

★ 服务热线: 400-615-1233  
★ 配套精品教学资料包  
★ www.huatengedu.com.cn



SHUZI DIANZI JISHU FANGZHEN SHIXUN JIAOCHENG

# 数字电子技术仿真 实训教程



策划编辑: 马子涵  
责任编辑: 马子涵  
封面设计: 黄燕美



定价: 59.80元



“十四五”职业教育河南省规划教材



“十四五”职业教育河南省规划教材



SHUZI DIANZI JISHU FANGZHEN SHIXUN JIAOCHENG

# 数字电子技术仿真 实训教程

主编程勇

数字电子技术仿真实训教程

主编程勇

北京邮电大学出版社



北京邮电大学出版社  
www.buptpress.com



“十四五”职业教育河南省规划教材



SHUZI DIANZI JISHU FANGZHEN SHIXUN JIAOCHENG

# 数字电子技术仿真 实训教程

主 编 程 勇  
副主编 袁绩海 郑向歌 陈瑞霞



北京邮电大学出版社  
www.buptpress.com

## 内 容 简 介

本书除绪论外共7个项目,内容包括裁判表决器电路的设计与调试、8路抢答器电路的设计与调试、密码电子锁的设计与调试、多功能数字钟的设计与调试、流水彩灯的设计与调试、蔬菜大棚温度报警电路的设计与调试、用可编程逻辑器件实现计数器。

本书可作为高等职业院校电子信息等专业的教材,也可供相关人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

数字电子技术仿真实训教程 / 程勇主编. -- 北京:北京邮电大学出版社, 2021.4(2022.11 重印)

ISBN 978-7-5635-6360-9

I. ①数… II. ①程… III. ①数字电路—电子技术—高等职业教育—教材 IV. ①TN79

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2021)第 068505 号

策划编辑: 马子涵 责任编辑: 马子涵 封面设计: 黄燕美

出版发行: 北京邮电大学出版社

社 址: 北京市海淀区西土城路 10 号

邮政编码: 100876

发 行 部: 电话: 010-62282185 传真: 010-62283578

E-mail: publish@bupt.edu.cn

经 销: 各地新华书店

印 刷: 大厂回族自治县聚鑫印刷有限责任公司

开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16

印 张: 21 插页 1

字 数: 511 千字

版 次: 2021 年 4 月第 1 版

印 次: 2022 年 11 月第 2 次印刷

ISBN 978-7-5635-6360-9

定 价: 59.80 元

· 如有印装质量问题,请与北京邮电大学出版社发行部联系 ·

服务电话:400-615-1233

本书是依据《国家职业教育改革实施方案》和《职业院校教材管理办法》的精神,结合职业教育“以能力为本位”的指导思想,以数字电子技术中的典型工作任务为载体,将教学内容按项目任务方式进行编写的。

全书除绪论外共七个项目:项目一介绍数字集成电路的识别、逻辑函数及其化简、裁判表决器电路的设计与调试等;项目二介绍编码器和译码器等中规模逻辑器件的工作原理、8路抢答器电路的设计与调试等;项目三介绍各种触发器的逻辑功能以及触发器的相互转换,在此基础上,介绍密码电子锁的设计与调试等;项目四介绍时序逻辑电路的分析和设计、计数器及其应用、基本寄存器和移位寄存器的逻辑功能和多功能数字钟的设计与调试等;项目五介绍555电路的逻辑功能以及由555电路构成的应用电路和流水彩灯的设计与调试等;项目六介绍D/A转换器和A/D转换器的逻辑功能和蔬菜大棚温度报警电路的设计与调试;项目七介绍可编程逻辑器件的发展、表示方法和基本结构以及可编程逻辑器件的工作原理,最后用可编程逻辑器件实现计数器。

本书的编写特色如下。

### 1. 立足专业、紧贴教学标准

为适应大部分电类专业的需要,本书对数字电子技术教学中的内容做了合理取舍,对难度过大的内容进行了适当删减,对专业性过强的内容只做简单介绍。

### 2. 密切联系生产和生活实际

本书采用项目式教学,做到步步有任务,节节有训练,仿真实训伴随着每一个知识点。本书的两大特色在于项目和仿真,并将其很好地结合。设计理念是教、学、做有机统一:“教”以完成任务为主线,根据需求分析,引导学习相关的知识和技能;“学”以导学为引导,采用仿真的平台学习数字电路器件,分析电路工作原理及功能;“做”以工作任务为蓝本,介绍如何完成各项任务。

### 3. 理论阐述与实践操作相结合,体现职业教育特色

本书在内容编排上,贯彻理论实践一体化的教学思想,将训练贯穿于教学的始终,通过训练来培养学生的技能。尤其是仿真的引入,使枯燥的理论学习变得形象生动。

### 4. 多元化评价体系,促进学生个性化发展

为促进学生学习能力、基本素质、创新精神、创造能力、个性培养等全方位的发展,力图改变过去通过试卷判分的评价方式,更注重学生在完成学习实践任务过程中的评价。在每个技能训练项目的任务表中,给出了明确详细的评价标准,并将工作习惯、协作精神等纳入考核,从而体现出对学生专业技能和综合素质的培养。



本书的参考学时如下。

课程内容	学 时
绪论	2
项目一 裁判表决器电路的设计与调试	10
项目二 8路抢答器电路的设计与调试	12
项目三 密码电子锁的设计与调试	12
项目四 多功能数字钟的设计与调试	16
项目五 流水彩灯的设计与调试	10
项目六 蔬菜大棚温度报警电路的设计与调试	8
项目七 用可编程逻辑器件实现计数器	8
总计	78

本书由河南水利与环境职业学院程勇担任主编,负责制定编写大纲及全书统稿;河南水利与环境职业学院袁绩海、郑向歌及焦作冶金建材高级技工学校陈瑞霞担任副主编。具体编写分工如下:项目一、项目二由袁绩海编写,绪论及项目三、项目四由郑向歌编写,项目五、项目六由程勇编写,项目七由陈瑞霞编写。本书在编写过程中,得到了兄弟院校相关教师的大力支持,在此一并表示感谢。

由于编者水平有限,书中难免有疏漏和不足之处,敬请读者批评指正。

编 者

<b>绪论</b>	.....	1
一、数字电子技术概述	.....	1
二、电子产品制造技术	.....	3
三、芯片技术	.....	7
四、工匠劳模	.....	9
<b>项目一</b>	<b>裁判表决器电路的设计与调试</b>	10
<b>任务一</b>	<b>数字集成电路的识别</b>	11
知识链接	.....	11
一、数字电路概述	.....	11
二、数字集成电路	.....	13
技能训练 数字集成电路的识别	.....	21
<b>任务二</b>	<b>仿真测试门电路逻辑功能</b>	22
知识链接	.....	23
一、逻辑代数	.....	23
二、逻辑运算	.....	25
三、逻辑门电路与集成逻辑电路	.....	27
技能训练 用仿真软件 Multisim 10 仿真测试门电路逻辑功能	.....	48
<b>任务三</b>	<b>仿真测试逻辑函数的化简</b>	52
知识链接	.....	52
一、逻辑函数的公式化简法	.....	52
二、逻辑函数的卡诺图化简法	.....	53
三、逻辑函数门电路的实现	.....	59
技能训练 仿真测试逻辑函数的化简	.....	60
<b>任务四</b>	<b>仿真设计三人投票表决电路</b>	62
知识链接	.....	62
一、组合逻辑电路的定义与特点	.....	62
二、组合逻辑电路的分析	.....	62
三、组合逻辑电路的设计	.....	63



四、组合逻辑电路的竞争冒险 .....	65
技能训练 仿真设计三人投票表决电路 .....	68
项目制作 裁判表决器电路的设计与调试 .....	71
思考与练习 .....	75

## 项目二

### 8 路抢答器电路的设计与调试

..... 78

<b>任务一 仿真测试编码器的逻辑功能</b> .....	79
知识链接 .....	79
一、编码器的工作原理 .....	79
二、集成电路编码器 .....	82
技能训练 仿真测试编码器的逻辑功能 .....	85
<b>任务二 仿真测试译码器的逻辑功能</b> .....	88
知识链接 .....	88
一、二进制译码器 .....	88
二、二-十进制译码器 .....	90
三、数字显示器 .....	91
技能训练 仿真测试译码器的逻辑功能 .....	103
项目制作 8 路抢答器电路的设计与调试 .....	108
思考与练习 .....	114

## 项目三

### 密码电子锁的设计与调试

..... 117

<b>任务一 仿真测试 RS 触发器的逻辑功能</b> .....	118
知识链接 .....	118
一、基本 RS 触发器 .....	118
二、同步 RS 触发器 .....	120
三、主从 RS 触发器 .....	122
四、集成 RS 触发器 .....	123
技能训练 用仿真软件 Multisim 10 仿真测试 RS 触发器的 逻辑功能 .....	123
<b>任务二 仿真测试 JK 触发器的逻辑功能</b> .....	127
知识链接 .....	127
一、主从 JK 触发器 .....	127
二、边沿 JK 触发器 .....	129
技能训练 1 用仿真软件 Multisim 10 仿真测试 JK 触发器的 逻辑功能 .....	130
技能训练 2 仿真测试灯光控制器电路 .....	135
<b>任务三 仿真测试 D 触发器的逻辑功能</b> .....	137
知识链接 .....	138
一、同步 D 触发器 .....	138
二、边沿 D 触发器 .....	138



