



► 含视频讲解光盘VCD

► 网站免费答疑

► 图片+表格清晰阐述



电子技能实践课堂系列丛书 ③

数字电路

知识与实践课堂

◎ 蔡杏山 主编



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

电子技能实践课堂系列丛书③

本书可作为高等院校、科研机构、工程技术人员、管理人员、大专生、中专生、技校生、函授生、夜大生、自考生的教材或参考书。

数字电路

数字电路

知识与实践课堂

内容完全对长篇小说本数过短陆夏方式回升起翻不，以书至未

電子工業出版社

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 · BEIJING

内 容 简 介

本书是一本介绍数字电路的图书，主要内容有门电路、数制、编码与逻辑代数、组合逻辑电路、时序逻辑电路、脉冲电路、D/A 转换器和 A/D 转换器，以及半导体存储器等。

为了让读者能轻松快速掌握数字电路知识并提高动手实践能力，书中除了对各种数字电路知识进行详细分析外，还在重要的章节后面安排了与该章节电路有关的电子小制作。为了方便读者动手实践，本书在配套 VCD 光盘中以视频形式讲解这些电子小制作原理和制作过程，另外易天教学网（www.eTV100.com）专门开发了书中涉及的电子小制作套件，以满足读者需要。

本书起点低、由浅入深、语言通俗易懂，内容结构安排符合学习认知规律，适合用做职业院校电类专业的数字电路教材，也适合作为电子技术爱好者学习数字电路的自学教材。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有，侵权必究。

图书在版编目 (CIP) 数据

数字电路知识与实践课堂 / 蔡杏山主编. —北京: 电子工业出版社, 2009.8

(电子技能实践课堂系列丛书)

ISBN 978-7-121-09302-9

I. 数… II. 蔡… III. 数字电路 IV. TN79

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 125178 号

责任编辑: 赵丽松 zls@phei.com.cn 电话: 010-88254452

印 刷: 北京市海淀区四季青印刷厂

装 订: 涿州市桃园装订有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1092 1/16 印张: 11.25 字数: 288 千字

印 次: 2009 年 8 月第 1 次印刷

印 数: 4 000 册 定价: 26.00 元 (含 VCD 光盘 1 张)

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

目 录

第 1 章 数字信号入门	1
第 2 章 门电路	4
2.1 基本门电路	5
2.1.1 与门	5
2.1.2 或门	7
2.1.3 非门	9
2.2 门电路实验板的安装与实践	10
2.2.1 电路原理图与印制板图	10
2.2.2 实验板的安装	11
2.2.3 与门实验	12
2.2.4 或门实验	13
2.2.5 非门实验	13
2.3 复合门电路	14
2.3.1 与非门	14
2.3.2 或非门	15
2.3.3 与或非门	16
2.3.4 异或门	18
2.3.5 同或门	19
2.4 集成门电路	20
2.4.1 TTL 集成门电路	21
2.4.2 CMOS 集成门电路	26
第 3 章 数制、编码与逻辑代数	32
3.1 数制	33
3.1.1 十进制数	33
3.1.2 二进制数	33
3.1.3 十六进制数	34
3.1.4 数制转换	35
3.2 编码	36
3.2.1 8421BCD 码、2421BCD 码和 5421BCD 码	36
3.2.2 余 3 码	37
3.2.3 格雷码	37
3.2.4 奇偶校验码	37
3.3 逻辑代数	38
3.3.1 逻辑代数的常量和变量	39

3.3.2	逻辑代数的基本运算规律	39
3.3.3	逻辑表达式的化简	40
3.3.4	逻辑表达式、逻辑电路和真值表相互转换	42
3.3.5	逻辑代数在逻辑电路中的应用	44
第4章	组合逻辑电路	45
4.1	组合逻辑电路分析与设计	46
4.1.1	组合逻辑电路的分析	46
4.1.2	组合逻辑电路的设计	47
4.2	编码器	48
4.2.1	普通编码器	49
4.2.2	优先编码器	50
4.3	译码器	52
4.3.1	二进制译码器	52
4.3.2	二-十进制译码器	54
4.3.3	数码显示器与显示译码器	56
4.4	数码管译码控制器的安装与实践	61
4.4.1	电路原理图与印制板图	61
4.4.2	安装	62
4.4.3	实验操作	64
4.5	加法器	66
4.5.1	半加器	66
4.5.2	全加器	67
4.5.3	多位加法器	68
4.6	数值比较器	70
4.6.1	等值比较器	70
4.6.2	数值比较器	71
4.7	数据选择器	73
4.8	奇偶校验器	75
4.8.1	奇偶校验原理	75
4.8.2	奇偶校验器	76
第5章	时序逻辑电路	78
5.1	触发器	79
5.1.1	基本 RS 触发器	79
5.1.2	同步 RS 触发器	80
5.1.3	D 触发器	82
5.1.4	JK 触发器	83
5.1.5	T 触发器	85
5.1.6	主从触发器和边沿触发器	86
5.2	寄存器与移位寄存器	88

