是在测量高速脉冲时, 示波器的输入电容 (C) 对波形影响很大。为此, 常使用高频探头来克服这个缺点, 但一般探头都有 $\times 1$ 和 $\times 10$ 两个固定衰减值, 而它们使测量灵敏度下降, 因此, 若用高频探头测量时, 对式 (1-1-1) 要加以修正, 如下式所示:

$$V_{p-p} = D_y \times H \times b \quad (1-1-2)$$

式中: b 为高频探头衰减值 ($\times 1$ 或 $\times 10$)。

(3) 直流电压的测量

置输入耦合开关于 GND (地) 位置, 触发方式选为自动, 荧光屏上应出现扫描基线, 适当调节垂直 (\perp) 旋钮, 移动基线与邻近的水平标尺刻度重叠, 此刻度即作为零电压线 (也称参考线); 将输入耦合开关置于 DC (直流) 位置, 适当选择灵敏度值, 使被测波形光迹位于荧光屏显示范围内, 读取此时波形光迹与零电压刻度间的距离格数 H_0 。

直流电压便可由下式求得

$$V_{DC} = D_y \times H_0 \quad (\text{V}) \quad (1-1-3)$$

式中： H_0 —— 被测电压光迹与零电压刻度线之间的距离，单位是 div (cm)。

2. 时间的测量

目前，示波器是测量数字时钟信号和脉冲时间参数的主要仪表。因它不仅在测量时间时比较直观，而且能同时提供较多的信息。图 1-1-3 所示为示波器测量实际矩形脉冲波形的参数。

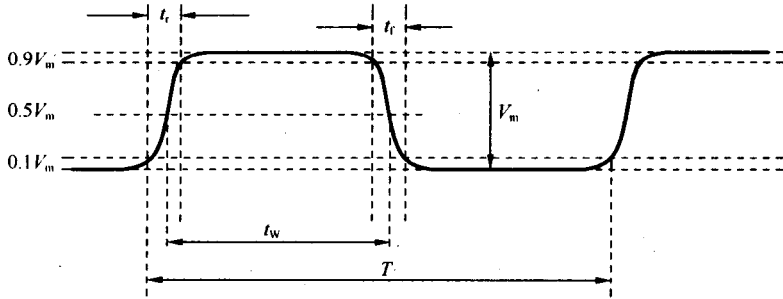


图 1-1-3 实际矩形脉冲波形

图中： T —— 重复周期；

t_w —— 脉冲宽度，通常定义是幅度为 $0.5V_m$ 处，波形前后沿之间的时间间隔；

t_r —— 上升时间，定义为信号由 $0.1V_m$ 上升至 $0.9V_m$ 的时间间隔；

t_f —— 下降时间，定义为信号由 $0.9V_m$ 下降至 $0.1V_m$ 的时间间隔。

为了提高测量精度，减少测量结果的误差，测量前必须用它自身提供的校准信号，即周期为 1ms 的方波对扫描速度进行校准。然后，调节扫描速度开关，和其他相关的功能旋钮和开关，如触发电平、触发极性等，使被测波形稳定，且被测时间所对应的光迹长度适中。这样被测时间 t_x 可由下式求得：

$$t_x = L \times S_x \quad (1-1-4)$$

式中： S_x —— 示波器的扫描速度，单位是 s/div (cm)，ms/div (cm)， μ s/div (cm)；

L —— 被测时间所对应的光迹在 x 轴方向所占的水平距离，单位是 div (cm)。

3. 频率的测量

周期性信号的频率，除用频率计或计数器等专门仪器测量外，用示波器测量，是一种简单、灵活的方法，而且具体测量方法较多。下面介绍两种常用的方法。

(1) 用测周期法确定频率

因为信号的频率与周期间存在着互为倒数的关系。所以，用前述示波器测量时间的方法便可十分容易地从波形上测出该信号的周期，然后，即可换算出相应信号的频率。其缺点是精度不高（约有 $\pm 3\%$ 的误差），故常用于频率的粗测。频率换算公式如下：

