



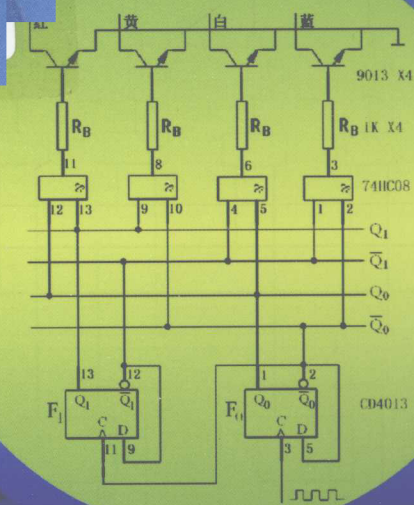
普通高等教育“十一五”电子电气基础课程规划教材

数字电子技术基础

SHUZI DIANZI JISHU JICHU

沈任元 主编

步进电动机



普通高等教育“十一五”电子电气基础课程规划教材

数字电子技术基础

主编 沈任元

参编 王海群 成叶琴 刘桂英

主审 劳五一



机械工业出版社

本书是依据高等学校电气信息类专业数字电子技术基础课程教学的基本要求而编写的理论和实验合一的教材。课程以基础实验和项目任务实验为引领,将知识点融入其中,通过实践来学习基本理论,注重基本理论、基本分析方法的介绍和应用,始终贯彻“教、学、练、思”相结合的原则,鼓励学生积极思考,使学生熟悉器件在数字电子系统中的具体应用,从培养能力的角度出发,使学生能够学以致用,培养学生分析问题和解决问题的能力,创建一种生动的教学模式。本书可作为高等学校理工科电类各专业本科或专科“数字电子技术”及相关课程的教材,也可供有关工程技术人员自学和参考。本教材可满足先开设数字电路的要求。为方便教学,本书配有理论课和习题课件,供教师参考。

图书在版编目(CIP)数据

数字电子技术基础/沈任元主编. —北京:机械工业出版社,2010.7
普通高等教育“十一五”电子电气基础课程规划教材
ISBN 978-7-111-30580-4

I. ①数… II. ①沈… III. ①数字电路-电子技术-高等学校-教材
IV. ①TN79

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第082707号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)
策划编辑:贡克勤 责任编辑:贡克勤
版式设计:霍永明 责任校对:刘怡丹
责任印制:杨 曦
北京蓝海印刷有限公司印刷
2010年7月第1版第1次印刷
184mm×260mm·20.25印张·499千字
标准书号:ISBN 978-7-111-30580-4
定价:36.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

社服务中心:(010)88361066

销售一部:(010)68326294

销售二部:(010)88379649

读者服务部:(010)68993821

网络服务

门户网:<http://www.cmpbook.com>

教材网:<http://www.cmpedu.com>

封面无防伪标均为盗版

写给同学们的话

同学们！现代数字电子技术的发展是令人激动兴奋的，你无论走到哪里，都能看到数字电子的电子设备和装置，数字电子技术使我们能够使用小巧灵便、功能强大的手机、MP5等电子产品。数字电子技术改变着整个工业体系的技术，如DSP技术、SoC设计、EDA技术、嵌入式系统、面向用户的微电子技术等新技术的应用，也指引着未来电子技术的发展方向，电子产品的复杂度也越来越高。数字电子技术脱胎换骨式的变化着，对这一领域的专业基础课程“数字电子技术基础”的教学内容提出了更高的要求。

从有利于培养高级技术人才目标和人才规格出发，以培养学生的综合工作能力为线索，结合我们多年从事数字电子技术课程教学的改革和实践，依据高等学校电气信息类专业数字电子技术基础课程教学的基本要求，编写了这本理论和实验合一的试点教材。我们要与你们一起创建一种教与学相结合、学与用相结合、动手与动脑相结合的教学模式，为应用型本科课程实施方面作一尝试性探索。

本课程采用更紧密的“教、学、做”合一的办法来学习技术理论基础课。在课内外学习基本理论的基础上，充分利用实验来学习技术理论，我们开设的实验项目中不但有掌握基础理论知识的认识实验，还安排了一个以四相步进电动机控制的项目实验（通过一学期逐步完成）。每章实验的内容紧密配合理论课的教学，遵循循序渐进的实践原则，你们可以亲手来试一试。数字电子技术基础课程中“做”的作业不仅有理论分析计算，还包括实验作业，面对实验中提出的问题，正是挑战你们独立思考的机会，只有对问题喜欢刨根问底，以钻研为乐趣，喜欢琢磨的人才可能成为优秀的工程师。理论结合实践来认识的过程常常循着“理论—实践—理论—实践”的路径，在寻求解决问题的过程中，会让每个同学都能及时体会到成功的喜悦，我们评价的重点是你们的学习态度和学习的投入，我们特别鼓励你们的创造性实践。实践是打开电子技术“大门”的钥匙，你们在实践中养成的应用知识能力，做事专注细心、踏实稳健、科学的态度和创新意识都会给以后的学习和工作带来轻松和更大的兴趣。尽管数字电子技术还有更多内容要进一步介绍，但由于教学计划的课时有限，本教材只能帮助你们学习最重要的数字电子的基本原理，希望同学们在学习过程中能参阅更多的图书和资料，要努力去思考、理解、实践、积累，才能真正学会。