技能训练	仿真测试由 $D$ 触发器构成的灯光控制器电路	144
项目制作	密码电子锁的设计与调试	148
思考与练习		152

## 项目四 多功能数字钟的设计与调试 156

<b>任务一</b>	<b>仿真测试十进制计数器的逻辑功能</b>	157
	知识链接	157
	一、时序逻辑电路的基本结构及特点	157
	二、时序逻辑电路的分析和设计	159
	三、计数器	168
	四、集成计数器及应用	173
技能训练	用仿真软件 Multisim 10 仿真测试十进制计数器的逻辑功能	176
<b>任务二</b>	<b>仿真测试任意进制计数器的逻辑功能</b>	180
	知识链接	180
	用集成计数器构成 $N$ 进制计数器	180
技能训练	用仿真软件 Multisim 10 仿真测试 $N$ 进制计数器的逻辑功能	186
<b>任务三</b>	<b>仿真测试基本寄存器和移位寄存器的逻辑功能</b>	191
	知识链接	191
	一、基本寄存器	191
	二、移位寄存器	192
	三、寄存器的应用	195
技能训练	用仿真软件 Multisim 10 仿真测试基本寄存器和移位寄存器的逻辑功能	201
项目制作	多功能数字钟的设计与调试	207
思考与练习		221

## 项目五 流水彩灯的设计与调试 224

<b>任务一</b>	<b>仿真测试 555 电路的逻辑功能</b>	225
	知识链接	225
	一、555 定时器的电路结构与工作原理	225
	二、用 555 定时器构成单稳态触发器	227
	三、多谐振荡器	229
	四、施密特触发器	232
技能训练	用仿真软件 Multisim 10 仿真测试 555 电路的逻辑功能	235
<b>任务二</b>	<b>仿真测试 555 电路的简单应用</b>	240
	知识链接	240





技能训练	用仿真软件 Multisim 10 仿真测试 555 电路的简单应用 .....	242
项目制作	流水彩灯的设计与调试 .....	245
思考与练习	.....	251

**项目六****蔬菜大棚温度报警电路的设计与调试**

253

**任务一 仿真测试 D/A 转换器的逻辑功能** ..... 254

知识链接 ..... 254

一、D/A 转换器的基本原理 ..... 254

二、倒 T 形电阻网络 D/A 转换器 ..... 255

三、权电流型 D/A 转换器 ..... 256

四、D/A 转换器的主要技术指标 ..... 259

技能训练 用仿真软件 Multisim 10 仿真测试 D/A 转换器的逻辑功能 ..... 259

**任务二 仿真测试 A/D 转换器的逻辑功能** ..... 265

知识链接 ..... 265

一、A/D 转换器的基本原理 ..... 265

二、并行比较型 A/D 转换器 ..... 267

三、逐次比较型 A/D 转换器 ..... 268

四、双积分型 A/D 转换器 ..... 270

五、A/D 转换器的主要技术指标 ..... 272

六、集成 A/D 转换器及其应用 ..... 273

技能训练 用仿真软件 Multisim 10 仿真测试 A/D 转换器的逻辑功能 ..... 276

项目制作 蔬菜大棚温度报警电路的设计与调试 ..... 280

思考与练习 ..... 288

**项目七****用可编程逻辑器件实现计数器**

290

**任务 仿真认识可编程逻辑器件** ..... 291

知识链接 ..... 291

一、数字集成电路概述 ..... 291

二、可编程逻辑器件的发展 ..... 292

三、可编程逻辑器件的分类、表示方法和基本结构 ..... 293

四、可编程逻辑器件的工作原理 ..... 298

技能训练 用仿真软件 Multisim 10 仿真认识可编程逻辑器件 ..... 318

项目制作 用可编程逻辑器件实现计数器 ..... 322

思考与练习 ..... 327

参考文献 ..... 329



# 绪 论

电子技术是根据电子学的原理,运用电子元器件设计和制造某种特定功能的电路以解决实际问题的科学。随着科学技术的发展和人类的进步,电子技术已经成为各种工程技术的核心,特别是进入信息时代以来,电子技术更是成为基本技术,其具体应用涵盖了通信、控制系统、测试系统、计算机等各行各业。电子技术的出现和应用,使人类进入高新技术时代。电子技术诞生的历史虽短,但深入的领域却是至广至深,成为人类探索宇宙宏观世界和微观世界的物质技术和基础。

电子技术包括信息电子技术和电力电子技术两大分支。信息电子技术包括模拟电子技术和数字电子技术。数字电子技术主要包括数字逻辑的基本概念、基本定律和基本分析方法,数字电路的分析、设计、制作和调试,数字集成芯片的识别、功能解读等。

## 一、数字电子技术概述

### (一)数字电子技术发展史

电子技术是 19 世纪末到 20 世纪初发展起来的新兴技术,在 20 世纪发展最迅速,应用最广泛,成为近代科学技术发展的一个重要标志。1883 年,美国发明家爱迪生发现了热电子效应。1895 年,荷兰物理学家洛伦兹假定了电子的存在。1897 年,英国物理学家汤姆孙通过实验找出电子。1904 年,英国物理学家弗莱明利用热电子效应制成电子二极管,证实电子管具有“阀门”作用,并将其用于无线电检波。1906 年,美国物理学家福雷斯特在弗莱明的二极管中放进第三电极——栅极而发明了电子三极管,从而建树了早期电子技术上最重要的里程碑。半个多世纪以来,电子管在电子技术中立下了很大功劳。但是电子管成本高,制造繁,体积大,耗电多,从 1948 年美国贝尔实验室的几位研究人员发明晶体管以来,在大多数领域中已逐渐用晶体管来取代电子管。1958 年,集成电路的第一个样品问世。集成电路使电子元件向着微型化、低功耗、智能化和高可靠性方面迈进了一大步,标志着电子技术发展到了一个新的阶段。

随着生产、生活和科学技术发展的需要,电子技术得到高度发展和广泛应用。它对于社会生产力的发展,也起着变革性的推动作用。例如,从 1946 年第一台电子计算机诞生以来,已经经历了电子管、晶体管、集成电路及大规模集成电路、超大规模集成电路、巨大规模集成电路等时代。

电子技术水平是现代化的一个重要标志,是实现现代化、智能化的重要技术基础。电子工业的发展速度和技术水平,直接影响到工业、农业、科学技术和国防建设,关系着社会主义建设的发展速度和国家的安危,也直接影响到人民的物质、文化生活,关系着广大群众的切身利益。



## (二)数字电子技术的应用领域

### 1. 在国防领域的应用

科技的进一步提高,对我国的国防提出了更高的要求,而数字电子技术由于巨大的优势,被普遍应用到国防建设中。数字电子技术是推动国防发展的基础,全面改善了军事装备,在国防顺利发展的基础上,还让国防电子格局发生了改变。对数字电子技术的广泛应用,让国防事业得到了很大的发展。

### 2. 在电力行业中的应用

如果电力系统能够运用数字电子技术,那么系统会变得十分完善,还能提高传送电能的效率,以及系统运行的安全性。同时,采用数字电子技术,能够提高电力系统的传送管控能力,如果在工作期间出现了突发性状况,那么就能有效地采取及时的处理,这样能让电力企业获得更多的经济效益,让电力企业在竞争激烈的市场环境中占据一席之地。

### 3. 在电子商务领域的应用

随着经济全球化和互联网技术的提升,电子商务得到快速发展。其具有非常好的网络环境,很难被地点、时间等因素制约。参加商务活动时,灵活采用数字电子技术,如 RFID、人脸识别、指纹识别、数字监控等技术,各类资源也能够完成整合,交易成本下降,效率提高。

### 4. 在家用电器中的应用

在日常生活中,电子产品得到了广泛的应用。例如,利用数字电子技术对温度采取有效控制,对照明装置的照度进行调节,对智能电视的各种操作,自动烟雾报警等。

### 5. 在汽车行业里的应用

将汽车配件和数字化技术进行结合,可以很大程度地加强汽车行驶的安全性,如 ASR、VDC 等电子系统,加强了汽车的稳定性。另外,采用智能交通系统,还可以给驾驶员提供安全的行车路线,较少交通事故的发生。

## (三)数字电子技术的发展趋势

随着社会的发展,数字化和信息化技术越来越普及,势必促进数字电子技术的迅猛发展,市场对数字电子的需求呈明显上升趋势。如今科技信息更新换代愈发快速,这极大地推动了数字电子技术的更新升级,以满足不断变化的市场环境。

### 1. 数字电子技术与模拟电子技术的融合

在具体应用中,数字电子技术具有更显著的优势,但模拟电子技术也有其独有特点,所以在未来发展中,将实现二者的有效融合,以促进新型电子器件的诞生。通过二者的融合,不仅能够优化传统电子器件的性能,还能创造出更多的新型电子器件,弥补传统电子器件应用过程中寿命短、噪声大等缺点,有效改变传统电位器的机械结构,以达到根除其固有缺陷的目的,有效提供应用效能。

### 2. 大规模

数字化是现代电子技术发展的必由之路,在科学技术不断发展的推动下,我国的电子技术研究也在不断深入。大规模可编程逻辑器件的广泛应用,充分体现了现代数字电子技术的变革,并以过去所不曾有过的速度更新换代。特别是在当代,原本的半导体的工艺水平经过不断开发已经达到深亚微米级,芯片的集成高度也达到千兆位,时钟频率正在向千兆赫兹以上发展,数据传输位数甚至达到每秒几十亿次,这些技术在之前是难以想象的,但却成为未来数字电子技术的发展方向 and 趋势。

### 3. 绿色环保

在现代化发展环境下,绿色环保的理念已经深入各行各业,现代数字电子技术的发展应



用也体现了技术本身及应用中的智能化与自动化特征,逐渐朝着模块化、高频化、绿色化的方向发展。随着半导体器件的发展完善,在研究中有效渗透了环保与经济的基本理念,在优化其自身使用性能的同时合理有效节约能源,更好地满足社会整体发展环境下人们对数字电子技术的需求。