$$f = 1/T = K/(x \times S_x) \quad (1-1-5)$$

式中： K —— 信号波形显示的完整周期数；

x —— K 个完整周期波形显示的占有水平轴的长度 (cm)；

S_x —— 扫描速度的指示值 (ms/cm, μ s/cm)。

为了提高测量精度, 常采用多周期法即 K 大于 1 的测量。如果使用扫描扩展测定周期, 则式 (1-1-5) 的得数应除以扩展倍率 (10), 以加以修正。

4. 相位的测量

用示波器测量信号间的相位差方法很多, 如常用的李沙育图形法和线性扫描法的测量优点是不仅能测得相位大小, 且能测定其相位超前与落后的性质; 缺点是要求示波器必须具有两踪以上的波形显示功能, 且扫描锯齿波的线性优良, 否则, 将引入不可忽略的误差。

由于双踪示波器测量相位差的方法简便, 所以当前获得广泛的应用。该法就是将两个信号波形, 同时显示于荧光屏上, 这样便可比较二者间的相位差, 如图 1-1-4 所示。

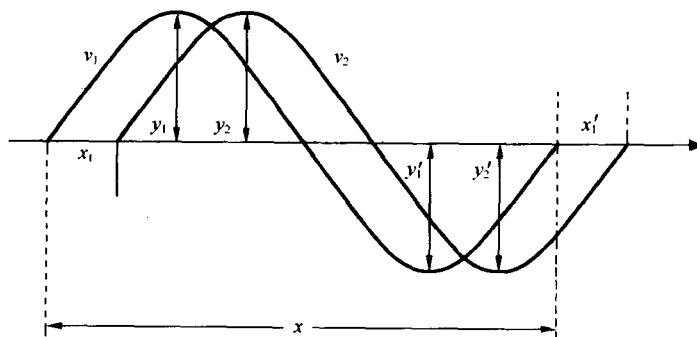


图 1-1-4 利用双踪示波器显示比较相位

由图 1-1-4 可见, 信号 v_1 和 v_2 之间的相位差, 应满足下式

$$\theta = x_1 / x \times 360^\circ \quad (1-1-6)$$

式中: θ —— v_1 和 v_2 间的相位差;

x —— 信号变化一个周期, 光点沿 x 轴方向扫描的距离 (即经历的时间);

x_1 —— 两波形在 x 轴或时间轴的起始点差。

使用此法应注意的事项: 内触发源选择, 只能用单踪 (CH1 或 CH2) 触发, 以便确定比较相位的参考点。两个信号的幅度尽量调整相等, 并且每个波形的前半周期与后半周期的交界点要准确地与 x 轴重合 (即 $y_1=y'_1, y_2=y'_2$)。另外, 为了减小由扫描非线性引入的误差, 可将 x_1 与 x'_1 的平均值 $(x_1+x'_1)/2$ 代入式 (1-1-5) 运算测量结果值。

三、实验设备与器件

本实验常用的实验设备与器件如下:

实验设备: OS-7040, GOS643 和 YB4340 CS4135A 型双踪示波器;

实验器件: FG1617 和 YB1638 FG506 型函数信号发生器。

四、实验任务

本实验应完成如下任务。

(1) 观察 CH1 通道有信号和无信号时 X 系统扫描方式的 AUTO 与 NORM 的现象, 并填表 1-1-1。

表 1-1-1

X: MODE	AUTO	NORM
无信号		
有信号		

(2) Y 系统工作方式不同时, X 系统 SOURCE 应置于何档, 才能使波形稳定, 并填表 1-1-2。

表 1-1-2

Y: MODE	CH1	CH2	ALT (DUAL)	ADD (CHOP)
X: SOURCE 触发源			校准信号送 CH1 通道, 信号源送 CH2 通道	

(3) 根据表 1-1-3 中各种幅度信号, VOLTS/DIV 应置于哪些相应档时波形正常显示 ($1\text{cm} \leq V \leq 8\text{cm}$)。