在人类科技发展历史中涌现了很多名人，他们是时代的创新先锋，在他们的工作领域中通过长期不懈的努力和奋斗，也都曾遭受无数次的挫败，他们以坚韧和勤奋的行动去实现自己奋斗的目标，所取得的科技成就和为人类服务的精神永远影响和激励着我们。衷心希望这些中外小故事能对成长中的大学生有所启迪。

对教材中存在的一些不妥和错误，欢迎广大学生多提宝贵意见，请把你们的意见和建议告诉我们。E-mail: renyuan@ciyiz.net

诚邀同学们上座享用为你们制作的“数字”大餐，期待着与你们的携手合作！

编者

各章实验汇总

- 实验 1 数字电路的认识实验 (验证性)
 - 实验 2 逻辑门电路的功能测试 (验证性)
 - 实验 3 四相步进电动机转动 (验证性)
 - 实验 4 门电路的逻辑变换 (设计性)
 - 实验 5 组合逻辑电路的设计 (设计性)
 - 实验 6 步进电动机正反转控制 (设计性)
 - 实验 7 步进电动机转动数字显示 (设计性)
 - 实验 8 触发器逻辑功能的测试 (验证性)
 - 实验 9 寄存器及其应用 (验证性)
 - 实验 10 步进电动机驱动控制 (设计性)
 - 实验 11 步进电动机置数控制 (设计性)
 - 实验 12 555 定时器的应用 (验证性)
 - 实验 13 步进电动机转速和定时控制 (设计性)
 - 实验 14 步进电动机的点动、光照、声音等控制 (综合设计性)
 - 课外实验: 集成逻辑门电路参数测试
 - 课外实验: 集成逻辑门电路的应用
 - 课外实验: 集成组合逻辑电路 (一)
 - 课外实验: 集成组合逻辑电路 (二)
 - 课外实验: 数字动态显示控制
 - 课外实验: 计数器功能
 - 课外实验: 计数器及其应用
 - 课外实验: 多谐振荡器的应用
 - 课外实验: 随机存取存储器及其应用
 - 课外实验: D/A、A/D 转换器
- 合计 24 个: 验证实验 6 个、设计实验 8 个、课外实验 10 个。

前 言

为了适应本科人才培养的要求和电子科学技术的发展,我们从“数字电子技术基础”课程的教学要求和总结教学实践的基础上来编写这本理论和实验合一的教材,采用更紧密的“教、学、做”教学理念,在传统的传递知识型学科教学的基础上,通过“教、学、做”使学生能学会学习,把被动接受学习转向主动探究性的学习,使掌握的专业基础知识有一定广度和深度,对学生将来的学习和工作更具有意义和富有实际价值。

教材的主要特色:

(1) 本课程教学依据是高等学校电气信息类专业数字电子技术基础课程教学的基本要求。尊重教学规律和学生认识规律,保证(不强调)知识的系统性、逻辑性和完整性,更关注学生的学习兴趣,如何来更好地掌握数字电子技术的基本知识、基本理论以及分析和设计数字电路的一般方法。就目前来说,我们认为学习传统数字电子的理论技术对于深入理解现代数字电子技术是必需的。

(2) 理论教学与实践应用并重。课程教学通过基础实验和项目任务实验的引领,将理论知识点融入实验中,教材中安排了24个实验,其中验证性实验6个,设计性实验8个,课外实验10个。设法改变原来的课程实施过于强调接受学习、死记硬背的现状,鼓励学生主动参与和充分交流,乐于探究,勤于动手,培养学生更新知识的能力,在实践中教会学生发现问题、分析和解决问题的能力,使学生能够学以致用,形成积极主动的学习态度,以符合应用型本科人才培养的要求。

(3) 通过理论教学与实践应用并重的教学,使学生能更好地完成从高中阶段向大学阶段学习上和心理上的适应过程,并能更好地发挥通过课程评价促进学生发展、教师提高和改进教学实践的功能。

(4) 教材从分析TTL门电路着手,来理解介绍的逻辑器件的技术参数,逻辑集成器件的应用以CMOS为主。教材配备了各章的应用电路介绍和各种类型的例题、习题,并在书后给出了双号习题的答案,有利于读者自我学习检查。为了理论教学、实验、课程设计等需要,还编写了《常用电子元器件简明手册》,手册中选编了各种用于模拟电路和数字电路的典型元器件的参数。

本理论与实验合一教材的理论教学参考学时数为32~48,实验参考学时数为14~30,有关章节内容可根据各校专业要求及学时情况酌情调整。本教材可满足先开设数字电路,后开设模拟电路的课程设置要求。本书可作为高等学校理工科电类各专业本科或专科“数字电子技术”及相关课程的教材,也可供有关工程技术人员自学和参考。

