

SHUZI DIANZI JISHU DAJIANGTANG

数字电子技术



大讲堂

牛百齐 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

数字电子技术 大讲堂

牛百齐 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书以数字集成电路为核心,按照理论知识→技能训练→应用实例3个环节编写而成。在理论叙述中,力求层次分明、语言简练、通俗易懂;在集成芯片介绍中,侧重基本功能,淡化内部结构,突出应用,以帮助读者快速掌握数字电子技术知识及应用。

全书共分8章,分别是基本门电路及其应用,组合逻辑电路的分析与设计,编码器、译码器、数据选择器及其应用,加法器、数值比较器及其应用,触发器及其应用,计数器、寄存器及其应用,555定时器及其应用,D/A、A/D转换器及其应用。

本书适于电子技术初学者、爱好者及电子技术工程人员阅读,也可作为职业技能短期培训用书,以及职业院校相关专业学生学习参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

数字电子技术大讲堂/牛百齐编著. —北京:中国电力出版社,2014.5

ISBN 978-7-5123-5552-1

I. ①数… II. ①牛… III. ①数字电路-电子技术
IV. ①TN79

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第026115号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街19号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2014年5月第一版 2014年5月北京第一次印刷

710毫米×980毫米 16开本 13.25印张 249千字

印数0001—3000册 定价32.00元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

随着科学技术的发展,数字电子技术的应用越来越广泛。数字化电子产品正越来越多地影响着人们的生活。数字电路是数字电子产品的基本单元,数字电视和数码相机中的信息存储和处理,计算机中的运算器、控制器、寄存器、存储器,数字通信中的编码器、译码器和缓存器等都是依靠数字电路来实现的。为了帮助读者快速掌握数字电子技术知识,我们编写了这本《数字电子技术大讲堂》。

本书在编写上遵循认知规律,由浅入深,循序渐进,将数字电子技术的理论知识和实践有机结合起来,突出应用,具体有以下特点:

1) 在理论叙述上,层次分明,概念清楚,语言简练,通俗易懂,以帮助读者迅速理解并掌握基本理论知识。

2) 以数字集成电路为核心,按照理论知识→技能训练→应用实例3个环节编写,读者可以边学、边做,做到学以致用。

3) 选择典型集成芯片介绍,侧重基本功能,淡化内部结构,突出应用。通过技能训练,对集成芯片基本功能进行测试操作,能使读者轻松掌握集成电路的功能和应用。

4) 内容结构新颖,制作电路选择了可操作性强的实例,易于实现。

全书共分8章,分别是基本门电路及其应用,组合逻辑电路的分析与设计,编码器、译码器、数据选择器及其应用,加法器、数值比较器及其应用,触发器及其应用,计数器、寄存器及其应用,555定时器及其应用,D/A、A/D转换器及其应用。