(4) 当函数信号发生器频率为 1MHz, 100kHz, 10kHz 和 1kHz 时, TIME/DIV 如何选择, 记录在表 1-1-4 中 ($1\text{cm} \leq T \leq 10\text{cm}$)。

表 1-1-3

幅 度	VOLTS/DIV (合适的所有档位)
15 V	
4.2 V	
3.6 V	
0.3 V (20dB)	

表 1-1-4

频 率	TIME/DIV (合适的所有档位)
1MHz	
100kHz	
10kHz	
1kHz	

(5) 用探头将示波器“CAL”校正信号输入 CH1 信道。

- ① 测量波形的高低电平值。
- ② 测量波形的周期 T , 脉宽 t_w , 计算占空比 $\tau (\tau = t_w / T \times 100\%)$, 并画出波形图。
- ③ 测量波形的上升时间 t_r 和下降时间 t_f 。

五、思考题

- (1) 实验任务 (2) 中 Y: MODE 为什么要 ADD 同源, 才能观察到稳定的波形?
- (2) 分析示波器观察到的波形周期 T 与信号发生器输出波形的周期 T' 不一致的原因?

第二节 实验二——集成逻辑门测试

一、实验目的

- (1) 深刻理解集成逻辑门主要参数的含义和功能。
- (2) 熟悉 TTL 与非门和 CMOS 或非门主要参数的测试方法，并通过功能测试判断器件好坏。
- (3) 熟悉数字逻辑实验箱的使用方法，为以后数字电路实验做好准备。

二、实验原理

集成逻辑门是数字电路中应用十分广泛的最基本的一类器件。为了合理地使用和充分利用其逻辑功能，必须对它的主要参数和逻辑功能进行测试。本实验采用 TTL 中速 4 输入端双与非门 74LS20 和 2 输入端四或非门 CC4001 进行测试。74LS20 与非门的内部电路和引脚排列如图 1-2-1 所示。

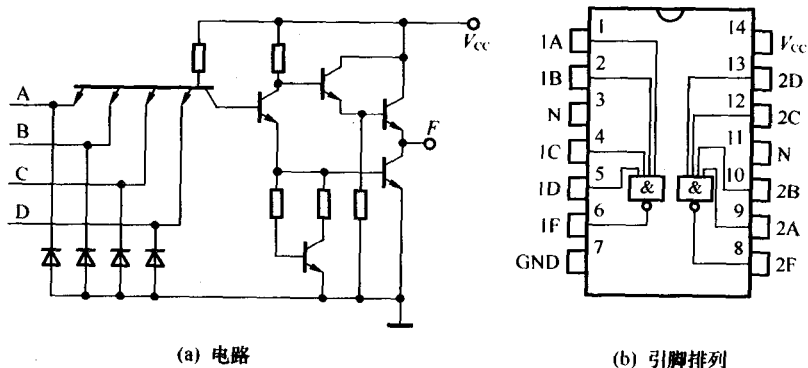


图 1-2-1 74LS20 与非门

1. TTL 与非门的主要参数

(1) 导通电源电流 I_{CCL} 。导通电源电流又叫空载导通电流，是指输入端全部悬空、输出端空载、与非门工作在导通状态时电源供给的电流。 I_{CCL} 的大小标志着门电路的功耗 P_L 的大小， $P_L = V_{CC} \cdot I_{CCL}$ 。由于门电路导通时的功耗大于截止时的功耗，因此，手册中的规范值通常只列出 I_{CCL} 的数值。74LS20 的 $I_{CCL} \leq 14\text{mA}$ 。

(2) 低电平输入电流 I_{IL} 。低电平输入电流又叫输入短路电流，是指当一个输入端接地、其余输入端悬空时流出接地输入端的电流。 I_{IL} 的大小直接影响前一级门电路所带负载的个数。一般 $I_{IL} \leq 1.6\text{mA}$ 。