参加本书编写的编者有王海群(第1、7、8章)、成叶琴(第2、3章)、刘桂英(第4、5、6章)、沈任元(第9章、附录、各章实验等)。全书由沈任元统稿,华东师范大学劳五一教授担任主审,他认真审阅了全书,并提出了宝贵的修改意见。本书编写

过程中得到了上海电机学院领导、教师、学生的关怀和支持，在此一并表示深深的谢意。

对教材中存在的一些不妥和错误，敬请读者批评指正，请把你们的意见和建议告诉我们。E-mail: renyuan@ciyiz.net

编 者

目 录

前言		本章小结	37
写给同学们的话		名人名事	39
各章实验汇总		思考题与习题	40
第1章 数字电路和逻辑门电路	1	本章实验	46
1.1 概述	1	第2章 逻辑代数基础	53
1.2 数字信号与模拟信号	1	2.1 数制与编码	53
1.3 数字电路的逻辑状态和正负逻辑	2	2.1.1 几种常用的数制	53
1.3.1 逻辑状态和正负逻辑的规定	2	2.1.2 不同进制数之间的相互转换	54
1.3.2 标准高低电平的规定	2	2.1.3 编码	56
1.4 基本逻辑关系及其逻辑运算	3	2.2 逻辑代数基础	61
1.4.1 与逻辑和与运算	3	2.2.1 基本概念	61
1.4.2 或逻辑和或运算	3	2.2.2 基本逻辑运算	61
1.4.3 非逻辑和非运算	4	2.3 逻辑函数常用的描述方法及相互间的转换	62
1.5 半导体分立门电路	5	2.3.1 逻辑函数及其表示方法	62
1.5.1 半导体基本知识	5	2.3.2 真值表、卡诺图和函数式的对应关系	64
1.5.2 半导体二极管及其门电路	5	2.3.3 用逻辑图描述逻辑函数	65
1.5.3 二极管门电路	5	2.3.4 用波形图描述逻辑函数	65
1.5.4 晶体管及其门电路	8	2.3.5 逻辑函数相等的概念	66
1.6 TTL 集成门电路	12	2.4 逻辑函数的化简	66
1.6.1 TTL 门电路系列	12	2.4.1 逻辑代数中的基本公式和定律	66
1.6.2 TTL 与非门电路	12	2.4.2 逻辑函数的化简与变换	68
1.6.3 TTL 门电路的外部特性	14	2.4.3 代数法化简	70
1.6.4 TTL 门电路的主要参数	18	2.4.4 卡诺图法化简	71
1.6.5 TTL 其他类型的门电路	21	2.5 具有无关项逻辑函数的化简	74
1.7 CMOS 门电路	25	2.5.1 任意项、约束项和逻辑函数中的无关项	74
1.7.1 MOS 管的开关特性	26	2.5.2 具有无关项的逻辑函数的化简	75
1.7.2 CMOS 门电路概述	27	2.6 用 Multisim 进行逻辑电路仿真和变换	76
1.7.3 CMOS 门电路系列	30	2.7 应用电路介绍	79
1.7.4 CMOS 器件使用时应注意的问题	30	本章小结	80
1.8 集成门电路的接口电路	31	名人名事	82
1.8.1 TTL 电路驱动 CMOS 电路	32	思考题与习题	83
1.8.2 CMOS 电路驱动 TTL 电路	32	本章实验	86
1.9 数字电路故障的检测和排除	33	第3章 组合逻辑电路	91
1.9.1 产生故障的主要原因	33	3.1 组合逻辑电路概述	91
1.9.2 常见的故障类型	34		
1.9.3 查找故障的常用方法	35		
1.10 应用电路介绍	36		