## 二、电子产品制造技术

如今,电子产品已经融入人们生活的各个角落,给人们的生活和工作带来了巨大的便利。这些电子产品是怎样通过一个个微小的电子元器件制造出来的呢?电子产品的生产过程一般是:元器件进厂检验,PCB进厂检验;元器件成型处理;SMT贴片,将贴片器件贴装在PCB上;过孔器件手工插装;焊接、整形;测试;检验和包装。现将电子产品制造过程中的一些关键技术进行介绍。

### (一)印制电路板的装配与焊接

印制电路板(PCB)是重要的电子部件,是电子元器件的支撑体,由于它是采用电子印刷技术制作的,故称为印制电路板。印制电路板分为单面印制电路板(单面板)、双面印制电路板(双面板)和多层印制电路板。单面板由基板、导线、焊盘和阻焊层组成,单面板只有一面有铜箔导线,主要应用于低档电子产品。双面板两面都有铜箔导线,应用较为广泛。电子技术的发展要求电路集成度和装配密度不断提高,连接复杂的电路就需要使用多层印制电路板。

#### 1. 印制电路板的装配

(1)把各种元器件按照产品装配的技术标准进行复检和装配前预处理,淘汰不合格元器件。

(2)对元器件进行整形,使之符合电路板上的位置要求。元器件整形应符合以下要求:所有元器件引脚均不得从根部弯曲,一般应留1.5 mm以上;手工组装的元器件可以弯成直角,但机器组装的元器件一般不要弯成直角,圆弧半径应为引脚直径的1~2倍或更大;要尽量将有字符的元器件面置于容易观察的位置。

(3)将元器件插装到印制电路板上。手工插装、焊接时,先插装那些需要机械固定的元器件,再插装需要焊接固定的元器件。插装时不要用手直接碰元器件引脚和印制电路板上的铜箔;自动机械设备插装、焊接,先插装高度较低的元器件,后插装高度较高的元器件,贵重的关键元器件应该放到最后插装。散热器、支架、卡子等的插装,要靠近焊接工序。

(4)对装配过的电路板进行检查。确保插装好的元器件位置正确,符合要求。

#### 2. 印制电路板的焊接

在电子产品大批量生产的企业里,印制电路板的焊接主要采用波峰焊、浸焊、回流焊等。

##### 1)波峰焊

波峰焊是指将熔化的软钎焊料,经电动泵或电磁泵喷流成设计要求的焊料波峰,也可通过向焊料池注入氮气来形成,使预先装有元器件的印制电路板通过焊料波峰,实现元器件焊端或引脚与印制电路板焊盘之间机械与电气连接的软钎焊。波峰焊机的内部结构如图0-1所示。

波峰焊的工艺流程如下。

- (1)零件准备。
- (2)插装元器件。
- (3)涂助焊剂。
- (4)干燥和预热。
- (5)波峰焊。
- (6)强迫风冷。



(7)剪腿和整理。

(8)检验和修补。

波峰焊设备发明至今已有半个多世纪的历史,在通孔元器件印制电路板的制造中具有生产率高和产量大等优点,因此曾经是电子产品自动化大批量生产中最主要的焊接设备。目前常用的波峰焊方法有普通波峰焊和选择性波峰焊两种。

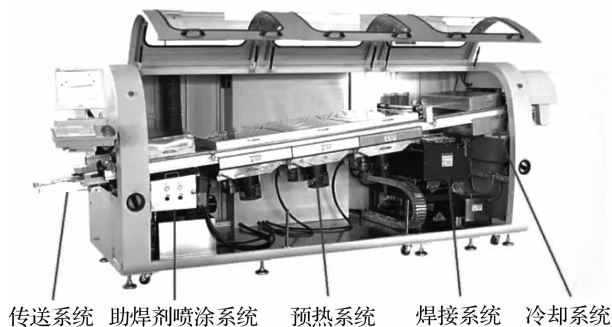


图 0-1 波峰焊机的内部结构

(1)普通波峰焊适合大批量生产、对品质要求不高的电路板能大大提高焊接效率,但也存在诸多缺点。它具有无法满足同一块电路板上各种元件焊接参数不同的局限性,常常为了满足某种元件或某个部分的焊接参数而调整各种参数,如调整温度、焊接速度、助焊剂的量等,比较容易出现元件损坏、焊点开路、漏焊、冷焊等问题;助焊剂的全板喷涂和锡渣大量产生都会带来较高的运行成本;产生的锡渣需要定期清除。以上这些都给使用者带来较为繁复的维护与保养工作。印制电路板设计不良时,普通波峰焊后不得不进行补焊,会降低产品的长期可靠性。

(2)选择性波峰焊主要针对高精密 PCB,可以大大提高焊接品质,但生产率要低一些,与普通波峰焊属于互补的关系,两者在生产中都有着无法替代的作用。选择性波峰焊可以借助编程对各个焊点进行精确控制,重复操作,比手工焊、焊锡机器人焊接更稳定,且温度、工艺、焊接参数等更加可控,还可以通过程序设定避开 PCB 底下某些固定螺钉、易损元件等部位。选择性波峰焊采用的是先涂敷助焊剂,然后预热,再使用喷嘴进行焊接的模式。与普通波峰焊相比,其助焊剂仅涂敷在需要焊接的部位,而不是整个 PCB,节省助焊剂,锡渣产生量和氮气使用量少,治具少甚至无治具。另外,它的烟雾产生量少,启动运行功率比波峰焊低,更加节能环保,焊接的品质高,大大降低了返修成本。

## 2) 浸焊

浸焊是将插装好元器件的 PCB 在熔化的锡炉内浸锡,一次完成众多焊点焊接的方法。浸焊分为手工浸焊和自动浸焊。

手工浸焊是由专业操作人员手持夹具,夹住已插装好元器件的 PCB,以一定的角度浸入焊锡槽内来完成的焊接工艺。手工浸焊机如图 0-2 所示。



图 0-2 手工浸焊机

其操作过程如下。

(1)加热锡炉,锡温控制在  $250\sim 280\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

(2)在 PCB 上涂一层(或浸一层)助焊剂。

(3)用夹具夹住 PCB 浸入锡炉中,焊盘表面与 PCB 接触,浸锡厚度以 PCB 厚度的  $1/2\sim 2/3$  为宜,浸锡的时间为  $3\sim 5\text{ s}$ 。

(4)以 PCB 与锡面成  $5^{\circ}\sim 10^{\circ}$  的角度使 PCB 离开锡面,略微冷却后检查焊接质量。如有较多的焊点未焊好,要重复浸锡一次。对只有个别不良焊点的 PCB,可用手工补焊。

手工浸焊的特点为设备简单、投入少,但效率低,焊接质量与操作人员的熟练程度有关,易出现漏焊,焊接有贴片的 PCB 较难取得良好的效果。



自动浸焊是利用自动浸焊机完成,将已插有元器件的待焊 PCB 由传送带送到工位时,焊料槽自动上升,待焊板上的元器件引脚与 PCB 焊盘完全浸入焊料槽,保持足够的时间后,焊料槽下降,脱离焊料,冷却形成焊点完成焊接。自动浸焊主要用于电视机主板等面积较大的电路板的焊接,相对于波峰焊,锡渣量减少,并且板面受热均匀,变形相对较小。自动浸焊机如图 0-3 所示。其操作过程如下。

(1)PCB 在浸焊机内运行至锡炉上方。

(2)锡炉做上下运动或 PCB 做上下运动,使 PCB 浸入锡炉焊料内,浸入深度为 PCB 厚度的  $1/2\sim 2/3$ ,浸锡时间为  $3\sim 5$  s。

(3)PCB 离开浸锡位,出浸锡机,完成焊接。

### 3)回流焊

随着电子产品 PCB 不断小型化,出现了片状元件,传统的焊接方法已不能适应需要。回流焊设备内部有一个加热电路,将空气或氮气加热到足够高的温度后吹向已经贴好元件的 PCB,让元件两侧的焊料融化后与主板黏结。回流焊工艺是贴装技术的重要部分。起先,只在混合集成电路板组装中采用回流焊工艺,组装焊接的元件多数为片状电容、片状电感、贴装型晶体管及二极管等。随着表面装配技术发展日趋完善,多种贴片元件和贴装器件的出现,回流焊工艺技术及设备也得到相应发展,其应用日趋广泛,几乎在所有电子产品领域都已得到应用。需要进行表面贴装工艺的电子产品首先施加焊锡膏,然后贴装元器件,最后回流焊接。回流焊机如图 0-4 所示。



图 0-3 自动浸焊机



图 0-4 回流焊机

其操作过程如下。

(1)PCB 进入  $140\sim 160$  °C 的预热温区时,焊膏中的溶剂、气体蒸发掉,同时,焊膏中的助焊剂润湿焊盘、元器件焊端和引脚,焊膏软化、塌落,覆盖焊盘,将焊盘、元器件引脚与氧气隔离。

(2)表贴元件充分预热后进入焊接区,温度以  $2\sim 3$  °C/s 迅速上升时,焊膏达到熔化状态,液态焊锡在 PCB 的焊盘、元器件焊端和引脚润湿、扩散、漫流和回流混合在焊接界面上生成金属化合物,形成焊锡接点。

(3)PCB 进入冷却区,焊点凝固。

### 4)手工焊接

如今,现代化电气产品企业已经普遍使用自动插装、自动焊接的生产工艺,但当生产试制产品、小批量产品、具有特殊要求产品、高可靠性产品等时,还需要采用手工焊接。即使 PCB 这样的小型化大批量自动焊接产品,也还有一定数量的焊接点需要手工焊接,目前还没