(3) 高电平输入电流 I_{IH} 。高电平输入电流又称输入漏电流，是指当一个输入端接高电平，

其余输入端接地时流入接高电平输入端的电流，该电流主要为前一级门输出为高电平时的拉流。74LS20 的 $T_{IH} \leq 50\mu A$ 。

(4) 输出高电平 V_{OH} 。 V_{OH} 是指与非门有一个以上输入端接地或接低电平时的输出电平值。此时门电路工作于截止状态（关态）。如果输出空载， V_{OH} 约为 3.6V；若输出接拉流负载， V_{OH} 将下降。74LS20 的 $V_{OH} \geq 2.4V$ 。

(5) 输出低电平 V_{OL} 。 V_{OL} 是指与非门的所有输入端均接高电平时的输出电平值。此时门电路工作于导通状态（开态）。 V_{OL} 的大小主要由 T_5 管的饱和深度与外接负载来决定。如输出空载， V_{OL} 约为 0.1V；若输出接灌流负载，因负载向门电路灌入电流，使 T_5 管的饱和程度变浅， V_{OL} 将上升。74LS20 的 $V_{OL} \leq 0.4V$ 。

(6) 开门电平 V_{on} 。 V_{on} 是指与非门带等效额定负载，且输出处于额定低电平时允许输入高电平的最小值。只要输入电平 $V_I \geq V_{on}$ 时，与非门必定导通。测量时可取 $V_{OL} = 0.4V$ 所对应的输入电平作为 V_{on} ，一般 $V_{on} \leq 1.8V$ 。

(7) 关门电平 V_{off} 。 V_{off} 是指与非门输出处于高电平状态时允许输入低电平的最大值。测量时用 $V_{OH} = 2.7V$ （或 2.4V）所对应的输入电平作为 V_{off} 。74LS20 的 $V_{off} \geq 0.8V$ 。

(8) 阈值电平 V_T 。 V_T 是指与非门的工作点处在电压传输特性，输出电平迅速变化区中点的输入电平值。通常称为门电压。一般 $V_T \approx 1.35V$ 。

与非门的 V_{OL} ， V_{OH} ， V_{on} ， V_{off} 和 V_T 等参数可根据定义按厂家测试条件测出，但实验中通常是从测绘的电压传输特性曲线上直接读出这些参数值（两者测试条件虽不一样，但数值非常接近）。这里所说的电压传输特性，是在输出端开路条件下，输入电压 V_i 从零电平逐渐升高到高电平时，输出 V_o 随输入 V_i 的变化曲线。在电压传输特性中，若 V_{on} 和 V_{off} 的值越靠近，则门电路的抗干扰能力越强。因低电平噪声容限 $V_{NL} = V_{off} - V_{iL}$ ；高电平噪声容限 $V_{NH} = V_{iH} - V_{on}$ 。式中 V_{iH} 通常取 3V， V_{iL} 取 0.35V。

(9) 扇出系数 N_o 。 N_o 是指门电路所能驱动同类电路门的数目，它是用来衡量门电路负载能力的一项参数，其大小主要受输出低电平时输出端允许灌入的最大负载电流限制。如灌入的负载电流超过门电路所允许的数值，将使输出低电平显著上升。74LS20 的 $N_o \geq 8$ ，取 $V_{OL} = 0.4V$ 。

(10) 平均传输延迟时间 t_{pd} 。平均传输延迟时间是与非门的一个瞬态参数。它是指与非门输出波形边沿的 $0.5V_m$ 点相对于输入波形对应边沿的 $0.5V_m$ 点的时间延迟，如图 1-2-2 所示。其中 t_{pdL} 为导通延迟时间， t_{pdH} 为截止延迟时间。