3.2 组合逻辑电路的分析	91	5.1.2 时序逻辑电路的分类	153
3.2.1 基本分析方法	91	5.1.3 时序逻辑电路的逻辑功能的表示方法	153
3.2.2 分析举例	92	5.2 时序逻辑电路的分析	153
3.3 组合逻辑电路的设计	93	5.3 常用集成时序逻辑器件	156
3.3.1 基本设计方法	93	5.3.1 寄存器	156
3.3.2 设计举例	93	5.3.2 计数器	160
3.4 常用的组合电路	96	5.4 应用电路介绍	179
3.4.1 编码器	97	本章小结	181
3.4.2 译码器	100	名人名事	183
3.4.3 数据选择器	106	思考题与习题	184
3.4.4 数据分配器	109	本章实验	190
3.4.5 数值比较器	109	第6章 脉冲波形的产生与整形	197
3.4.6 加法器	112	6.1 预备知识	197
3.5 组合逻辑电路中的竞争和冒险	115	6.1.1 脉冲概念	197
3.5.1 竞争冒险现象产生及其产生的原因	115	6.1.2 微分电路和积分电路	198
3.5.2 冒险现象的判断	116	6.1.3 阈值电压	200
3.5.3 消除冒险现象的方法	116	6.1.4 利用反相器对微积分脉冲进行整形处理	200
3.6 应用电路介绍	117	6.2 555 定时器	201
本章小结	119	6.2.1 555 定时器的电路组成	201
名人名事	121	6.2.2 555 定时器的功能及工作原理	202
思考题与习题	122	6.3 555 定时器构成脉冲波形的产生与整形电路	202
本章实验	126	6.3.1 施密特触发器	202
第4章 触发器	133	6.3.2 单稳态触发器	204
4.1 触发器的基本电路	133	6.3.3 多谐振荡器	205
4.1.1 基本 RS 触发器	133	6.4 门电路构成脉冲波形的产生与整形电路	207
4.1.2 钟控 RS 触发器	135	6.4.1 用门电路组成的单稳态触发器	207
4.2 边沿触发器	137	6.4.2 用门电路组成的施密特触发器	211
4.2.1 边沿 D 触发器	138	6.4.3 用门电路组成的多谐振荡器	212
4.2.2 边沿 JK 触发器	139	6.5 集成触发器构成脉冲波形的产生与整形电路	215
4.3 触发器功能的转换	140	6.5.1 集成单稳态触发器	215
4.3.1 D 触发器转换为 JK、T 和 T' 触发器	140	6.5.2 集成施密特触发器	217
4.3.2 JK 触发器转换为 D、T 和 T' 触发器	141	6.6 应用电路介绍	220
4.4 应用电路介绍	142	本章小结	222
本章小结	144	名人名事	223
名人名事	146	思考题与习题	224
思考题与习题	147	本章实验	231
本章实验	150	第7章 半导体存储器与可编程逻辑器件	234
第5章 时序逻辑电路	152		
5.1 时序逻辑电路的基本概念	152		
5.1.1 时序逻辑电路的结构及特点	152		

7.1 半导体存储器概述	234	原理	262
7.1.1 半导体存储器的分类	234	8.2.2 A/D 转换器的组成和工作原理	264
7.1.2 半导体存储器的技术指标	234	8.2.3 A/D 转换器的主要参数	267
7.2 只读存储器和随机存储器	235	8.2.4 集成 A/D 转换器 ADC0809	267
7.2.1 只读存储器	235	8.3 应用电路介绍	269
7.2.2 随机存取存储器	238	本章小结	272
7.2.3 存储器的扩展	240	名人名事	273
7.3 可编程逻辑器件	241	思考题与习题	274
7.3.1 PLD 概述	241	本章实验	277
7.3.2 可编程逻辑阵列	243	第 9 章 数字系统的综合分析	282
7.3.3 通用阵列逻辑	245	9.1 数字系统的概念	282
7.3.4 复杂可编程逻辑器件	247	9.2 数字系统的分析方法	283
7.3.5 现场可编程逻辑阵列	248	9.3 数字系统的实例分析	283
7.4 应用电路介绍	249	本章小结	286
本章小结	250	名人名事	287
名人名事	251	思考题与习题	288
思考题与习题	252	本章实验	291
本章实验	254	附录	292
第 8 章 数/模和模/数转换	255	附录 A 电子电路实验箱简介	292
8.1 D/A 转换器	255	附录 B 步进电动机工作原理简介	295
8.1.1 D/A 转换器的基本原理	255	附录 C 部分基本逻辑单元图形符号对照	296
8.1.2 D/A 转换器的主要参数	257	部分习题答案	298
8.1.3 集成 D/A 转换器	258	参考文献	313
8.2 A/D 转换器	262		
8.2.1 A/D 转换的基本结构和工作			

第 1 章 数字电路和逻辑门电路

1.1 概述

数字电路中，逻辑门电路就是指实现基本逻辑关系的电路，最基本逻辑关系为与、或、非，最基本的逻辑门电路是与门、或门和非门。逻辑门电路分为分立元件门电路（discrete circuit）和集成门电路（integrated circuit）两大类。集成电路按照单片硅片集成门电路的数量，可分为小规模集成电路（Small Scale Integration, SSI）、中规模（Medium Scale Integration, MSI）、大规模（Large Scale Integration, LSI）、超大规模集成电路（Very Large Scale Integration, VLSI）。

根据集成电路的制造工艺来分类，数字集成电路可以分为双极型集成电路和单极型集成电路。双极型集成电路中的基本开关元件为晶体三极管。在晶体三极管中，多子和少子两种载流子同时参与导电，所以也称为双极型器件。双极型集成电路又可以分为 TTL（Transistor - Transistor Logic，晶体管—晶体管逻辑）、ECL（Emitter Coupled Logic，发射极耦合逻辑）、HTL（High Threshold Logic，高阈值逻辑）电路等类型。单极型集成电路中的基本开关元件为 MOS（Metal Oxide Semiconductor，金属氧化物半导体）场效应晶体管。在场效应晶体管中，只有一种载流子（自由电子或空穴）参与导电，所以也称为单极型器件。单极型集成电路又可以分为 PMOS、NMOS 和 CMOS 等类型。双极型集成电路的特点是速度快、负载能力强，但功耗较大、结构较复杂，因而集成度较低；单极型集成电路的特点是结构简单、集成度高、功耗低，但速度比一般双极型集成电路稍慢。但随着 CMOS 制造工艺的不断发展，CMOS 集成电路的工作速度和驱动能力有了明显的提高，因此 CMOS 集成电路也越来越被广泛地应用。在本章中将着重介绍 TTL 集成电路和 CMOS 集成电路。