### 3) PLCC 封装

PLCC 封装的引脚在芯片底部向内弯曲,呈钩形(J形)电极,电极引脚数目为 16~84,间距为 1.27 mm。在芯片的俯视图中看不到芯片引脚。

### 4) BGA 封装

BGA 封装的 I/O 端子以圆形或柱状焊点按阵列形式分布在封装下面,如图 0-7 所示。BGA 封装的优点是 I/O 引脚数增加,但引脚间距并没有减小反而增加,提高了组装成品率;虽然它的功耗增加,但 BGA 封装能用可控塌陷芯片法焊接,可以改善芯片的电热性能;厚度和质量都较以前的封装技术有所减小;寄生参数减小,信号传输延迟小,使用频率大大提高;组装可用共面焊接,可靠性高。

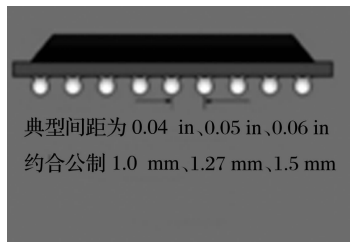


图 0-7 BGA 封装

## 2. 工艺流程

表面装配技术生产电子设备主要包括锡膏印刷机、贴片机、回流焊机和自动焊接质量检测装置,简单示意图如图 0-8 所示。其生产工艺流程一般如下。

(1)涂膏。涂膏工序位于 SMT 生产线的最前端,利用锡膏印刷机进行涂膏,其作用是将焊膏涂在 SMT 印制电路板的焊盘上,为元器件的装贴和焊接做准备。

(2)贴装。用贴片机将表面组装元器件准确安装到 SMT 电路板的固定位置上。

(3)固化。固化是将贴片胶熔化,从而使表面组装元器件与电路板牢固黏结在一起。

(4)回流焊接。利用回流焊机进行焊接,其作用是将焊膏熔化,使表面组装元器件与 PCB 牢固黏结在一起。

(5)清洗。利用乙醇、去离子水或其他有机溶剂进行清洗,其作用是将组装好的 PCB 上的对人体有害的焊接残留物(如助焊剂等)除去。

(6)检测。对组装好的 PCB 进行焊接质量和装配质量的检测。

(7)返修。对检测出现故障的 PCB 进行返工。



图 0-8 SMT 设备示意图

## 三、芯片技术

芯片是半导体元件产品的统称,也称为集成电路(integrated circuit, IC)或微电路(microcircuit)、微芯片(microchip)、晶片/芯片(chip);在电子学中是一种把电路(主要包括半导体设备,也包括被动组件等)小型化的方式,并时常制造在半导体晶圆表面,其外观如图 0-9 所示。

晶体管发明并大量生产后,各式固态半导体组件,如二极管、三极管等大量使用,取代了真空管在电路中的功能与角色。到 20 世纪中后期,半导体制造技术显著进步,使得集成电



路成为可能。相对于手工组装电路使用个别的分立电子组件,集成电路可以把大量的微晶体管集成到一个芯片,这是一个巨大的进步。集成电路的规模生产能力、可靠性、电路设计的模块化方法确保了快速采用标准化集成电路代替了设计使用离散晶体管。

集成电路相对于离散晶体管有两个主要优势:成本低和性能高。成本低是由于芯片把所有的组件通过照相平版技术,作为一个单位印刷,而不是在一个时间只制作一个晶体管。性能高是由于组件快速开关,消耗更低能量,因为组件很小且彼此靠近。

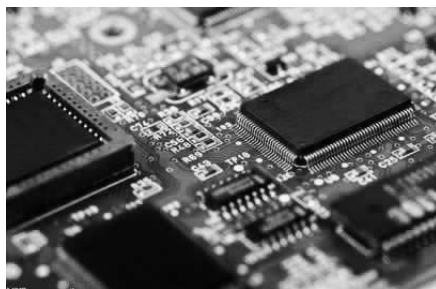


图 0-9 芯片

从 1949 年到 1957 年,维尔纳·雅各比、杰弗里·杜默、西德尼·达林顿、樽井康夫都开发了集成电路的原型。第一个现代集成电路是由杰克·基尔比于 1958 年完成的,锗衬底,台式结构,2 个晶体管,2 个电容,8 个电阻,黑蜡保护刻蚀,打线结合。仙童半导体公司、Intel 公司创始人罗伯特·诺伊斯首先实现了在硅单晶片上实现的集成电路,被称为“硅谷之父”。随着半导体材料和制造技术的发展,集成电路得到了快速发展,在其开发后半世纪,变得无处不在。

自问世以来,集成电路持续向更小的外形尺寸发展,使得每个芯片可以封装更多的电路。这样增加了单位面积容量,可以降低成本和增加功能。Intel 创始人之一的戈登·摩尔于 1965 年提出摩尔定律:集成电路的集成度,每 18~24 个月会提高一倍。随着外形尺寸的缩小,几乎所有的指标都得到改善,单位成本和开关功率消耗下降,速度提高。如今,随着科学技术的进一步发展,芯片制造技术的发展趋势主要表现为以下方面。

### 1. 集成电路走向系统芯片

系统芯片(system on a chip,SOC)与集成电路的设计原理不同,它是微电子设计领域的一场革命。它从整个系统的角度出发,把处理机制、模型算法、软件(特别是芯片上的操作系统——嵌入式的操作系统)、芯片结构、各层次电路直至器件的设计紧密结合起来,在单个芯片上完成整个系统的功能。

### 2. 石墨烯有望替代半导体

石墨烯(graphene)是一种由碳原子以  $sp^2$  杂化轨道组成的呈蜂巢晶格的二维碳纳米材料。石墨烯具有优异的光学、电学、力学特性,在材料学、微纳加工、能源、生物医学和药物传递等方面具有重要的应用前景,被认为是一种具有革命性的材料。

石墨烯在室温下的载流子迁移率约为  $15\ 000\text{ cm}^2/(\text{V}\cdot\text{s})$ ,这一数值超过硅材料的 10 倍,是已知载流子迁移率最高的物质铟化铟(InSb)的 2 倍以上。在某些特定条件(如低温)下,石墨烯的载流子迁移率甚至可高达  $250\ 000\text{ cm}^2/(\text{V}\cdot\text{s})$ 。与很多材料不同,石墨烯的电子迁移率受温度变化的影响较小,50~500 K 的任何温度下,单层石墨烯的电子迁移率都在  $15\ 000\text{ cm}^2/(\text{V}\cdot\text{s})$  左右。另外,石墨烯中电子载体和空穴载流子的半整数量子霍尔效应可以通过电场作用改变化学势而被观察到,而科学家在室温条件下就观察到石墨烯的这种量子霍尔效应。石墨烯中的载流子遵循一种特殊的量子隧道效应,在碰到杂质时不会产生背散射,这是石墨烯具有超强导电性及很高的载流子迁移率的原因。石墨烯中的电子和光子均没有静止质量,它们的速度是和动能无关的常数。石墨烯是一种零距离半导体,因为它的传导和价带在狄拉克点相遇。在狄拉克点的 6 个位置动量空间的边缘布里渊区分为两组等效的三份。相比之下,传统半导体的主要点通常为  $\Gamma$ ,动量为零。



### 3. 微机电技术和生物信息技术将成为下一代半导体的主流技术

微机电系统(micro-electro-mechanical system, MEMS)又称微电子机械系统、微系统、微机械等,是尺寸在几毫米乃至更小的高科技装置。MEMS 技术将微电子技术和精密机械加工技术相互融合,使微电子与机械融为一体。微电子与生物技术紧密结合的以 DNA 芯片等为代表的生物工程芯片是 21 世纪微电子领域的一个热点和新的经济增长点。采用微电子加工技术,在指甲盖大小的硅片上制作含有多达 10 万~20 万种 DNA 基因片段的芯片。这种芯片可以在极短的时间内检测或发现遗传基因的变化,对遗传学研究、疾病诊断、疾病治疗和预防、转基因工程等具有极其重要的作用。

## 四、工匠劳模

党的十九大报告明确提出:“建设知识型、技能型、创新型的劳动者大军,弘扬劳模精神和工匠精神,营造劳动光荣的社会风尚和精益求精的敬业风气。”学校是人才成长的摇篮。在教学过程中,大力弘扬工匠精神不仅是人才成长的需要,也是当前社会主义核心价值观的内涵体现。数字电子技术课程是理工科学生知识储备重要组成部分,基于工匠精神进行课程学习,会大大提高学生的学习质量,也直接关系到社会生产力的发展。

工匠精神,是工人在长期岗位工作中形成的对岗位技能的更高要求,对岗位的热爱、对高质量不断追求的态度。在数字电子技术课程培养过程中。倡导工匠精神也是为《中国制造 2025》战略目标的实现提供一批具有精益求精、追求完美极致、对社会有强烈责任感的工匠。具体到课程本身,基于工匠精神培养的数字电子技术课程内容学习过程中,需对学生提出以下培养要求。

#### 1. 保持良好的学习信念

保持良好的学习信念需要具有良好的道德、正面积积极的学习心态和正确的价值观。良好的学习信念应该是由爱岗、敬业、忠诚、奉献、正面、乐观、用心、开放、合作及始终如一等关键词组成的。它是一个日后学生成为具备“工匠精神”的成功职业人必须具备的核心素养。

#### 2. 掌握扎实的专业知识

“职业知识技能”是做好一个职业应该具备的专业知识和能力。没有过硬的专业知识,没有精湛的职业技能,就无法把一件事情做好。作为学生,日后如果想具备精湛的知识和技能,就需在学生阶段掌握扎实的专业知识。在学习过程中,持续关注行业的发展动态及未来的趋势走向,扎实掌握相关知识并熟练操作手法,练就过硬的专业技术技能,为未来形成良好的职业知识技能做准备。