本书适用于电子技术初学者、爱好者及电子技术工程人员阅读,也可作为职业技能短期培训用书,以及职业院校相关专业学生学习参考用书。

在编写本书过程中,编者得到了编者所在单位济宁职业技术学院的大力支持,还参阅和引用了相关的技术资料,在此一并表示诚挚的感谢。

由于编者水平有限,书中不妥、疏漏或错误之处在所难免,恳请专家、同行批评指正,也希望得到读者的意见和建议。



前言

绪论	1
----------	---

 第1章 基本门电路及其应用	5
---	---

1.1 基本逻辑运算和基本门电路	5
------------------------	---

1.1.1 与逻辑运算和与门电路	5
------------------------	---

1.1.2 或逻辑运算和或门电路	7
------------------------	---

1.1.3 非逻辑运算和非门电路	9
------------------------	---

技能训练1 面包板的使用	10
--------------------	----

技能训练2 基本逻辑门电路的识别与功能测试	11
-----------------------------	----

1.2 复合运算与复合门电路	14
----------------------	----

1.2.1 与非运算和与非门电路	14
------------------------	----

1.2.2 或非运算和或非门电路	15
------------------------	----

1.2.3 与或非运算	17
-------------------	----

1.2.4 异或运算及同或运算	18
-----------------------	----

技能训练3 复合门电路的识别与功能测试	19
---------------------------	----

1.3 集成门电路	21
-----------------	----

1.3.1 TTL 集成门电路	21
-----------------------	----

1.3.2 CMOS 逻辑门电路	27
------------------------	----

技能训练4 OC 门与三态门功能测试	31
--------------------------	----

1.3.3 集成门电路的使用	32
----------------------	----

1.4 基本门电路的应用实例	34
----------------------	----

1.4.1 触摸式延时开关的制作	34
------------------------	----

1.4.2 逻辑状态测试笔的制作	36
------------------------	----

练习与提高	38
-------------	----

 第2章 组合逻辑电路的分析与设计	41
--	----

2.1 逻辑代数	41
----------------	----

2.1.1 基本逻辑运算	41
--------------------	----

2.1.2 公式法化简逻辑函数	45
2.1.3 卡诺图法化简逻辑函数	46
2.2 组合逻辑电路	51
2.2.1 组合逻辑电路的基本概念	51
2.2.2 组合逻辑电路的分析	52
2.2.3 组合逻辑电路的设计	54
2.2.4 组合逻辑电路中的竞争冒险	55
技能训练 组合逻辑电路的功能测试	57
2.3 组合逻辑电路的应用实例	58
2.3.1 3人表决器的设计与制作	58
2.3.2 产品质量显示仪的设计与制作	60
练习与提高	62



第3章 编码器、译码器、数据选择器及其应用

3.1 编码器	65
3.1.1 普通编码器	65
3.1.2 优先编码器	66
技能训练1 编码器逻辑功能测试	68
3.2 译码器	69
3.2.1 二进制译码器	70
3.2.2 二-十进制译码器	72
3.2.3 数字显示译码器	74
3.2.4 译码器的应用	77
技能训练2 译码器和数码显示器逻辑功能测试	79
3.3 数据选择器	81
3.3.1 4选1数据选择器	81
3.3.2 8选1数据选择器	82
3.3.3 数据选择器的应用	83
3.4 编码器、译码器的应用实例	84
3.4.1 数码显示器的制作	84
3.4.2 旋转彩灯的制作	86
练习与提高	88



第4章 加法器、数值比较器及其应用

4.1 数制与码制	90
------------------------	----

4.1.1 数制	90
4.1.2 不同数制间的转换	91
4.1.3 码制	94
4.2 加法器	96
4.2.1 半加器	96
4.2.2 全加器	97
4.2.3 多位加法器	97
4.2.4 集成加法器的应用	98
技能训练 1 全加器逻辑功能验证	99
4.3 数值比较器	100
4.3.1 一位数值比较器	101
4.3.2 多位数值比较器	101
4.3.3 数值比较器的应用	102
技能训练 2 数值比较器逻辑功能验证	103
4.4 4 位二进制数加法数码显示电路的制作应用实例	104
练习与提高	107
第 5 章 触发器及其应用	109
5.1 触发器概述	109
5.2 RS 触发器	110
5.2.1 基本 RS 触发器	110
5.2.2 同步 RS 触发器	111
技能训练 1 基本 RS 触发器功能测试	113
5.3 JK 触发器	113
5.3.1 同步 JK 触发器	113
5.3.2 边沿 JK 触发器	115
5.3.3 集成 JK 触发器	117
技能训练 2 JK 触发器功能测试	118
5.4 D 触发器	119
5.4.1 同步 D 触发器	119
5.4.2 边沿 D 触发器	120
5.4.3 集成 D 触发器	122
技能训练 3 D 触发器的功能测试	123
5.5 T 触发器和 T' 触发器	123
5.5.1 由 JK 触发器构成 T 触发器和 T' 触发器	124