5.2.1	寄存器	88
5.2.2	移位寄存器	89
5.3	计数器	94
5.3.1	二进制计数器	94
5.3.2	十进制计数器	98
5.3.3	任意进制计数器	99
5.3.4	常用计数器芯片	100
5.4	电子密码控制器的安装与实践	104
5.4.1	电路原理与印制板图	104
5.4.2	安装	107
5.4.3	实验操作	108
第 6 章 脉冲电路		109
6.1	脉冲电路基础	110
6.1.1	脉冲的基础知识	110
6.1.2	RC 电路	111
6.2	脉冲产生电路	113
6.2.1	多谐振荡器	113
6.2.2	锯齿波发生器	115
6.3	脉冲整形电路	116
6.3.1	单稳态触发器	117
6.3.2	施密特触发器	119
6.3.3	限幅电路	122
6.4	555 定时器	124
6.4.1	结构与原理	125
6.4.2	应用	126
6.5	电子催眠器的安装与实践	129
6.5.1	电子催眠原理	129
6.5.2	电路原理与印制板图	130
6.5.3	安装	132
6.5.4	实验操作	132
第 7 章 D/A 转换器和 A/D 转换器		134
7.1	概述	135
7.2	D/A 转换器	135
7.2.1	D/A 转换原理	135
7.2.2	D/A 转换器	136
7.2.3	D/A 转换芯片 ADC0832	139
7.3	A/D 转换器	141
7.3.1	A/D 转换原理	141
7.3.2	A/D 转换器	143

7.3.3	A/D 转换芯片 ADC0809	145
第 8 章	半导体存储器	148
8.1	顺序存储器	149
8.1.1	动态 MOS 移存单元	149
8.1.2	动态 MOS 移存器	149
8.1.3	顺序存储器	150
8.2	随机存储器	151
8.2.1	随机存储器的结构与原理	152
8.2.2	存储单元	153
8.2.3	存储器容量的扩展	157
8.3	只读存储器	158
8.3.1	固定只读存储器 (ROM)	159
8.3.2	可编程只读存储器 (PROM)	160
8.3.3	可改写只读存储器 (EPROM)	161
8.3.4	电可改写只读存储器 (EEPROM)	162
附录 A	半导体集成电路型号命名方法 (国标)	163
附录 B	74LS 系列芯片功能 (TTL 型器件)	165
附录 C	CC4000 系列芯片功能 (CMOS 型器件)	168



第1章

数字信号入门



问：老师，什么是数字电路呢？

答：数字电路是用来处理由“0”和“1”组成的二进制数的电路。





电子技术分为模拟电子技术和数字电子技术,我国的模拟电子技术发展相对较早且很成熟,在 20 世纪 80~90 年代,大量的电子制造企业采用模拟电子技术生产出大量物美价廉的电子产品,如收音机、录音机、电视机和录像机等,从而极大程度丰富了人们的物质和精神生活。

数字电子技术在我国发展较慢,进入 21 世纪后,数字电子技术开始迅速发展,日常生活中的数字电子产品也越来越多,家电消费类的数字电子产品如视盘机、数字电视机、计算机、移动电话、数码相机、数码摄像机、MP3、MP4 和移动电话等日益普及。另外,在工业生产过程的自动控制系统、无线电遥感测量、智能化仪表、高科技军事武器和航空航天领域等都广泛采用到了数字电路技术,可以说 21 世纪将是数字电子技术的天下。