1.2 数字信号与模拟信号

在电子应用中，可测量的量分为两大类：一类是模拟量；另一类是数字量。所谓模拟量是指在时间和数值上都是连续变化的物理量。表示模拟量的信号称为模拟信号（Analog Signals），例如模拟语言的音频信号（可以通过送话器把声音信号转换成相应的电信号），模拟温度变化的（如从热电偶上得到的）电压信号等都属于模拟信号，如图 1-1 中所示的信号就是一个模拟信号。我们把处理模拟信号电子电路称为模拟电路，如各

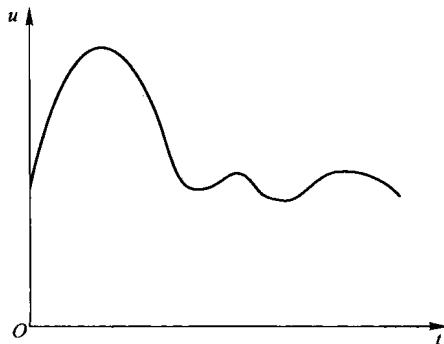


图 1-1 模拟信号

类放大电路、稳压电路等。所谓数字量是指其变化在时间和数值上都是离散的或者说是断续的物理量。表示数字量的信号成为数字信号 (Digital Signals), 如图 1-2 所示。我们把处理数字信号电子电路称为数字电路, 如在本书后面章节中介绍的门电路、编码器、译码器和计数器等。

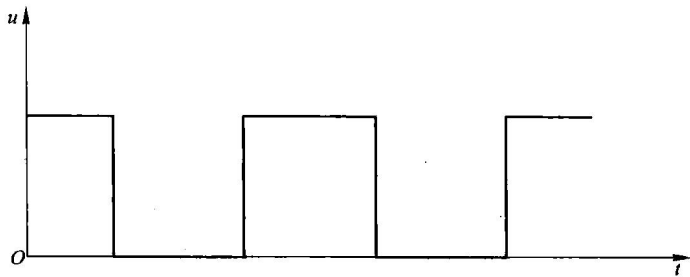


图 1-2 数字信号

1.3 数字电路的逻辑状态和正负逻辑

1.3.1 逻辑状态和正负逻辑的规定

在数字电路中, 电位的高低或电路的“通”、“断”是相互对立的逻辑状态, 可用逻辑 1 和逻辑 0 分别表示。通常有两种不同的表示方法:

通常规定高电平表示逻辑 1, 低电平表示逻辑 0, 称为正逻辑 (Positive Logic)。

如果规定低电平表示逻辑 1, 高电平表示逻辑 0, 称为负逻辑 (Negative Logic)。

对于同一个逻辑电路, 可以采用正逻辑也可以采用负逻辑, 但应事先规定。因为即使同一种电路, 由于选择的正、负逻辑不同, 功能也会不相同。在本书中的各个章节中, 均采用正逻辑。

1.3.2 标准高低电平的规定

由于电路所处环境温度的变化、电源电压的波动、负载的大小以及电路中元器件参数的分散性和干扰等因素的影响, 实际的高低电平都不是一个固定的值。通常高低电平都有一个允许变化的范围, 只要能够明确区分开这两种对应的状态就可以了。因此, 在数字电路中, 对电源电压的稳定度和元器件参数精度的要求比在模拟电路中低。但在实际应用中, 若高电平太低, 或低电平太高, 都会使逻辑 1 或逻辑 0 这两种逻辑状态区分不清, 从而破坏了原来确定的逻辑关系。因此, 规定了高电平的下限值, 并称它为标准高电平, 用 U_{SH} 表示, 同样也规定了低电平的上限值, 称为标准低电平, 用 U_{SL} 表示。在实际的逻辑系统中, 应满足高电平 $U_H \geq U_{SH}$, 低电平 $U_L \leq U_{SL}$ 。图 1-3 为高低电平的允许范围示意图。

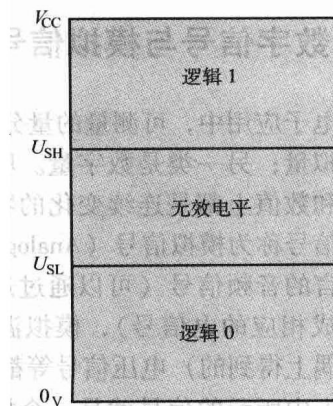


图 1-3 高低电平的允许范围

1.4 基本逻辑关系及其逻辑运算

在数字电路中，具有三种基本的逻辑关系：“与”、“或”、“非”。实现这三种逻辑关系的电路分别叫做“与门 (AND gate)”、“或门 (OR gate)”、“非门 (NOT gate)”。相对应的还具有三种基本的逻辑运算，即“与”运算、“或”运算、“非”运算。其他逻辑运算就是通过这三种基本运算来实现的。