5.5.2 由D触发器构成T触发器和T'触发器	124
技能训练4 T触发器和T'触发器的功能测试	125
5.6 触发器的应用实例	126
5.6.1 4路抢答器的设计与制作	126
5.6.2 8路抢答器的设计与制作	128
练习与提高	131
第6章 计数器、寄存器及其应用	134
6.1 计数器	134
6.1.1 二进制计数器	134
6.1.2 十进制计数器	140
6.1.3 集成计数器	141
6.1.4 N进制计数器	144
技能训练1 集成计数器功能及应用测试	148
6.2 寄存器	150
6.2.1 数码寄存器	150
6.2.2 移位寄存器	151
技能训练2 寄存器功能测试	153
6.3 数字电子钟的制作应用实例	155
练习与提高	161
第7章 555 定时器及其应用	164
7.1 555 定时器	164
7.2 555 定时器的应用	166
7.2.1 用555定时器构成的多谐振荡器	166
7.2.2 用555定时器构成的单稳态电路	167
7.2.3 用555定时器构成的施密特触发器电路	170
技能训练 555 定时器的功能及应用	172
7.3 555 定时器的应用实例	173
7.3.1 触摸式防盗报警器的制作	173
7.3.2 声控自动延时灯的制作	176
练习与提高	178
第8章 D/A、A/D 转换器及其应用	180
8.1 D/A 转换器	180
8.1.1 R-2R 倒T型网络D/A转换器	180

8.1.2 集成 D/A 转换器简介	182
技能训练 D/A 转换器的功能测试	185
8.2 A/D 转换器	186
8.2.1 A/D 转换的一般过程	186
8.2.2 A/D 转换器的类型	187
8.2.3 A/D 转换器的主要参数	191
8.2.4 集成 A/D 转换器简介	191
8.3 D/A、A/D 转换器的应用实例	195
8.3.1 锯齿波发生器的制作	195
8.3.2 数字电压表的制作	197
练习与提高	200
参考文献	202

绪 论

在现代社会,数字电视、数码照相机、手机等数字化电子产品正越来越多地影响着人们的生活。数字电路是数字电子设备的基本单元,数字电视和数码照相机的信息存储和处理,计算机中的运算器、控制器、寄存器、存储器,数字通信中的编码器、译码器和缓存器等都是依靠数字电路来实现的。随着科学技术的发展,数字电子技术的应用将越来越广泛。

1. 模拟信号与数字信号

在电子技术应用中,电信号按其变化规律可以分为两大类:模拟信号和数字信号。模拟信号是在时间和数值上连续变化的信号。例如,电话线中的语音信号就是随时间做连续变化的模拟信号,它的电压信号在正常情况下是连续变化的,不会出现跳变。传输、处理模拟信号的电路称为模拟电路。

数字信号是在时间和数值上都是离散(不连续)的信号,其高电平和低电平常用1和0来表示。矩形波、方波信号就是典型的数字信号。传输、处理数字信号的电路称为数字电路,主要用于研究输出与输入信号之间的逻辑关系,因此数字电路又称为数字逻辑电路。

如图0-1所示为模拟信号和数字信号的波形。

2. 正逻辑与负逻辑

数字电路的信号只有两种状态,它表现为电路中电压的“高”或“低”、开关的“接通”或“断开”、晶体管

的“导通”或“截止”等。这种高和低、通和断对应的两种状态,分别对应1和0两个数码,表示电路中信号的有和无,以便于数据处理。

在数字电路中,用高、低电平分别代表二值逻辑的1和0两种逻辑状态。如果以

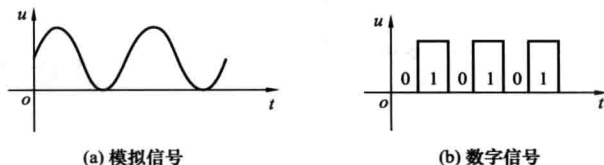


图0-1 模拟信号与数字信号

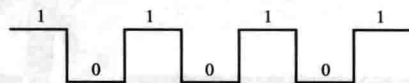


图 0-2 正逻辑表示的数字信号

输出的高电平表示逻辑 1, 以低电平表示逻辑 0, 则称这种表示方法为正逻辑。反之, 以输出的高电平表示逻辑 0, 以低电平表示逻辑 1, 则称这种表示方法为负逻辑。如图 0-2 所示的数字信号用正逻辑表示就是 1010101。