1. 模拟信号与数字信号

模拟电路处理的信号是模拟信号,而数字电路处理的信号是数字信号。下面就以图 1-1 为例来说明模拟信号和数字信号的区别。

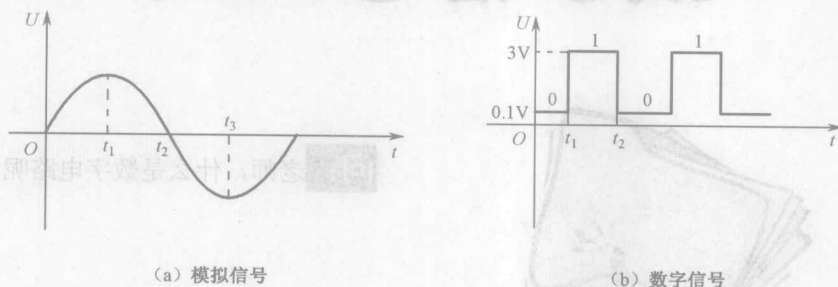


图 1-1 模拟信号与数字信号

模拟信号是一种大小随时间连续变化的电流或电压,图 1-1 (a) 所示的就是一种模拟信号。从图 1-1 (a) 可以看出,在 $0 \sim t_1$ 时间内,信号电压慢慢增大,在 $t_1 \sim t_2$ 时间内,信号电压慢慢减小,它们的变化都是连续的。

数字信号是一种突变的电压和电流,图 1-1 (b) 所示的是一种数字信号。从图 1-1 (b) 可以看出,在 $0 \sim t_1$ 期间,信号电压大小始终为 0.1V,而在 t_1 时刻,电压突然瞬间上升至 3V,在 $t_1 \sim t_2$ 期间,电压始终为 3V,在 t_2 时刻,电压又瞬间由 3V 降到 0.1V。

由此可以看出,模拟信号的电压或电流大小是随时间连续变化的,而数字信号特点是保持(一段时间内维持低电压或高电压)和突变(低电压与高电压的转换瞬间完成)。为了分析方便,在数字电路中常将 $0 \sim 1V$ 范围的电压称为低电平,用“0”表示,而将 $3 \sim 5V$ 范围的电压称为高电平,用“1”表示。

2. 正逻辑与负逻辑

数字信号只有“1”和“0”两个数值。在数字电路中,有正逻辑与负逻辑两种体制。

正逻辑体制规定:高电平为 1,低电平为 0。

负逻辑体制规定:低电平为 1,高电平为 0。

两种逻辑中,正逻辑更为常用,图 1-2 所示的数字信号用正逻辑表示就是 010101。

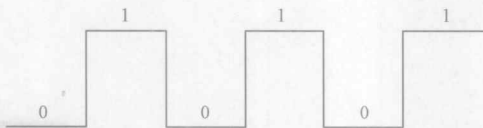


图 1-2 正逻辑表示的数字信号

3. 三极管的 3 种工作状态

三极管的工作状态有 3 种：截止、放大和饱和。在模拟电路中，三极管主要工作在放大状态。图 1-3 是一个含三极管的电路，电源经 R_1 为三极管 VT_1 提供基极电压， VT_1 导通，有 I_b 、 I_c 电流流过， VT_1 处于放大状态，当模拟信号送到三极管基极时，信号能被它放大并从集电极输出。

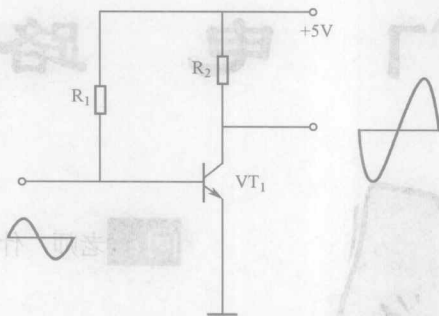


图 1-3 工作在放大状态的三极管

在数字电路中，三极管工作在截止和饱和状态，也称为“开关”状态。图 1-4 也是一个含三极管的电路，三极管 VT_1 的基极没有提供电压，所以它不能导通，处于截止状态，如果给 VT_1 基极加一个图示的数字信号，当数字信号低电平（较低的电压）来时， VT_1 基极电压很低，发射结无法导通，无 I_b 、 I_c 电流， VT_1 仍处于截止状态；当数字信号的高电平来到 VT_1 基极时， VT_1 基极电压很高，发射结导通，有很大的 I_b 、 I_c 电流流过，三极管处于饱和状态。