1.4.1 与逻辑和与运算

只有当决定某一种结果的所有条件都具备时，这个结果才能发生，我们把这种因果关系称为与逻辑关系，简称与逻辑。

在图 1-4 所示电路中，只有开关 A 与开关 B 都闭合时，灯 Y 才能亮，只要有一个开关断开，灯就灭。因此灯亮和开关 A 、 B 的接通是与逻辑关系。

通常，我们把结果发生或条件具备用逻辑 1 表示，结果不发生或条件不具备用逻辑 0 表示。在此电路中，灯亮用 1 表示，灯灭用 0 表示，开关接通用逻辑 1 表示，断开用逻辑 0 表示。可得表示 Y 与 A 、 B 逻辑关系的图表，这种用 0、1 表示输入逻辑变量的各种可能的取值和相应的函数值排列在一起而组成的图表称为真值表 (Truth Table)，如表 1-1 所示。

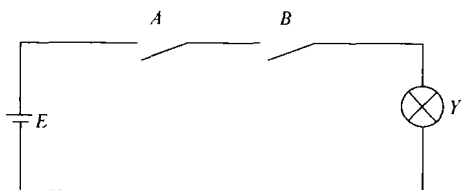


图 1-4 与逻辑关系

表 1-1 表示与逻辑运算的真值表

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

该逻辑关系可以记作：

$$Y = A \cdot B \quad (1.1)$$

或 $Y = AB$ (其中“ \cdot ”可以省略)

利用上述运算符号，得到下列与逻辑运算：

$$0 \cdot 0 = 0$$

$$0 \cdot 1 = 0$$

$$1 \cdot 0 = 0$$

$$1 \cdot 1 = 1$$

实现与逻辑关系的电路称为与门。图 1-5 所示为与逻辑符号，也是与门的逻辑符号。

图中， A 、 B 叫输入逻辑变量， Y 叫做输出逻辑变量，“与”逻辑是当所有输入均为“1”状态时，输出才为“1”状态。

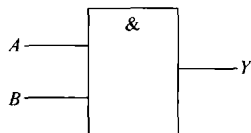


图 1-5 与逻辑符号

1.4.2 或逻辑和或运算

当决定某一结果的多个条件中，只要有一个或一个以上的条件具备，结果就发生，这种逻辑关系就称为或逻辑关系，简称或逻辑。

图 1-6 所示电路中, 开关 A 和 B 只要有一个接通, 灯 Y 就亮。因此灯 Y 亮和开关 A 、 B 接通是或逻辑关系。

同样, 灯亮、开关接通, 我们用逻辑 1 表示, 灯灭、开关断开, 我们用逻辑 0 表示。可得表示 Y 与 A 、 B 逻辑关系真值表, 如表 1-2 所示。

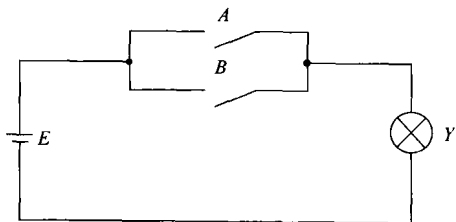


图 1-6 或逻辑关系

该逻辑关系可以记作:

$$Y = A + B \quad (1.2)$$

并可得到运算的运算规则:

$$0 + 0 = 0$$

$$0 + 1 = 1$$

$$1 + 0 = 1$$

$$1 + 1 = 1$$

实现与或逻辑关系的电路称为或门。图 1-7 所示为或逻辑的符号, 也是或门的逻辑符号。

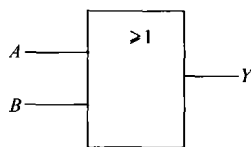


图 1-7 或逻辑符号

1.4.3 非逻辑和非运算

如果条件与结果的状态总是相反, 则这样的逻辑关系叫做非逻辑关系, 简称非逻辑, 或者称逻辑非。

图 1-8 电路中, 开关 A 接通时灯 Y 不亮, 而开关 A 断开时反而灯 HL 亮。因此 Y 灯亮和开关接通是或非逻辑关系。

同样, 可得表示 Y 与 A 逻辑关系真值表, 如表 1-3 所示。

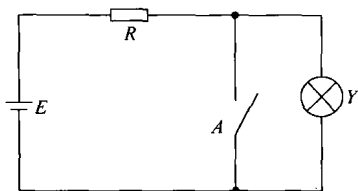


图 1-8 非逻辑关系

该逻辑关系可以记作:

$$Y = \bar{A} \quad (1.3)$$

利用上述运算符号, 得到下列与逻辑运算:

$$\bar{0} = 1$$

$$\bar{1} = 0$$

表 1-3 表示非逻辑运算的真值表

A	Y
0	1
1	0

实现非逻辑关系的电路称为非门（也称为反相器），其符号和非逻辑的逻辑符号相同，如图 1-9 所示。

1.5 半导体分立门电路

在数字电路中，最基本的逻辑门电路是与门、或门和非门。逻辑门电路可以用电阻、电容、二极管和晶体三极管等若干分立元件构成，称为分立门电路。

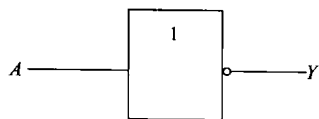


图 1-9 非逻辑符号

1.5.1 半导体基本知识

自然界的物质若按导电能力划分，可分为导体、半导体和绝缘体三种。半导体的导电能力介于导体和绝缘体之间，电阻率通常为 $10^{-3} \sim 10^{-9} \Omega \cdot \text{cm}$ 。常用的半导体有硅、锗、硒、砷化镓以及大多数金属氧化物和硫化物等。

半导体可以分为本征半导体和杂质半导体。纯净的单晶半导体称为本征半导体（intrinsic semiconductor）。本征半导体中的载流子（自由电子空穴对）在常温下数量少、导电能力差。在本征半导体中掺入微量合适的元素后形成的半导体称为杂质半导体。根据掺入杂质的不同可分为：P 型半导体和 N 型半导体两种。在本征半导体中掺入五价杂质原子，例如掺入磷原子，可形成 N 型半导体（N-type semiconductor）。在本征半导体中掺入三价杂质原子，如硼等形成了 P 型半导体（P-type semiconductor）。

在同一块本征半导体晶片上，采用特殊的掺杂工艺，在两侧分别掺入三价元素和五价元素，一侧形成 P 型半导体，另一侧形成 N 型半导体，则在这两种半导体交界面的两侧分别留下了不能移动的正负离子，形成一个具有特殊导电性能的空间电荷区，称为 PN 结。

当电源的正极接在 PN 结的 P 端，电源的负极接在 PN 结的 N 端，即在 PN 结上加正向电压时（正偏），PN 结电阻很低，正向电流（forward current）较大，PN 结处于导通状态（turn-on state）；加反向电压时（反偏），PN 结电阻很高，反向电流很小，PN 结处于截止状态（cut-off state）。PN 结的重要特性是具有单向导电性（unilateral conductivity）。

1.5.2 半导体二极管及其门电路

将 PN 结加上相应的电极引线和管壳，就成为半导体二极管。根据半导体二极管材料的不同，可分为硅二极管和锗二极管。图 1-10 是二极管的表示符号。

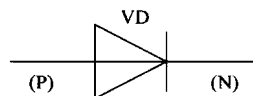


图 1-10 半导体二极管表示符号

1.5.3 二极管门电路

1. 二极管的开关特性

二极管的主要特性是单向导电性，其伏安特性如图 1-11 所示。

当二极管的正向电压很小时，几乎没有电流通过二极管。正向电压超过某数值后，才有正向电流流过二极管，这一电压值称为死区电压。硅管的死区电压一般为 0.5V，锗管则约为 0.1V。二极管的正向电压大于死区电压后，有较大的正向电流通过二极管，称为二极管

导通。正向电流随着电压的增加而迅速增大，当二极管充分导通后，其管压降随电流的增加变化很小，基本为一定值，普通硅管导通电压约为 0.7V ，锗管约为 0.3V 。当二极管加反向电压时，二极管截止，反向电流 I_S 很小而且基本不变，呈现很高的反向电阻。硅二极管的 I_S 在 $1\mu\text{A}$ 以下，反向电阻在 $10\text{M}\Omega$ 以上，锗二极管 I_S 在几十到上百微安，反向电阻为几百千欧到几兆欧，因此，二极管截止时，如同一个断开的开关。可见，二极管在电路中可以作为受外加电压极性控制的开关。