两种逻辑方法中正逻辑表示方法更为常用, 本书中除特别说明外, 一律采用正逻辑表示方法。

3. 获得高、低电平的方法

获得高、低电平的方法如图 0-3 所示, 当开关 S 断开时, 输出电压 u_o 为高电平; 当开关 S 闭合时, 输出电压为低电平。

开关 S 可用半导体二极管、三极管等器件构成, 通过输入信号 u_i 控制二极管或三极管工作在截止和导通两个状态, 以使它们起到开关的作用。

(1) 二极管的开关特性。由于二极管具有单向导电性, 即外加正向电压时导通, 外加反向电压时截止, 所以它在电路中相当于一个受外加电压极性控制的开关。

(2) 三极管的开关特性。由三极管的工作原理可知, 三极管的输出特性有 3 个区, 即截止区、放大区和饱和区。静态下, 输入信号电压较高时, 它可以工作于饱和区, $U_{CE} = U_{CES} = 0.3V$, C、E 之间相当于开关闭合; 输入信号电压较低时, 它可以工作于截止区, $U_{CE} = V_{CC}$, C、E 之间相当于开关断开。在数字电路中, 就是利用这一特性把三极管作为开关使用的, 如图 0-4 所示。

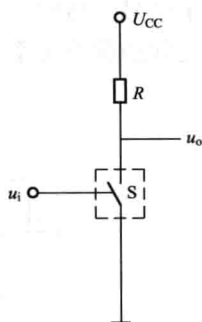


图 0-3 获得高、低电平的方法

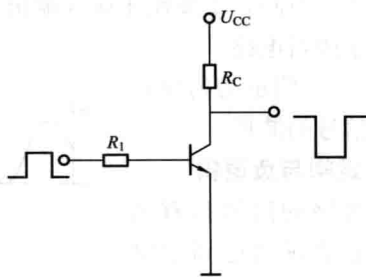


图 0-4 三极管的开关特性

二极管、三极管等作为开关元器件属于无触点电子开关。

4. 数字电路的特点

数字电路与模拟电路相比主要有以下特点:

(1) 数字电路利用脉冲信号的有无传递 1 和 0 数字信息, 电路工作时只要能可靠地区分 1 和 0 两种状态就可以了, 高、低电平间容差较大, 幅度较小的干扰不足以改变信号的有无状态, 所以, 数字电路工作可靠性高, 抗干扰能力强。

(2) 数字电路的基本单元电路比较简单, 便于集成制造和系列化生产。产品价格低廉、使用方便、通用性好。

(3) 由数字逻辑电路构成的数字系统工作速度快、精度高、功能强、可靠性好。数字电路中的元器件处于开关状态, 因此功耗较小。

(4) 数字电路不仅能完成算术运算, 还可以完成逻辑运算, 具有逻辑推理和逻辑判断的能力。

由于数字电路具有上述优点, 因此被广泛应用于计算机、数字通信、数字仪表、数控装置等领域。

5. 数字电路的分类

(1) 按电路组成结构分类。数字电路按组成结构可分为分立元件电路和集成电路两大类。分立元件电路由二极管、三极管、电阻、电容等元器件组成。集成电路则通过半导体制造工艺将这些元器件做在一片芯片上。