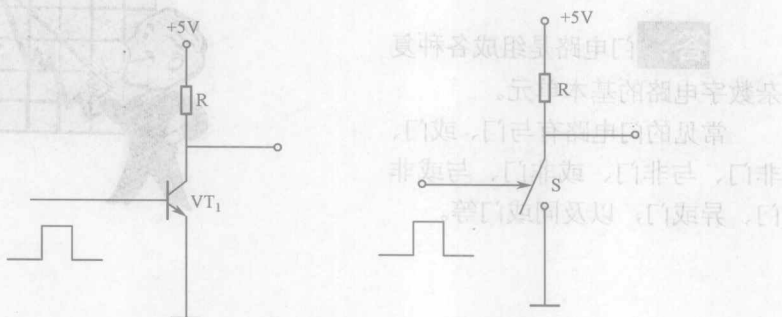


图 1-4 工作在开关状态的三极管

数字电路中的三极管很像开关，开关的通/断受输入的数字信号控制，当数字信号低电平来时，三极管处于截止状态，相当于开关 S 断开；当数字信号高电平来时，三极管处于饱和状态，相当于开关 S 闭合。



信号电平的高低表示逻辑状态 1-1 图

第2章

大数在计算机中主要用二进制表示，中间由逻辑门电路实现。逻辑门电路是数字电路的基本单元，也是组成各种数字电路的基础。本章主要介绍逻辑门电路的基本概念、逻辑符号、逻辑表达式、逻辑图、逻辑功能、逻辑测试、逻辑应用等。本章是学习数字电路的基础，也是从事数字电路设计、应用、测试、维修等工作的必备知识。

门 电 路



问：老师，什么是门电路？

门电路的基本概念 2-1 图

门电路是组成各种复杂数字电路的基本单元。常见的门电路有与门、或门、非门、与非门、或非门、与或非门、异或门，以及同或门等。门电路的逻辑功能可以用逻辑表达式、逻辑图、逻辑功能表、逻辑测试、逻辑应用等方法来描述。本章主要介绍门电路的基本概念、逻辑符号、逻辑表达式、逻辑图、逻辑功能、逻辑测试、逻辑应用等。本章是学习数字电路的基础，也是从事数字电路设计、应用、测试、维修等工作的必备知识。

答：门电路是组成各种复杂数字电路的基本单元。

常见的门电路有与门、或门、非门、与非门、或非门、与或非门、异或门，以及同或门等。



门电路的逻辑功能 2-2 图

门电路的逻辑功能可以用逻辑表达式、逻辑图、逻辑功能表、逻辑测试、逻辑应用等方法来描述。本章主要介绍门电路的基本概念、逻辑符号、逻辑表达式、逻辑图、逻辑功能、逻辑测试、逻辑应用等。本章是学习数字电路的基础，也是从事数字电路设计、应用、测试、维修等工作的必备知识。



2.1

基本门电路

基本门电路是组成各种数字电路最基本的单元，基本门电路有三种：与门、或门、非门。

2.1.1 与门

1. 电路结构与原理

与门电路结构如图 2-1 所示，它是一个由二极管和电阻构成的电路，其中 A、B 为输入端， S_1 、 S_2 为开关，Y 为输出端，+5V 电压经 R_1 、 R_2 分压，在 E 点得到 +3V 的电压。

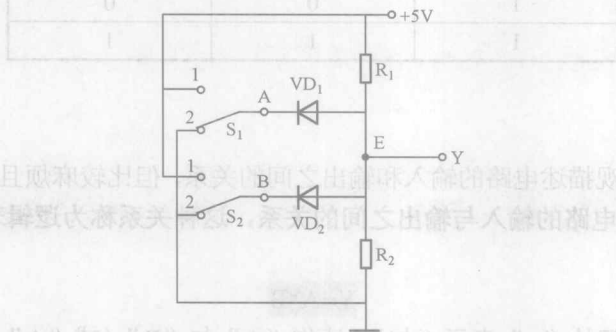


图 2-1 与门电路结构

与门电路工作原理说明如下：

当 S_1 、 S_2 均拨至位置“2”时，A、B 端电压都为 0V，由于 E 点电压为 3V，所以二极管 VD_1 、 VD_2 都导通，E 点电压马上下降到 0.7V，Y 端输出电压为 0.7V。