图 1-12a 给出了一个二极管开关电路，图 1-12b 为二极管导通状态下的等效电路，图 1-12c 为二极管截止状态下的等效电路。

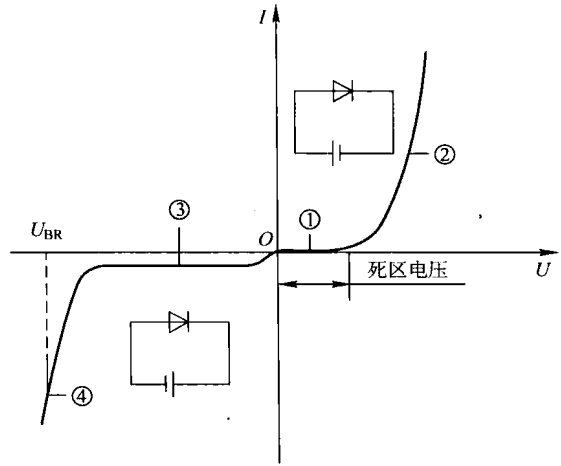


图 1-11 二极管的伏安特性

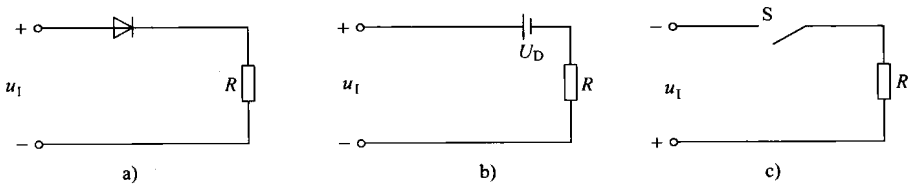


图 1-12 二极管开关电路

a) 二极管开关电路 b) 正向电压时的等效电路 c) 反向电压时的等效电路

2. 二极管与门电路

图 1-13a 所示是二极管与门电路，图 1-13b 是与门电路的逻辑符号。A、B 是它的两个输入端，Y 是输出端。

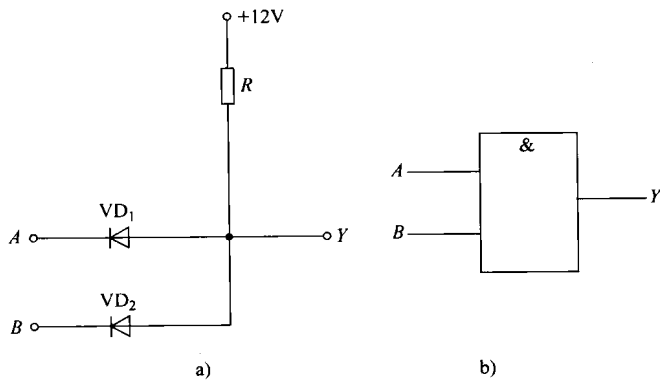


图 1-13 二极管“与”门及其逻辑符号

a) 二极管与门电路 b) 与门逻辑符号

设 $V_{CC} = 12V$ ，输入端 A 、 B 的低电平 $U_{IL} = 0V$ ，高电平 $U_{IH} = 5V$ ，二极管导通压降为 $0.7V$ 。

当 $U_A = 0V$ 、 $U_B = 0V$ 时，二极管 VD_1 、 VD_2 均导通，输出电压 $U_Y = 0.7V$ 。

当 $U_A = 0V$ 、 $U_B = 5V$ 时，二极管 VD_1 优先导通，输出电压被钳位在 $0.7V$ ，二极管 VD_2 反偏截止，输出电压 $U_Y = 0.7V$ 。

同理，当 $U_A = 5V$ 、 $U_B = 0V$ 时，二极管 VD_2 优先导通，二极管 VD_1 反偏截止，输出电压 $U_Y = 0.7V$ 。

当 $U_A = 5V$ 、 $U_B = 5V$ 时，二极管 VD_1 、 VD_2 均导通， $U_Y = 5.7V$ 。

我们设 $4V$ 以上为高电平，用逻辑 1 表示； $1V$ 以下为低电平，用逻辑 0 表示，则可得与门电平关系表和与门真值表，如表 1-4 和表 1-5 所示。

表 1-4 与门电平关系表

U_A/V	U_B/V	U_Y/V
0	0	0.7
0	5	0.7
5	0	0.7
5	5	5.7

表 1-5 与门真值表

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

由表 1-5 可知，只有当输入端 A 和 B 全为 1 时，输出 Y 才为 1 ，即 Y 等于 A 与 B 的与逻辑，表示为 $Y = A \cdot B$ 。

3. 二极管或门电路

如图 1-14 所示，分别为二极管或门电路和所对应的逻辑符号。

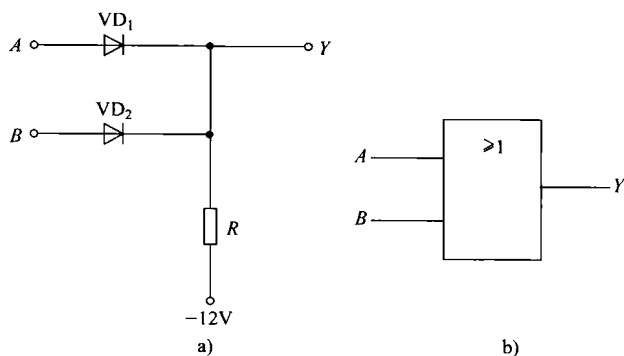


图 1-14 二极管或门及其逻辑符号

a) 二极管或门电路 b) 或门逻辑符号

当 $U_A = 0V$ 、 $U_B = 0V$ 时，二极管 VD_1 、 VD_2 均导通，输出电压被钳位在 $-0.7V$ 上， $U_Y = -0.7V$ 。

当 $U_A = 0V$ 、 $U_B = 5V$ 时，二极管 VD_2 导通， VD_1 截止，输出电压被钳位在 $4.3V$ 上， $U_Y = 4.3V$ 。

当 $U_A = 5V$ 、 $U_B = 0V$ 时，二极管 VD_1 导通， VD_2 截止， $U_Y = 4.3V$ 。

当 $U_A = 5V$ 、 $U_B = 5V$ 时，二极管 VD_1 、 VD_2 均导通， $U_Y = 4.3V$ 。