#### 3. 保持良好的学习、生活习惯

良好的学习习惯是扎实掌握专业知识和技能,培养良好的学习信念的基础。良好的学习习惯具体如下。

- (1)清楚掌握并遵守学校的各种行为规范。
- (2)上课时仔细倾听老师的讲解、实训任务安排、作业等,不懂就问。
- (3)制订合理的学习计划、学习笔记与学习总结。
- (4)主动学习,借助学校的各种资源获取学习机会等。



# 项目一

## 裁判表决器电路的设计与调试

### 项目分析

举重比赛中,运动员的成绩有效与否由裁判判定,裁判共4位,其中主裁判1位,副裁判3位,主裁判有2个票权,每位副裁判有1个票权。当每位裁判认为运动员成绩有效时,投出赞成票。按照多数票有效的原则,当裁判组认为运动员举重成绩有效时,白灯亮;当裁判组认为运动员举重成绩无效时,红灯亮。

裁判表决器电路就是为了解决裁判的表决问题而设计的,裁判同意时,只需按下对应的按钮,运动员的成绩有效与否的结果就直观地显示出来。裁判表决器电路设计流程图如图1-1所示。

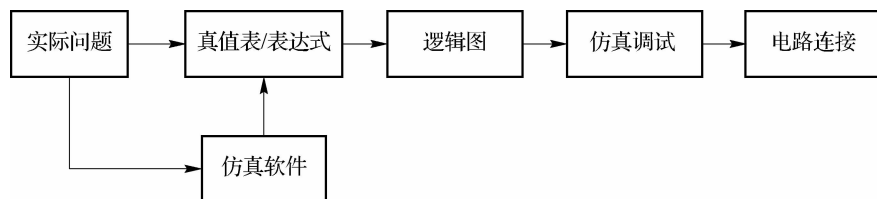


图 1-1 裁判表决器电路设计流程图

本项目需要完成下列内容。

- (1)完成裁判表决器电路的设计。
- (2)画出裁判表决器电路的逻辑图。
- (3)完成裁判表决器电路的仿真调试。
- (4)完成裁判表决器电路的连接。

要完成裁判表决器电路的设计,需要从数字电路的基础入手,相应的知识环节如图1-2所示。

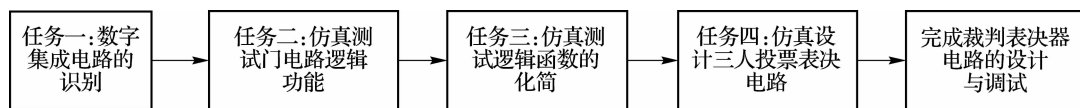


图 1-2 裁判表决器电路设计的知识环节

### 知识目标

- 了解数字集成电路的命名方法;
- 了解逻辑函数的意义,能进行逻辑函数的化简;
- 了解组合逻辑电路的设计流程,能进行简单应用电路的设计。



## 技能目标

掌握数字集成电路的识别；  
掌握仿真测试集成电路逻辑功能的方法，进而掌握实际数字集成电路的测试；  
掌握选用数字集成电路芯片的方法，能按照逻辑电路图搭建实际电路；  
能使用仿真软件进行应用电路的设计。

## 任务一 数字集成电路的识别

### 任务目标

在集成技术迅速发展和广泛应用的今天，由半导体元件组成的分立元件门电路已经很少使用，现在的数字电路一般都由集成电路组成。本任务要求学生完成数字集成电路型号、生产厂商的识别，同时掌握查找数字集成电路芯片参数的方法。



### 知识链接

#### 一、数字电路概述

现代社会中，数字电路有着广泛的应用和高速的发展。数字电子计算机、数字式仪表、数字控制装置和工业逻辑系统等现代电子控制设备都是以数字电路为基础的。数字电路大致包括信号的产生、放大、整形、传送、控制、存储、计数、运算等组成部分。

##### (一) 数字信号与数字电路

###### 1. 概述

电子线路中的信号可分为两类。一类是时间连续的信号，称为模拟信号，如温度、速度、压力、磁场及电场等物理量通过传感器转换成的电信号，模拟语音的音频信号和模拟图像的视频信号等。图 1-3(a)所示为模拟信号的波形。对模拟信号进行传输、处理的电子线路称为模拟电路，如放大器、滤波器及信号发生器等都是由模拟电路组成的。另一类是时间和幅值都是离散的(即不连续的)信号，称为数字信号。图 1-3(b)所示为数字信号的波形。对数字信号进行传输、处理的电子线路称为数字电路，如数字电子钟和数字万用表等都是由数字电路组成的。

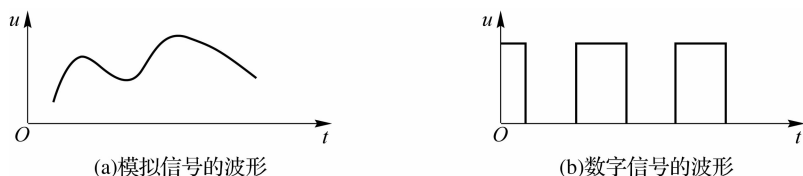


图 1-3 模拟信号和数字信号的波形

###### 2. 脉冲信号和数字信号

###### 1) 脉冲信号

脉冲信号是指在短时间内作用于电路的离散的电流和电压信号。图 1-4(a)所示是理想矩



形脉冲波形,它从一种状态变化到另一种状态不需要时间。而实际矩形脉冲波形与理想波形是不同的,图 1-4(b)所示为尖顶脉冲波形。

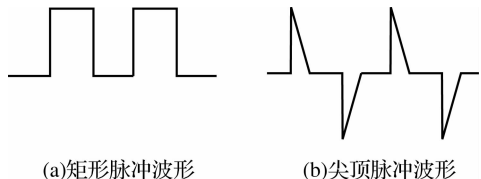


图 1-4 常见的脉冲波形

下面以图 1-5 所示的实际矩形脉冲波形为例来说明描述脉冲信号的各种参数。

(1) 脉冲幅值  $U_m$ 。脉冲幅值  $U_m$  是脉冲信号从一种状态变化到另一种状态的最大变化幅度。

(2) 脉冲前沿  $t_r$ 。脉冲前沿  $t_r$  是脉冲信号由幅值的 10% 上升到幅值的 90% 所需的时间。

(3) 脉冲后沿  $t_f$ 。脉冲后沿  $t_f$  是脉冲信号由幅值的 90% 下降到幅值的 10% 所需的时间。

(4) 脉冲宽度  $t_w$ 。脉冲宽度  $t_w$  是脉冲信号由前沿幅值的 50% 变化到后沿幅值的 50% 所需的时间。

(5) 脉冲周期  $T$ 。脉冲周期  $T$  是周期性变化的脉冲信号完成一次变化所需的时间。

(6) 脉冲频率  $f$ 。脉冲频率  $f$  是单位时间内脉冲信号变化的次数。

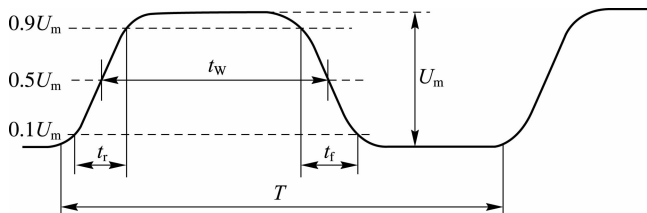
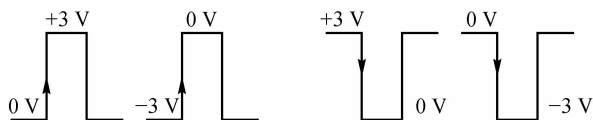


图 1-5 实际矩形脉冲波形

数字电路通常是根据脉冲信号的有无、个数、宽度和频率来进行工作的,所以数字电路抗干扰能力较强(干扰往往只影响脉冲幅度),准确度较高。

### 2) 正、负脉冲信号

脉冲信号可以分为正脉冲信号和负脉冲信号两种。变化后比变化前的电平值高的脉冲信号称为正脉冲信号,其波形如图 1-6(a) 所示;变化后比变化前的电平值低的脉冲信号称为负脉冲信号,其波形如图 1-6(b) 所示。



(a) 正脉冲信号的波形

(b) 负脉冲信号的波形

图 1-6 正、负脉冲信号的波形

### 3) 数字信号

数字信号是指可以用两种逻辑电平 0 和 1 来描述的信号。逻辑电平 0 和 1 不表示具体的数量,而是一种逻辑值。若逻辑电路中的高电平用逻辑 1 表示、低电平用逻辑 0 表示,称之为正逻辑;若高电平用逻辑 0 表示、低电平用逻辑 1 表示,称之为负逻辑。在逻辑电路中习惯采用正逻辑,今后如无特殊说明,本书一律采用正逻辑。理想脉冲信号的前沿和后沿可视为零,因此可以用两个离散的电压值来表示脉冲波形,这时数字波形和脉冲波形是一致的,只不过前者用逻辑电平表示,而后者用电压值表示。

### 3. 数字电路的优点

与模拟电路相比,数字电路具有以下显著的优点。

(1) 结构简单,便于集成化、系列化生产,成本低廉,使用方便。

(2) 抗干扰性强,可靠性高,精度高。



图文  
矩形波的应用  
范围



视频  
脉冲参数



- (3)处理功能强,不仅能实现数值运算,还可以实现逻辑运算和判断。
- (4)可编程数字电路可容易地实现各种算法,具有很大的灵活性。
- (5)数字信号更易于存储、加密、压缩、传输和再现。

## (二)数字电路的特点与分类

### 1. 数字电路的特点

由于数字电路的工作信号是不连续的二值信号,反映在电路上只有电流的有无或电平的高低两种状态,所以数字电路在结构、工作状态、研究内容和分析方法等方面都与模拟电路不同。数字电路具有如下特点。