分立元件电路由于体积大, 可靠性不高, 逐渐被集成电路取代。

(2) 按集成电路规模分类。集成电路按集成度的不同可分为小规模集成电路 (SSI)、中规模集成电路 (MSI)、大规模集成电路 (LSI) 和超大规模集成电路 (VLSI)。

小规模集成电路: 它的集成度为 1~10 门/片或 10~100 个元器件/片。一般为一些逻辑单元电路, 如逻辑门电路、集成触发器等。

中规模集成电路 (MSI): 它的集成度为 10~100 门/片或 100~1000 个元器件/片。主要是一些逻辑功能部件, 如译码器、编码器、选择器、算术运算器、计数器、寄存器、比较器、转换电路等。

大规模集成电路: 它的集成度为 100~10 000 门/片或 1000~100 000 个元器件/片。主要是数字逻辑系统, 如中央控制器、存储器、串/并行接口电路等。

超大规模集成电路: 它的集成度大于 10 000 门/片或 100 000 个元器件/片以上。主要是高集成度的数字逻辑系统, 如单片计算机等。

(3) 按使用的半导体类型分类。按电路使用半导体类型的不同可分为双极型电路和单极型电路。使用双极型晶体管作为基本器件的数字集成电路, 称为双极型数字集成电路, 一般为 TTL、ECL、HTL 等集成电路。双极型电路生产工艺成熟, 产品参数稳定, 工作可靠, 开关速度高, 因此应用广泛。使用单极型晶体管作为基本器件的数字集成电路, 称为单极型数字集成电路。单极型电路有 NMOS、PMOS、CMOS 等集成电路, 优点是低功耗, 抗干扰能力强。

(4) 按电路的逻辑功能分类。按电路的逻辑功能的不同可分为组合逻辑电路和时序逻辑电路。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;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。

6. 数字电路的应用

目前,数字电路在数字通信、电子计算机、自动控制、电子测量仪器等方面已得到了广泛应用。

(1) 数字通信。用数字电路构成的数字通信系统与传统的模拟通信系统相比较,不仅抗干扰能力强,保密性能好,适于多路远程传输,而且还能应用于计算机进行信息处理和控制,实现以计算机为中心的自动交换通信网。

(2) 电子计算机。以数字电路构成的电子计算机处理信息能力强,运算速度快,工作温度可靠,便于参与过程控制。

(3) 自动控制。数字电路构成的自动控制系统具有快速、灵敏、精确等特点,如数控机床、电厂参数的远距离测控、卫星测控等。

(4) 电子测量仪器。用数字电路构成的电子测量仪器与模拟测量仪器相比,不仅测量精度高、测试功能强,而且便于进行数据处理,实现测量自动化、智能化。

以上仅概括说明了数字电路的一些应用。实际上,数字电路的应用是非常广泛的。随着数字电路应用领域的扩大,数字电子技术将更深入地渗透到国民经济各个部门中去,并产生越来越深刻的影响。因此,数字电子技术是现代电子工程技术人员必须掌握的一门技术基础知识。

基本门电路及其应用

1.1 基本逻辑运算和基本门电路

在数字电路中, 1 位二进制数码的 0 和 1 不仅可以表示数量的大小, 还可以表示两种不同的逻辑状态。例如, 可以用 1 和 0 分别表示一件事情的有和无, 或者表示电路的通和断, 电灯的亮和灭等。这种只有两种对立逻辑状态的逻辑关系称为二值逻辑。

所谓“逻辑”, 就是指事物间的因果关系。当两个二进制数码表示不同的逻辑状态时, 它们之间可以按照指定的某种因果关系进行推理运算, 这种运算就称为逻辑运算。逻辑代数(又称布尔代数)是按一定的逻辑规律进行运算的代数, 是分析和设计数字电路最基本的数学工具。逻辑代数虽然和普通代数一样也用字母表示变量, 但逻辑代数中逻辑变量的取值只有 1 和 0 两个值, 且 0 和 1 不表示数量的大小, 只表示两种对立的逻辑状态。