于是，门电路的平均延迟时间为 $t_{pd} = \frac{1}{2}(t_{pdL} + t_{pdH})$ 。平均延迟时间是衡量门电路开关速度的一个重要指标，按平均延迟时间的不同，TTL 门电路有中速、高速和超高速之分，一般中速门电路的 t_{pd} 为 10ns~50ns，高速为 2ns~10ns，超高速 $t_{pd} \leq 2ns$ 。

74LS20 中速双与非门主要参数规范值如表 1-2-1 所示。

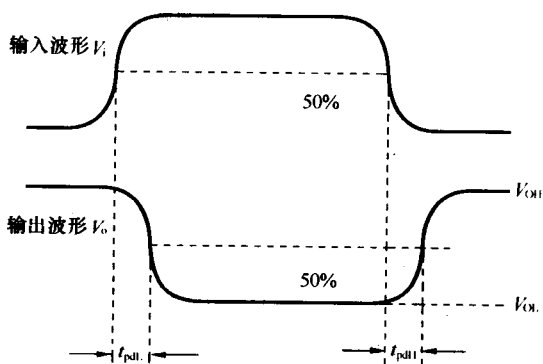


图 1-2-2 门电路的延迟时间

表 1-2-1 74LS20 中速双速与非门参数规范值

参数名称和符号		规范值		单位	测试条件
直 流 参 数	导通电源电流	I_{OCl}	≤ 14	mA	$V_{CC}=5.5V$, 输入端悬空, 输出端空载
	低电平输入电流	I_{iL}	≤ 1.6	mA	$V_{CC}=5.5V$, 被测输入端接地, 其他输入端悬空, 输出端空载
	高电平输入电流	I_{iH}	≤ 50	μA	$V_{CC}=5.5V$, 被测输入端 $V_{in}=2.4V$, 其他输入端接地, 输出端空载
			≤ 1	mA	$V_{CC}=5.5V$, 被测输入端 $V_{in}=5.5V$, 其他输入端接地, 输出端空载
	输出高电平	V_{OH}	≥ 2.4	V	$V_{CC}=4.5V$, 被测输入端 $V_{in}=0.8V$, 其他输入端悬空, $I_{O1}=400\mu A$
	输出低电平	V_{OL}	≤ 0.4	V	$V_{CC}=4.5V$, 输入端 $V_{in}=2.0V$, $I_{O1}=12.8mA$
	扇出	N_O	≥ 8		同 V_{OH} 和 V_{OL}
交流 参数	平均传输延迟时间	t_{pd}	≤ 40 ≤ 20	ns	$V_{CC}=5.0V$, 被测输入端输入信号: $V_{in}=2.0V$, $f=2MHz$, $t_r, t_f=10\text{ ns}\sim 15\text{ ns}$, $t_w=0.25\mu s$; 其他输入端接 $2.4V$, $R_i=300\Omega$, $C_i=21pF$, BG 为 3DK3B (bc 短接)

2. CMOS 或非门的主要参数

CMOS 门电路是由 NMOS 和 PMOS 管组成, 通称为互补 MOS 电路。它具有功耗低、电源电压范围宽、输出逻辑电平摆幅大、噪声容限高、输入阻抗高、可靠性好和价格便宜等优点, 所以在各种电子系统中的应用愈来愈广泛。

CMOS 门电路是最基本的逻辑电路之一, 尽管内部结构与 TTL 不同, 但它们的逻辑功能却完全一样。CMOS 门电路的特性也有直流 (静态) 和交流 (动态) 两种, 其参数含义大体上也与 TTL 相似。手册中一般都给出各器件电参数的规范值和测试条件。这里以 CMOS 或非门为例, 说明几个主要参数的特点。

(1) 功耗: CMOS 门电路的静态功耗非常低, 一般为微瓦数量级, 这是它的一个突出优点。动态工作时虽然在输出状态转换过程中, 电源要对负载电容充电、放电, 动态功耗要增加, 但总的功耗还是很低的, 一般在毫瓦数量级。