(1)电子器件(如二极管、三极管)的导通与截止两种状态的外部表现是电流的有无或电平的高低,所以数字电路在稳态时,电子器件处于开关状态,即工作在饱和区和截止区。这种有和无、高和低相对立的两种状态,分别用1和0两个数值来表示。

(2)数字信号中的1和0没有任何数量的含义,只表示两种不同的状态,所以在数字电路的基本单元电路中,对元件的精度要求不高,允许有较大的误差,电路在工作时只要能可靠地区分开1和0两种状态即可。相应地,组成数字电路的单元结构也比较简单,具有便于集成化和系列化生产、工作准确可靠、精度高、成本低廉、使用方便等优点。

(3)在数字电路中,人们关心和研究的主要问题是输出信号的状态(0或1)与输入信号的状态(0或1)之间的逻辑关系,以反映电路的逻辑功能,所以在数字电路中不能采用模拟电路的分析方法,而是以逻辑代数作为主要工具,利用真值表、逻辑表达式、波形图等来表示电路的逻辑功能,所以数字电路又称为逻辑电路。

(4)数字电路不仅具有算术运算能力,还具有逻辑推理和逻辑判断能力,所以人们才能够制造出各种数控装置、智能仪表、数字通信设备及数字电子计算机等现代化的科技产品,使数字电路得到广泛的应用。

### 2. 数字电路的分类

最基本的数字电路由二极管、三极管和电阻等元器件组成,实际应用中已很少见到。现在的数字电路一般由集成电路组成。数字电路的种类繁多,其分类方式也较多,大致可以从以下几个方面对数字电路进行分类。

(1)由于数字电路由集成电路构成,因而可将数字电路按集成电路芯片的集成度分为小规模(SSI,每片数十器件)、中规模(MSI,每片数百器件)、大规模(LSI,每片数千器件)和超大规模(VLSI,每片器件数大于1万)数字集成电路。

(2)按所用器件制作工艺的不同,可将数字电路分为双极型(TTL型)和单极型(CMOS型)两类。双极型电路开关速度快、频率高、信号传输延迟时间短,但制造工艺较复杂。单极型电路输入阻抗高、功耗小、工艺简单、集成密度高,且易于大规模集成。

(3)按电路的结构和工作原理的不同,可将数字电路分为组合逻辑电路和时序逻辑电路两类。组合逻辑电路没有记忆功能,其输出信号只与当时的输入信号有关,而与电路以前的状态无关,如加法器、编码器、译码器、数据选择器等都是典型的组合逻辑电路。时序逻辑电路具有记忆功能,其输出信号不仅和当时的输入信号有关,而且与电路以前的状态有关,如触发器、计数器、寄存器、顺序脉冲发生器等都是典型的时序逻辑电路。组合逻辑电路和时序逻辑电路是各种数字系统和数字设备(如数字电子计算机)的基本组成部件。

## 二、数字集成电路

能实现基本和常用逻辑运算的电子电路称为门电路。由于在二值逻辑



图文  
数字集成电路  
的识别



中,需要用两种截然相反的状态来表示,而电路的状态是靠半导体元件的导通与截止来控制 and 实现的,所以半导体元件称为电子开关。二极管、三极管和场效应管在数字电路中就是构成这种电子开关的基本开关元件。相应地,门电路也称为开关电路。

集成电路从应用的角度又可分为通用型和专用型两大类型。通用型是指已被定型的标准、系列化的产品,适用于各种不同的数字电路。专用型是指为某种特殊用途专门设计、具有特定的复杂而完整功能的产品,只适用于专用的数字电路。典型的专用型数字集成电路如计算机中的存储器芯片(RAM、ROM)、微处理器芯片(CPU)及语音芯片等。

在集成技术迅速发展和广泛应用的今天,由半导体元件组成的分立元件门电路已经很少使用,但不管功能多么强大、结构多么复杂的集成门电路,都是以分立元件门电路为基础,经过改造演变而来的。本书重点介绍集成逻辑电路。

### (一)TTL 与 CMOS 集成电路

在数字电路中,应用最为广泛的是 TTL 集成门电路和 CMOS 集成门电路。TTL 是英文“transistor transistor logic”的缩写,意为“晶体管-晶体管逻辑”。当逻辑门电路的输入级和输出级都采用三极管时,将这种逻辑门电路称为 TTL 逻辑门电路。

CMOS 集成电路的许多最基本的逻辑单元都是用 P 沟道增强型 MOS 管和 N 沟道增强型 MOS 管,按照互补对称形式连接起来构成的,并因此而得名。这种电路具有电压控制、功耗极小、连接方便等一系列优点,是目前应用最广泛的集成电路之一。

常用数字集成电路的分类及特点见表 1-1。

表 1-1 常用数字集成电路的分类及特点

类 别	系 列	应 用	特 点
双极型集成电路(如 TTL)	74 系列	这是早期的产品,现仍在使用,但正逐渐被淘汰	(1)不同系列同型号器件引脚排列完全兼容; (2)参数稳定,使用可靠; (3)噪声容限高达数百毫伏; (4)输入端一般有钳位二极管,减少了反射干扰的影响,输出电阻低,带容性负载能力强; (5)采用+5 V 电源供电
	74H 系列	这是 74 系列的改进型,但电路的静态功耗较大,目前该系列产品使用较少,逐渐被淘汰	
	74S 系列	这是 TTL 的高速型肖特基二极管,速度较高,但品种较少	
	74LS 系列	这是当前 TTL 类型中的主要产品系列,品种和生产厂家都非常多。性价比较高,目前在中小规模电路中应用广泛	
	74ALS 系列	这是先进的低功耗肖特基系列,属于 74LS 系列的后继产品,在速度、功耗(典型值为 1 mW)等方面都有较大的改进,但价格比较高	
	74AS 系列	这是 74S 系列的后继产品,尤其在速度方面有显著的提高,又称为先进超高速肖特基系列	
单极型集成电路(如 CMOS)	标准型 4000B/4500B 系列	该系列产品的特点是工作电源电压范围宽(3~18 V)、功耗低、速度较低、品种多、价格低廉,是目前 CMOS 集成电路的主要应用产品	(1)具有非常低的静态功耗; (2)具有非常高的输入阻抗; (3)宽的电源电压范围。CMOS 集成电路标准 4000B/4500B 系列产品的电源电压为 3~18 V; (4)扇出能力强; (5)逻辑摆幅大,CMOS 电路在空载时,输出高电平 $U_{OH}$ 大于 $U_{DD}-0.05$ V,输出低电平 $U_{OL}$ 不高于 0.05 V
	54/74HC 系列	54/74HC 系列是高速 CMOS 标准逻辑电路系列,具有与 74LS 系列同等的工作速度和 CMOS 集成电路固有的低功耗及电源电压范围宽等特点。74HC* * 是 74LS* * * 同序号的翻版,型号最后几位数字相同,表示电路的逻辑功能、引脚排列完全兼容,为用 74LS 提供了方便	
	54/74AC 系列	该系列又称为先进的 CMOS 集成电路,具有与 74AS 系列同等的工作速度和与 CMOS 集成电路固有的低功耗,以及电源电压范围宽等特点	



## (二)数字集成电路的命名方法

### 1. 国产集成电路的型号命名方法

我国集成电路的型号是按照国家标准(国标)的规定命名的,国标《半导体集成电路型号命名方法》GB 3430—1989 规定了我国集成电路各个品种和系列的命名方法。集成电路国标命名方法见表 1-2。

表 1-2 集成电路国标命名方法

第一部分		第二部分		第三部分		第四部分		第五部分	
用字母表示器件符合国家标准		用字母表示器件的类型		用阿拉伯数字表示器件的系列和品种代号		用字母表示器件的工作温度范围		用字母表示器件的封装类型	
符号	意义	符号	意义	符号	意义	符号	意义	符号	意义
C	中国制造	T	TTL 电路	(TTL 器件)		C	0~70℃	F	多层陶瓷扁平
		H	HTL 电路	54/74***	国际通用系列	G	-20~70℃	B	塑料扁平
		E	ECL 电路	54/74H***	高速系列	L	-25~85℃	H	黑瓷扁平
		C	CMOS 电路	54/74L***	低功耗系列	E	-40~85℃	D	多层陶瓷双列直插
		M	存储器	54/74S***	肖特基系列	R	-55~85℃	J	黑瓷双列直插
		$\mu$	微机电路	54/74LS***	低功耗肖特基系列	M	-55~125℃	P	塑料双列直插
		F	线性放大电路	54/74AS***	先进肖特基系列			S	塑料单列直插
		W	稳压器	54/74ALS***	先进低功耗肖特基系列			T	金属圆壳
		D	音响电视电路	54/74F***	快速系列			K	金属菱形
		B	非线性电路	(CMOS 器件)				C	陶瓷芯片载体(CCC)
		J	接口电路	54/74HC***	高速 CMOS, 输入、输出均为 CMOS 电平			E	塑料芯片载体(PLCC)
		AD	A/D 转换	54/74HCT***	高速 CMOS, 输入为 TTL 电平、输出为 CMOS 电平			G	网格针栅阵列
		DA	D/A 转换	54/74HCU***	高速 CMOS, 不带输出缓冲级			SOIC	小引线封装
		SC	通信专用电路	54/74AC***	改进型高速 CMOS			PCC	塑料芯片载体封装
		SS	敏感电路	54/74ACT***	改进型高速 CMOS, 输入为 TTL 电平、输出为 CMOS 电平			LCC	陶瓷芯片载体封装
		SW	钟表电路						
		SJ	机电仪表电路						
		SF	复印机电路						





## 2. 国外集成电路的型号命名方法

目前电子市场上除国产的集成电路外,还有世界各大半导体器件公司生产的大量产品。集成电路的命名在国际上还没有统一的标准,各制造公司各有自己的一套命名方法,这给识别集成电路带来很大的困难,但各制造公司对集成电路的命名也存在一些规律。下面列出一些常见的集成电路生产公司的命名方法供参考。