在逻辑代数中, 有 3 种基本逻辑运算关系: 与逻辑运算、或逻辑运算和非逻辑运算。

1.1.1 与逻辑运算和与门电路

1. 与逻辑运算

当决定某一事件的所有条件都满足时, 该事件才发生, 这种因果关系称为与逻辑关系, 也称为与运算或逻辑乘。

与运算对应的逻辑电路可以用两个串联开关 A 、 B 控制电灯 Y 的亮和灭来示意, 如图 1-1 所示。若用 1 代表开关闭合和灯亮, 用 0 代表开关断开和灯灭, 则电路的功能可以描述为: 只有当 A 、 B 两个开关都闭合 ($A=1$ 、 $B=1$) 时, 电灯 Y 才亮 ($Y=1$), 否则, 灯灭。这种灯的亮与灭和开关的通与断之间的逻辑关系就是与逻辑。其对应关系见表 1-1, 这种表格称为真值表。

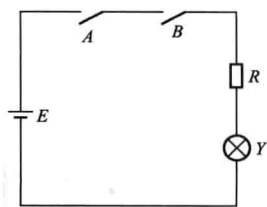


图 1-1 与逻辑电路示意图

表 1-1

与 逻辑 真 值 表

输入		输出	输入		输出
A	B	Y	A	B	Y
0	0	0	1	0	0
0	1	0	1	1	1

所谓真值表，就是将输入变量的所有可能的取值组合对应的输出变量值一一列举出来的表格。若输入有 n 个变量，则有 2^n 种取值组合存在，输出对应的有 2^n 个值。在逻辑分析中，真值表是描述逻辑功能的一种重要形式。

由真值表可以将与门电路的逻辑功能归纳为：“有 0 出 0，全 1 出 1”。

Y 和 A 、 B 间的关系可以用下式表示：

$$Y = A \cdot B \quad (1-1)$$

此逻辑函数表达式读作“ Y 等于 A 与 B ”，为了简便，有时把符号“ $\cdot$ ”省略，写成 $Y = AB$ 。

对于多变量的与运算可以用下式表示：

$$Y = ABC \cdots$$

在数字电路中，常把能够实现与运算逻辑功能的电路称为与门，其图形符号如图 1-2 所示。

2. 与门电路

二极管具有单向导电性，当二极管导通时，相当于开关闭合；当二极管截止时，相当于开关断开。利用二极管构成的与门电路如图 1-3 所示。

当输入端 A 、 B 中任何一个或全部为低电平 0 (0V) 时，将至少有一个二极管导通使输出端 Y 为低电平 0 (导通钳位在 0.7V)，而当输入端 A 、 B 全部为高电平 1 (+5V) 时，两个二极管均截止，电阻中没有电流，其上的电压降为 0，从而输出端 Y 为高电平 1 (+5V)。

可见，它满足“有 0 出 0，全 1 出 1”的与逻辑关系，即输入有低电平 0 时，输出为低电平 0；输入全是高电平时，输出为高电平。

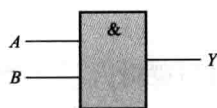


图 1-2 与门图形符号

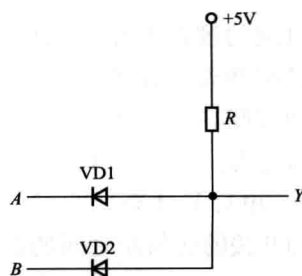


图 1-3 二极管与门电路

3. 与门芯片

在数字电路中，已经很少采用分立元件构成与门电路，而是采用集成化的与门芯片，又称与门集成电路。74LS08 是一种较常用的与门芯片，其外形如图 1-4 (a) 所示，内部机构及引脚排列如图 1-4 (b) 所示，由图可知 74LS08 内含 4 个 2 输入端与门。