当 S_1 拨至位置“2”、 S_2 拨至位置“1”时，A 端电压为 0V，B 端电压为 5V，由于 E 点电压为 3V，所以二极管 VD_1 马上导通，E 点电压下降到 0.7V，此时 VD_2 正端电压为 0.7V，负端电压为 5V， VD_2 处于截止状态，Y 端输出电压为 0.7V。

当 S_1 拨至位置“1”、 S_2 拨至位置“2”时，A 端电压为 5V，B 端电压为 0V， VD_2 导通， VD_1 截止，E 点为 0.7V，Y 端输出电压为 0.7V。

当 S_1 、 S_2 均拨至位置“1”时，A、B 端电压都为 5V， VD_1 、 VD_2 均不能导通，E 点电压为 3V，Y 端输出电压为 3V。

为了分析方便，在数字电路中通常将 0~1V 范围的电压规定为低电平，用“0”表示，将 3~5V 范围的电压称为高电平，用“1”表示。根据该规定，可将与门电路工作原理简化如下：

当 A=0、B=0 时，Y=0；

当 A=0、B=1 时，Y=0；

当 A=1、B=0 时，Y=0；

当 A=1、B=1 时，Y=1。



由此可见,与门电路的特点是:只有输入端都为高电平时,输出端才会输出高电平;只要有一个输入端为低电平,输出端就会输出低电平。

2. 真值表

真值表是列举电路的各种输入值和对应输出值的表格。通过真值表可直观看出电路的输入与输出之间的关系。表 2-1 是与门电路的真值表。

表 2-1 与门电路的真值表

输 入		输 出
A	B	Y
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

3. 逻辑表达式

真值表虽然能直观描述电路的输入和输出之间的关系,但比较麻烦且记忆不便。为此可以用一个关系式来表示电路的输入与输出之间的关系,这种关系称为逻辑表达式。与门电路的逻辑表达式是:

$$Y=A \cdot B$$

式中的 A、B 之间的“ $\cdot$ ”表示“与”,读作“A”与“B”(或“A 乘“B”)。

4. 与门的逻辑符号

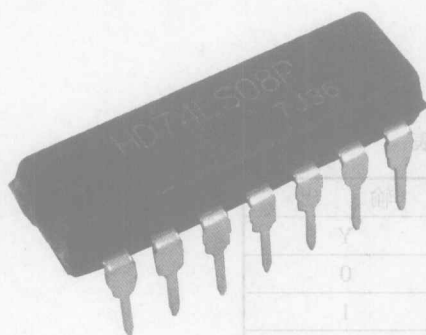
图 2-1 所示的与门电路由四个元件组成,在画图和分析时很不方便,通常用一个简单的符号来表示整个与门电路,这个符号称为逻辑符号。与门电路的逻辑符号如图 2-2 所示,其中旧符号是指早期采用的符号,国外常用符号是指国外常采用的符号,新标准符号是指我国公布最新标准符号。



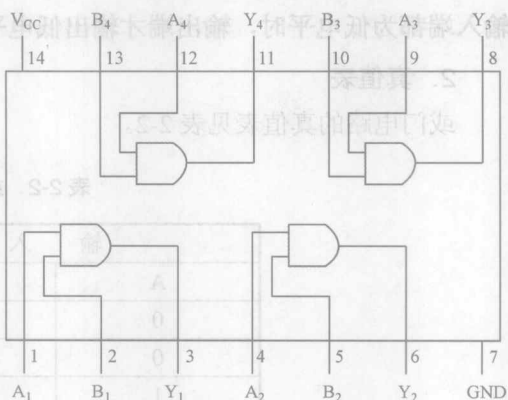
图 2-2 与门电路的逻辑符号

5. 与门芯片

在数字电路系统中,已很少采用分立元件组成的与门电路,市面上有很多集成化的与门芯片(又称与门集成电路)。74LS08 是一种较常用的与门芯片,其外形和结构如图 2-3 所示,从图 2-3 (b) 可以看出,74LS08 内部有四个与门,每个与门有 2 个输入端、1 个输出端。