(2) 电压传输特性: 电压传输特性, 是在门电路输出端开路情况下测出的。从传输特性曲线上, 可读出输出高电平 V_{OH} 和输出低电平 V_{OL} 的数值。 $V_{OH} \approx V_{DD}$, $V_{OL} \approx V_{SS} \approx 0V$, 噪声容限 $V_N \approx 40\% V_{DD}$ 。

(3) 扇出系数: CMOS 电路输入阻抗极高, 大致相当于 $12^{12}\Omega$ 和 $5pF$ 电容相并联。一个 CMOS 门驱动另一个 CMOS 门几乎不需要静态输入电流, 所以它的直流扇出系数也几乎是无限的。但在动态工作时, 对后级门电路的输入电容充、放电需要电流, 使扇出系数 N_O 受到一定的限制, 一般取 $N_O=10\sim 20$ 。

(4) 传输延迟时间: CMOS 器件的传输延迟时间比 TTL 器件长得多。其典型值是在特定容性负载下测得的, 如果负载电容增大, 传输延迟时间就会相应增加, 每个 CMOS 门输入端为 $5pF$, 再加上 $5pF\sim 15pF$ 的杂散布线电容。

3. 逻辑功能

(1) 与非门的逻辑功能：当所有输入端均为高电平时，输出为低电平；一个或一个以上输入端为低电平时，输出为高电平。对于 74LS20 四个输入端与非门，有十六种输入情况（二进制 0000~1111），实际上只要对输入 1111, 0111, 1011, 1101 和 1110 五种进行测试就可判断其逻辑功能是否正常。

在测试时，为了方便起见，输入低电平可将输入端接地；输入高电平可将输入端悬空。但在复杂的数字电路系统中，当输入信号少于与非门输入端的个数时，为避免拾取干扰，对 TTL 电路而言，通常将多余输入端接高电平或与该门有用信号输入端并联使用。

(2) 或非门的逻辑功能：当所有输入端为低电平时，输出为高电平；一个或一个以上输入端为高电平时，输出为低电平。由此可判断其逻辑功能是否正常。

本实验是采用 CMOS 或非门 CC4001 进行测试的。

CMOS 器件电压范围宽， V_{DD} 分别有 7V~15V 和 3V~18V 等系列，CC4001 属于后一种系列。CC4001 的逻辑图、电路图如图 1-2-3 (a), (b) 所示。

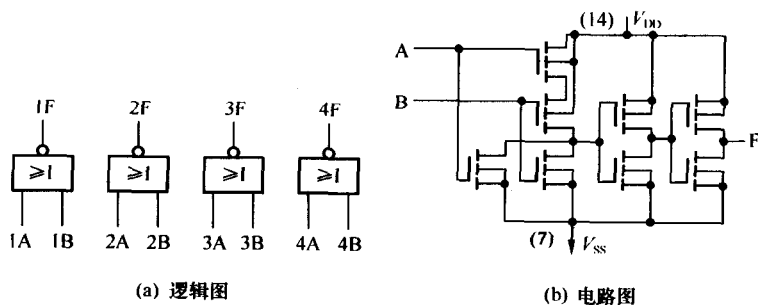


图 1-2-3 CC4001 二输入端或非门

本实验一般采用实验电路板，也可在数字逻辑实验箱上进行。

三、实验设备与器件

本实验设备与器件分别是：

实验设备：数字逻辑实验箱、双踪示波器、直流稳压电源、数字频率计、数字万用表及工具；

实验器件：74LS20 两片，CC4001 一片，500Ω左右电阻和 10kΩ左右电阻各一只。

四、实验任务

1. TTL 与非门逻辑功能测试

按表 1-2-2 的要求测 74LS20 逻辑功能，输入 A, B, C, D 为 1 时，将相应端悬空；输入为 0 时，则接地（或将 A、B、C、D 接数字逻辑实验箱里的“0—1”数据开关即钮子

表 1-2-2 与非门功能测试表

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