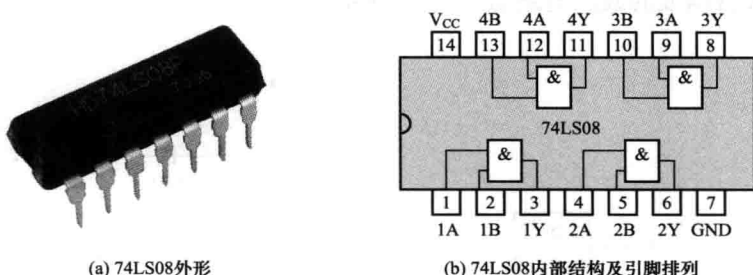


图 1-4 74LS08 外形与内部结构及引脚排列

1.1.2 或逻辑运算与或门电路

1. 或逻辑运算

当决定某一事件的所有条件中，只要满足一个条件，该事件就发生，这种因果关系称为或逻辑关系，也称为或运算或逻辑加。

或运算对应的逻辑电路可以用两个并联开关 A 、 B 控制电灯 Y 的亮和灭来示意，如图 1-5 所示。若仍用 1 代表开关闭合和灯亮，用 0 代表开关断开和灯灭，电路的功能可以描述为：只要 A 、 B 两个开关中至少有一个闭合时，电灯 Y 就亮；否则，灯灭。其真值表见表 1-2。

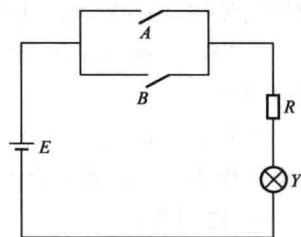


图 1-5 或逻辑电路示意图

表 1-2 或 逻辑 真 值 表

输入		输出	输入		输出
A	B	Y	A	B	Y
0	0	0	1	0	1
0	1	1	1	1	1

或运算的逻辑函数表达式为：

$$Y = A + B \quad (1-2)$$

对于多变量的或运算可用下式表示：

$$Y = A + B + C + \dots$$

在数字电路中，把能实现或运算的电路称为或门，其图形符号如图 1-6 所示。

或门的逻辑功能可归纳为：“有 1 出 1，全 0 出 0”。

2. 二极管或门电路

由二极管构成的或门电路如图 1-7 所示。

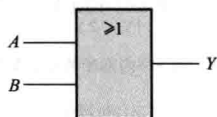


图 1-6 或门图形符号

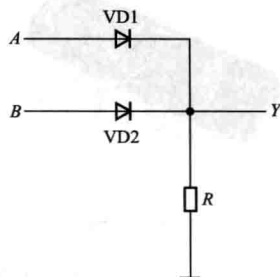


图 1-7 二极管或门电路

当输入端 A、B 中任何一个或全部为高电平 1 (+5V) 时，将至少有一个二极管导通使输出端 Y 为高电平 1 (导通时，电平钳位在 4.3V)。

而当输入端 A、B 全部为低电平 0 (0V) 时，二极管不导通，输出端 Y 必然为低电平 0。

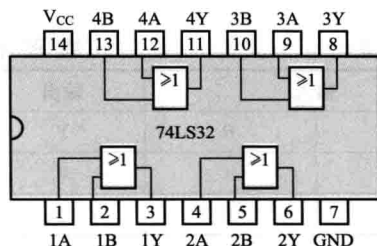
可见，它满足“全 0 出 0，有 1 出 1”的或逻辑关系，即输入全是低电平 0 时，输出为低电平 0；输入有高电平时，输出为高电平。

3. 或门芯片

74LS32 是一种较常用的或门芯片，其外形如图 1-8 (a) 所示，内部结构及引脚排列如图 1-8 (b) 所示。它内含 4 个 2 输入端或门。



(a) 74LS32 外形



(b) 74LS32 内部结构及引脚排列

图 1-8 74LS32 外形与内部结构及引脚排列