(a) 外形



(b) 结构

图 2-3 与门芯片 74LS08

2.1.2 或门

1. 电路结构与原理

或门电路结构如图 2-4 所示, 它是由二极管和电阻构成的电路, 其中 A、B 为输入端, Y 为输出端。

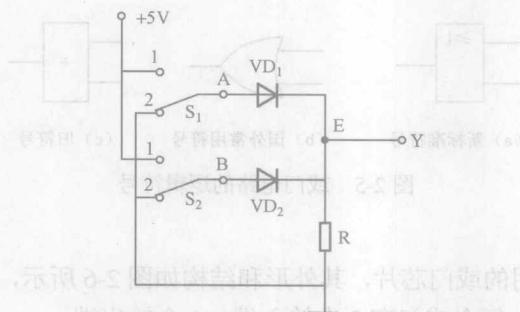


图 2-4 或门电路结构

或门电路工作原理说明如下:

当 S_1 、 S_2 均拨至位置“2”时, A、B 端电压都为 0V, 二极管 VD_1 、 VD_2 都无法导通, E 点电压为 0, Y 端输出电压为 0V。即 $A=0$ 、 $B=0$ 时, $Y=0$ 。

当 S_1 拨至位置“2”、 S_2 拨至位置“1”时, A 端电压为 0V, B 端电压为 5V, 二极管 VD_2 马上导通, E 点电压为 4.3V, 此时 VD_1 处于截止状态, Y 端输出电压为 4.3V。即 $A=0$ 、 $B=1$ 时, $Y=1$ 。

当 S_1 拨至位置“1”、 S_2 拨至位置“2”时, A 端电压为 5V, B 端电压为 0V, VD_1 导通, VD_2 截止, E 点为 4.7V, Y 端输出电压为 4.3V。即 $A=1$ 、 $B=0$ 时, $Y=1$ 。

当 S_1 、 S_2 均拨至位置“1”时, A、B 端电压都为 5V, VD_1 、 VD_2 均导通, E 点电压为 4.3V, Y 端输出电压为 4.3V。即 $A=1$ 、 $B=1$ 时, $Y=1$ 。

由此可见, 或门电路的特点是: 只要有一个输入端为高电平, 输出端就为高电平; 只有



输入端都为低电平时，输出端才输出低电平。

2. 真值表

或门电路的真值表见表 2-2。

表 2-2 或门电路的真值表

输 入		输 出
A	B	Y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

3. 逻辑表达式

或门电路的逻辑表达式为：

$$Y=A+B$$

4. 或门的逻辑符号

或门电路的逻辑符号如图 2-5 所示。

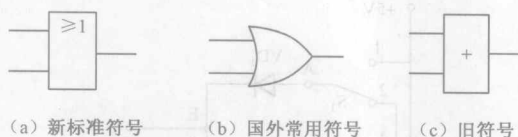


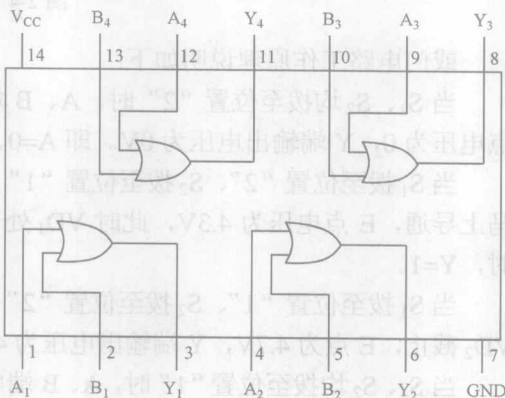
图 2-5 或门电路的逻辑符号

5. 或门芯片

74LS32 是一种较常用的或门芯片，其外形和结构如图 2-6 所示，从图 2-6 (b) 可以看出，74LS32 内部有四个或门，每个或门有 2 个输入端、1 个输出端。



(a) 外形



(b) 结构

图 2-6 或门芯片 74LS32



2.1.3 非门

1. 电路结构与原理

非门电路结构如图 2-7 所示,它是由三极管和电阻构成的电路,其中 A 为输入端, Y 为输出端。

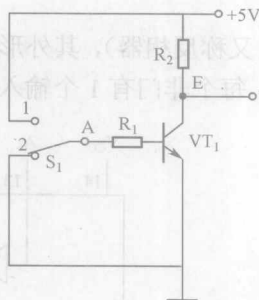


图 2-7 非门电路结构

非门电路工作原理说明如下:

当 S_1 拨至位置“2”时, A 端电压为 0V 时, 三极管 VT_1 截止, E 点电压为 5V, Y 端输出电压为 5V。即 $A=0$ 时, $Y=1$ 。

当 S_1 拨至位置“1”时, A 端电压为 5V 时, 三极管 VT_1 饱和导通, E 点电压低于 0.7V, Y 端输出电压也低于 0.7V。即 $A=1$ 时, $Y=0$ 。

由此可见, 非门电路的特点是: 输入与输出状态总是相反。

2. 真值表

非门电路的真值表见表 2-3。

表 2-3 非门电路的真值表

输 入	输 出
A	Y
1	0
0	1

3. 逻辑表示式

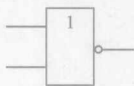
非门的逻辑表达式是:

$$Y = \overline{A}$$

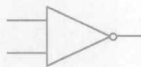
式子中的“ $\overline{}$ ”表示非(或相反)。

4. 逻辑符号

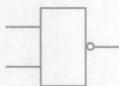
非门电路的逻辑符号如图 2-8 所示。



(a) 新标准符号



(b) 国外常用符号

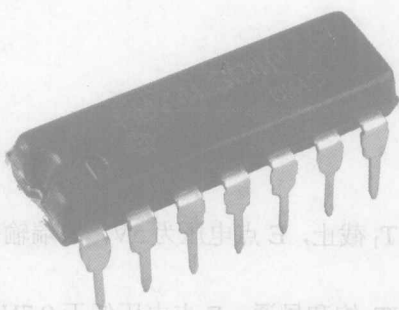


(c) 旧符号

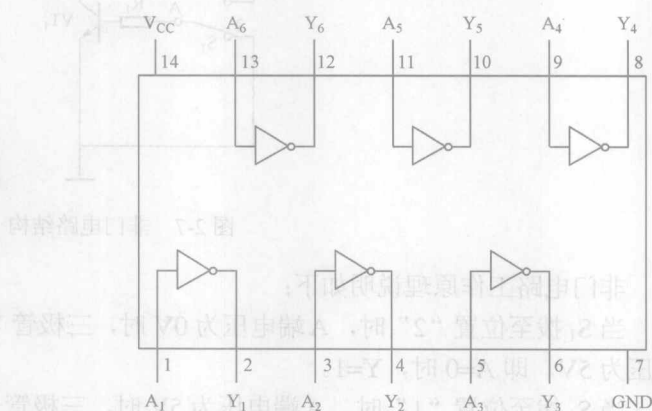
图 2-8 非门电路的逻辑符号

5. 非门芯片

74LS04 是一种常用的非门芯片 (又称反相器), 其外形和结构如图 2-9 所示, 从图 2-9 (b) 可以看出, 74LS04 内部有六个非门, 每个非门有 1 个输入端、1 个输出端。



(a) 外形



(b) 结构

图 2-9 非门芯片 74LS04

2.2

门电路实验板的安装与实践

门电路实验板是一块包含有与门、或门、非门和输入及输出指示电路的实验板, 利用它不但可以验证与门、或门和非门的逻辑功能, 还可以用板上的基本门芯片组合成更复杂的电路, 并能验证它们的功能。

2.2.1 电路原理图与印制板图

图 2-10 是门电路实验板的电路原理图。在电路中, 74LS08 为与门芯片, 74LS32 为或门芯片、74LS04 为非门芯片; $SIP_1 \sim SIP_3$ 为这些门电路的输入/输出端接插件, SIP_H 为高电平接插件, 用来为门电路提供高电平 1, SIP_L 为低电平接插件, 用来为门电路提供低电平 0; $VD_1 \sim VD_3$ 为发光二极管, 它与 R_2 、 R_3 、 R_4 构成三组指示电路, 在实验时用来指示门电路的输出端状态, 高电平时发光二极管亮, 低电平时发光二极管灭; C_1 、 C_2 为电源滤波电容, 确保提供给电路的电压波动小。

图 2-11 是门电路实验板的印制板图, 从图中可以清楚看出各元件实际位置和连接关系。