(1)National Semiconductor Corp. (国家半导体公司)。

AD:A/D转换器,DA:D/A转换器,CD:CMOS数字电路,LF:线性场效应,LH:线性电路(混合),LM:线性电路(单块),LP:线性低功耗电路。

(2)RCA Corp. (美国无线电公司)。

CA、LM:线性电路,CD:CMOS数字电路,CDM:CMOS大规模电路。

(3)Motorola Semiconductor Products, Inc. (摩托罗拉半导体公司)。

MC:密封集成电路,MMS:存储器电路,MLM:引线与国家半导体公司相同的线性电路。

(4)NEC Electronics, Inc. (日本电气电子公司)。

uP:微型产品。A:组合元件,B:双极型数字电路,C:双极型模拟电路,D:单极型数字电路。例如,uPC、uPA等。

(5)SANYO Electric Co., Ltd. (三洋电机有限公司)。

LA:双极型线性电路,LB:双极型数字电路,LC:CMOS电路,STK:厚膜电路。

(6)Toshiba Corp. (东芝公司)。

TA:双极型线性电路,TC:CMOS电路,TD:双极型数字电路,TM:MOS电路。

(7)Hitachi, Ltd. (日立公司)。

HA:模拟电路,HD:数字电路,HM:RAM电路,HN:ROM电路。

(8)SGS Semiconductor Corp. (SGS半导体公司)。

TA、TB、TC、TD:线性电路,H:高电平逻辑电路,HB、HC:CMOS电路。

表 1-3 列出了国外集成电路型号前缀字母与生产公司对照,供参考。

表 1-3 国外集成电路型号前缀字母与生产公司对照

型号前缀	对应国外生产厂商	互联网网址
HA、HD、HM、HZ	日本日立公司	<a href="http://www.hitachi.com.cn/">http://www.hitachi.com.cn/</a>
ITT、JU	德国 ITT 半导体公司	<a href="http://www.ittcannon.com/">http://www.ittcannon.com/</a>
KA、KM、KS	韩国三星电子公司	<a href="http://www.sec.samsung.com/">http://www.sec.samsung.com/</a>
LA、LB、LC、STK	日本三洋电机有限公司	<a href="http://www.sanyo.com/">http://www.sanyo.com/</a>
HEF、LF	荷兰飞利浦公司	<a href="http://www.semiconductors.philips.com/">http://www.semiconductors.philips.com/</a>
LC	美国通用仪器公司	<a href="http://www.geindustrial.com/">http://www.geindustrial.com/</a>
LM、SH、F、FCM	美国仙童公司	<a href="http://www.fairchildsemi.com/">http://www.fairchildsemi.com/</a>
MC、MMS、MLM	美国摩托罗拉半导体产品公司	<a href="http://www.motorola.com/">http://www.motorola.com/</a>
AC	美国得克萨斯仪器公司	<a href="http://www.ti.com/">http://www.ti.com/</a>
CA、CAW	美国无线电公司	<a href="http://www.rca.com/">http://www.rca.com/</a>
MSM	美国 OKI 半导体公司	<a href="http://www.oki.com/">http://www.oki.com/</a>

需要说明的是,由于集成电路的生产厂家众多,且命名方法各异,即使同一前缀名的集成电路,也有不同的厂家在生产,所以使用者在选择具体集成电路的时候,要查阅相应的集成电路手册,或到相关的网站查询。图 1-7 所示为数字集成电路型号举例。

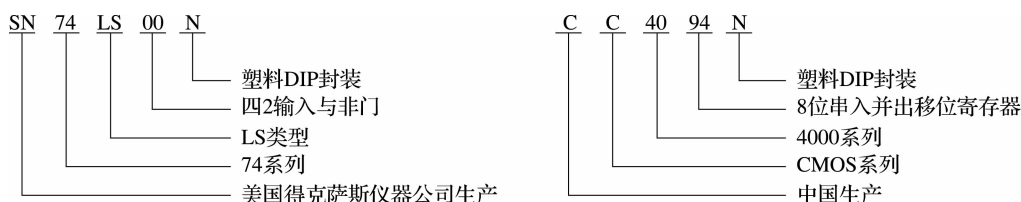


图 1-7 数字集成电路型号举例

### 3. 集成电路的使用常识

#### 1) 常见数字集成电路的封装

集成电路就是采用一定的生产工艺将晶体管、电阻和电容等元器件及连接线路都集中在一个很小的硅片上,这个小硅片称为晶片。将晶片用塑料或陶瓷封起来,并引出外部连接线,其外形大小、形状和外部连接线的引出方式、尺寸标准称为集成电路的封装。为满足不同的应用场合,同一型号的集成电路一般都有不同形式的封装,在使用集成电路前一定要查清集成电路的封装,特别是在设计印制电路板时,初学者往往会发生印制电路板制作完成后,在组装器件时因封装不对而造成印制电路板报废的情况。

随着集成电路安装工艺技术的发展,封装技术也在不断发展。目前集成电路的封装规格不下数百种,图 1-8 所示为数字集成电路常见的几种封装形式。

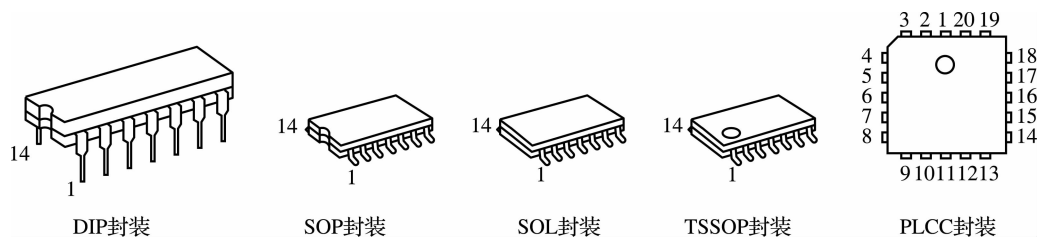


图 1-8 数字集成电路常见的几种封装形式

#### 2) 数字集成电路的引脚

数字集成电路的引脚一般都在十几至几十个,如何识别引脚的编号对正确使用集成电路至关重要。

对于器件两边引脚封装(如 DIP 封装、SOP 封装等)的集成电路器件,顶面的一边有一个缺口,一般在文字的左侧。面对集成电路顶面,缺门朝左;则左下角的第一个引脚为 1 号,从 1 号开始逆时针顺序给引脚编号。

有些两边引脚封装的器件体积较小,封装上并无缺口,甚至第一引脚处的标记也没有,这一类器件就只能以文字方向辨别。

对于四边引脚封装的器件,其四个角有一个角为缺角,用于定位。这类器件在第一引脚处有一个标记,然后沿逆时针方向顺序排列,如图 1-8 所示的 PLCC 封装。

#### 3) 数字集成电路技术参数的获得途径

在使用某一集成电路前需要仔细阅读电路的技术参数,在信息技术发达的当今社会,获得技术参数的途径很多,但主要有两大来源。

(1) 数字集成电路数据手册。目前,市面上各种各样的数字集成电路数据手册十分丰富,既有按某一类数字集成电路收集的综合性手册,也有各生产厂家提供的产品手册等。

(2) 互联网。在互联网上查找集成电路的资料十分方便,具体方法如下。

① 互联网上有许多有关电子技术和集成电路的网站,这些网站一般都提供了集成电路的技

术资料、供货情况甚至参考价格等信息,如 <http://www.epc.com.cn/>、<http://www.2lic.com/>等。

②在集成电路生产厂家的网站上查找。互联网上提供集成电路技术参数资料的网站上,一般都提供国内外集成电路生产厂商的网址,这些网站上会提供该公司产品的详细技术参数资料。

## 知识拓展

### 一、TTL 与非门电路的型号及通用性

TTL 与非门在数字电路中有着广泛的应用。可根据电路的逻辑需要,选用四 2 输入与非门、三 3 输入与非门、双 4 输入与非门、8 输入与非门或相应型号的开路门(OC 门)。其中四 2 输入与非门的含义为,在 1 个集成电路芯片中集成了 4 个一样的与非门电路,每个与非门电路为 2 个输入端和 1 个输出端。其他有关芯片的内容,会在后续章节中结合实际应用陆续介绍。表 1-4 列出了常用 TTL 与非门产品的型号和功能。

表 1-4 常用 TTL 与非门产品的型号和功能

与非门型号	功能(名称)	与非门型号	功能(名称)
7400	四 2 输入与非(门)	7401/7403	四 2 输入与非(OC 门)
7410	三 3 输入与非(门)	7412	三 3 输入与非(OC 门)
7420	双 4 输入与非(门)	7413	双 4 输入与非(门)
7430	8 输入与非(门)	7422	双 4 输入与非(OC 门)
7440	双 4 输入与非(缓冲门)	7426	四 2 输入与非(OC 门)

上述的 11 种与非门(含 OC 门)均采用双列直插(DIP)式 14 脚封装形式,如图 1-9 所示为 CT7400 和 CT7420 两种与非门的引脚排列示意图。

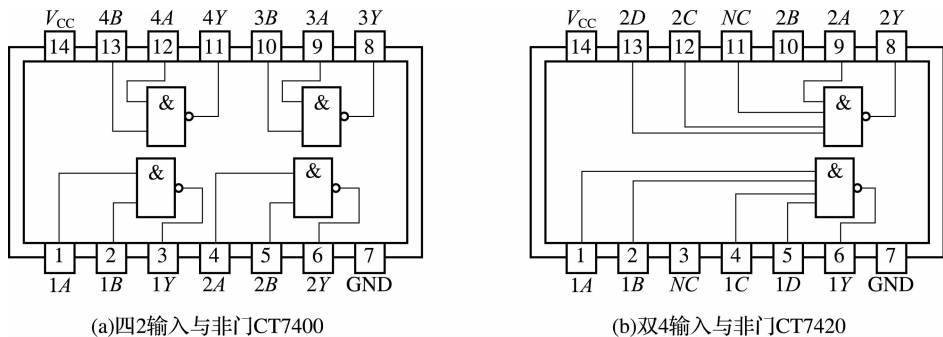


图 1-9 TTL 集成电路的引脚排列

CT7400 是国产通用型产品,它的外形、内部电路结构与国际上通用的相同型号的产品,如美国得克萨斯仪器公司的 SN7400、美国无线电(RCA)公司的 CA7400、日本日立公司的 HD400 等相同,可互相替换。除产品的前缀外,产品型号均冠以 7400,表明它内含 4 个 2 输入与非门,均为双列直插式引脚封装结构。7400 的 GND、 $V_{CC}$  引脚分别为接地端和电源端;引脚 1A 和 1B、2A 和 2B、3A 和 3B、4A 和 4B 分别为 4 个与非门的输入端;引脚 1Y、2Y、3Y 和 4Y 分别为输出端。又如,7410 由 3 个 3 输入与非门构成(一般写为三 3 输入与非门),7420 由 2 个 4 输入与非门构成(双 4 输入与非门)。

在 TTL 门电路中,不管是哪个产品系列,也不管是由哪一个国家或公司生产,通常只要



产品(器件)的品名相同,那么这些器件的功能就相同。但不同的 TTL 子系列,其性能是有差别的。例如,7400 和 74LS00 均为四 2 输入与非门,但它们属于 TTL 门电路的 2 个子系列,前者为通用(或标准)系列 TTL,后者为 LS(低功耗肖特基)系列 TTL,两者性能有区别。

## 二、TTL 集成电路的技术参数

TTL 门电路是基本逻辑单元,是构成各种 TTL 集成电路的基础。实际生产的 TTL 集成电路品种齐全,种类繁多,应用十分普遍。TTL 集成电路产品有多个系列,其常用集成逻辑电路参数见表 1-5。

表 1-5 常用集成逻辑电路参数

系 列	子 系 列	代 号	名 称	处理脉冲信号的周期/ns	工作电压/V	功 耗
TTL 系列	TTL	74	普通 TTL 系列	10	4.75~5.25	10 mW
	HTTL	74H	高速 TTL 系列	6		22 mW
	LTTL	74L	低功耗 TTL 系列	33		1 mW
	STTL	74S	肖特基 TTL 系列	3		19 mW
	ASTTL	74AS	先进肖特基 TTL 系列	3		8 mW
	LSTTL	74LS	低功耗肖特基 TTL 系列	9.5		2 mW
	ALSTTL	74ALS	先进低功耗肖特基 TTL 系列	3.5		1 mW
	FTTL	74F	快速 TTL 系列	3.4	4 mW	
CMOS 系列	CMOS	40/45	互补场效应管系列	125	3~18	1.25 $\mu$ W
	HCMOS	74HC	高速 CMOS 系列	8	2~6	2.5 $\mu$ W
	HCTMOS	74HCT	与 TTL 电平兼容型 HCMOS 系列	8	4.5~5.5	2.5 $\mu$ W
	ACMOS	74AC	先进 CMOS 系列	5.5	2~5.5	2.5 $\mu$ W
	ACTMOS	74ACT	与 TTL 电平兼容型 ACMOS 系列	4.75	4.5~5.5	2.5 $\mu$ W

74LS 系列产品具有最佳的综合性能,是 TTL 集成电路的主流,是应用最广的系列。

TTL 集成电路参数很多,现以 TTL 与非门为例介绍一些反映性能的主要参数。

### 1. 电压传输特性

电压传输特性是指输出电压  $u_o$  随输入电压  $u_i$  变化的特性。如果将 TTL 与非门的某输入端电压由 0 V 逐渐增加到 5 V,其他输入端接 5 V,测量输出端电压,可以得到一条电压变化的曲线,这就是电压传输特性曲线,如图 1-10 所示。

由图 1-10 可见,当输入电压从 0 V 开始逐渐增加时,在一定的  $u_i$  范围内的输出电压  $u_o$  保持高电平基本不变。当  $u_i$  上升到一定数值后,输出电压  $u_o$  很快下降为低电平,此后即使  $u_i$  继续增加,输出电压  $u_o$  也基本保持低电平不变。

### 2. 主要参数

(1) 输出高电平  $U_{OH}$ 。 $U_{OH}$  是指 TTL 与非门的一个或几个输入为低电平时的输出电平。产品规范值  $U_{OH} \geq 2.4$  V,标准高电平  $U_{SH} = 2.4$  V。

(2) 输出低电平  $U_{OL}$ 。 $U_{OL}$  是指 TTL 与非门的输入全为高电平时的输出电平。产品规

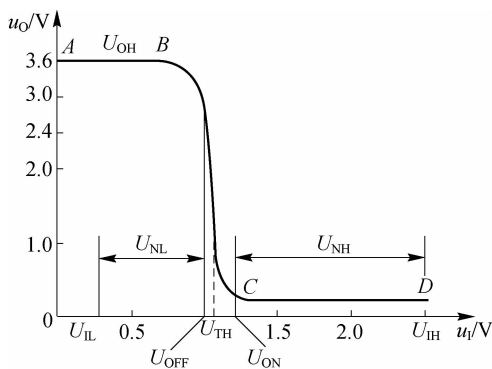


图 1-10 与非门的电压传输特性曲线



范值  $U_{OL} \leq 0.4 \text{ V}$ , 标准低电平  $U_{SL} = 0.4 \text{ V}$ 。

(3) 高电平输出电流  $I_{OH}$ 。 $I_{OH}$  是指输出为高电平时, 提供给外接负载的最大输出电流, 超过此值会使输出高电平下降。 $I_{OH}$  表示电路的拉电流负载能力。

(4) 低电平输出电流  $I_{OL}$ 。 $I_{OL}$  是指输出为低电平时, 外接负载的最大输出电流, 超过此值会使输出低电平上升。 $I_{OL}$  表示电路的灌电流负载能力。

(5) 扇出系数  $N_O$ 。 $N_O$  是指一个门电路能带同类门的最大数目, 它表示门电路的带负载能力。一般 TTL 门电路  $N_O \geq 8$ , 功率驱动门的  $N_O$  可达 25。

(6) 最大工作频率  $f_{max}$ 。 $f_{max}$  是指门电路的最大工作频率, 超过此频率门电路就不能正常工作。

(7) 输入关门电平  $U_{OFF}$ 。 $U_{OFF}$  是指在额定负载下使与非门的输出电平达到标准高电平  $U_{SH}$  的输入电平。它表示使与非门关断所需的最大输入电平。一般 TTL 门电路的  $U_{OFF} \approx 0.8 \text{ V}$ 。

(8) 输入开门电平  $U_{ON}$ 。 $U_{ON}$  是指在额定负载下使与非门的输出电平达到标准低电平  $U_{SL}$  的输入电平。它表示使与非门开通的最小输入电平。一般 TTL 门电路的  $U_{ON} \approx 1.8 \text{ V}$ 。

(9) 高电平输入电流  $I_{IH}$ 。 $I_{IH}$  是指输入为高电平时的输入电流, 也即当前级输出为高电平时, 本级输入电路造成的前级拉电流。

(10) 低电平输入电流  $I_{IL}$ 。 $I_{IL}$  是指输入为低电平时的输出电流, 也即当前级输出为低电平时, 本级输入电路造成的前级灌电流。

(11) 平均传输时间  $t_{pd}$ 。 $t_{pd}$  是指信号通过与非门时所需的平均延迟时间。在工作频率较高的数字电路中, 信号经过多级传输后造成的时间延迟会影响电路的逻辑功能。

从与非门的输入端加上一个脉冲信号  $u_i$  到输出端输出一个脉冲信号  $u_o$ , 其间有一定的时间延迟, 如图 1-11 所示, 它表示了门电路的开关速度。

用平均传输延迟时间  $t_{pd}$  表示 TTL 与非门的传输时间延迟为

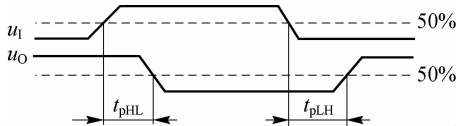


图 1-11 TTL 与非门的传输时间延迟

$$t_{pd} = \frac{t_{pHL} + t_{pLH}}{2}$$

$t_{pd}$  越小, 表示门电路的开关速度越快。

(12) 空载功耗。空载功耗是指与非门空载时的功率损耗, 它等于电源总电流  $I_{CC}$  与电源电压  $U_{CC}$  的乘积。

上述参数指标可以在 TTL 集成电路手册里查到。对于功能复杂的 TTL 集成电路, 在使用时还要参考手册上提供的波形图(或时序图)、真值表(或功能表), 以及引脚信号电平的要求, 这样才能正确使用各类 TTL 集成电路。

### 3. 其他类型的 TTL 门电路

在实际的数字系统中, 为了便于实现各种不同的逻辑函数, 在 TTL 门电路的定型产品中, 除了与非门之外, 还有或非门、与门、或门、与或非门、异或门和反相器等几种常见的类型。它们尽管功能不同, 但输入端和输出端的电路结构均与 TTL 与非门基本相同, 所以前面介绍的各种特性和参数, 对这些门电路同样适用。

同一系列数字集成电路中逻辑功能相同的数字集成电路, 其外部引脚相同, 如 74 系列中四 2 输入与非门有 7400、74LS00(见图 1-12)、74HC00、74ALS00、74HCT00 等类型。尽管它们有着相同的逻辑功能和外形, 但它们的技术参数却不相同, 使用中是否能直接互换需