

D Z J S R M

电子技术入门丛书



# 数字电路入门

浙江科学技术出版社

编著：吴桂秀 张同华

电子技术入门丛书

数字电路入门

吴桂秀 张同华 编著

\*

浙江科学技术出版社出版

浙江良渚印刷厂印刷

浙江省新华书店发行

\*

开本 787×1092 1/32 印张 6.5 字数 142 000

2000年3月第1版

2001年1月第2次印刷

**ISBN 7-5341-1393-8/TN·20**

定 价：9.00 元

责任编辑：朱振东

封面设计：金 晖

# 前 言

随着电子技术的发展，越来越多的电子产品，包括家用电器都广泛地采用了数字电路。数字电路已成为信息处理的基础，对当今信息化时代有着重要的影响。因此，学习和了解数字电路的基础知识，熟练分析一些基本电路，是很有意义的。

本书作为数字电路入门读物，主要介绍数字逻辑基础知识、逻辑门电路、集成触发器、寄存器、计数器、译码显示电路，以及脉冲信号的产生和整形电路等。编写时力求深入浅出、通俗易懂，并结合章节内容，精选几种适宜读者自己动手实验的应用电路。

本书可作为职业高中电子类专业参考书，也可供家用电器以及电子设备等行业的生产和维修人员阅读，并适宜数字电路爱好者学习。

由于水平和经验有限，书中难免有疏漏或不当之处，敬请读者批评指正。

编著者

1999年6月

# 目 录

第一章 逻辑门电路 .....	1
第一节 概述 .....	1
一、数字电路的定义 .....	1
二、数字电路的特点 .....	2
三、数字器件的开关时间和适用频率 .....	2
第二节 基本逻辑门电路 .....	5
一、关于逻辑门电路的几个规定 .....	5
二、与门电路 .....	7
三、或门电路 .....	10
四、非门电路 .....	13
五、三态缓冲器 .....	16
第三节 组合逻辑门电路 .....	18
一、常见的简单组合逻辑门电路 .....	18
二、编码器和译码器 .....	24
三、逻辑代数 .....	29
四、用逻辑代数化简逻辑电路的方法 .....	31
第四节 逻辑门电路简易测试方法 .....	34
一、器材准备 .....	34
二、用静态法测试逻辑门电路 .....	36
三、用动态法测试逻辑门电路 .....	39
第五节 集成逻辑门电路的使用 .....	41
一、数字集成电路简介 .....	41
二、数字集成电路外形识别 .....	42

三、数字集成电路特性 .....	43
四、门电路接口技术 .....	46
五、门电路的应用 .....	48
<b>第二章 集成触发器 .....</b>	<b>54</b>
<b>第一节 集成触发器的基本形式 .....</b>	<b>55</b>
一、基本 RS 触发器 .....	55
二、钟控同步 RS 触发器 .....	57
<b>第二节 触发器的空翻现象及其防止 .....</b>	<b>58</b>
一、触发器的空翻现象 .....	58
二、防止空翻的触发器 .....	59
<b>第三节 几种逻辑功能不同的触发器 .....</b>	<b>60</b>
一、JK 型触发器 .....	60
二、T 型触发器 .....	63
三、D 型触发器 .....	64
<b>第四节 集成触发器的应用 .....</b>	<b>66</b>
一、几种常用集成触发器的功能和引脚识别 .....	66
二、集成触发器的应用 .....	70
<b>第三章 寄存器和计数器 .....</b>	<b>76</b>
<b>第一节 时序电路的基本概念 .....</b>	<b>76</b>
一、时序电路和组合逻辑门电路的区别 .....	76
二、同步时序电路 .....	76
三、异步时序电路 .....	76
<b>第二节 二进制数简介 .....</b>	<b>77</b>
一、二进制数的表示方法 .....	77
二、二进制数的四则运算 .....	78
三、二进制数和十进制数的互化 .....	79
<b>第三节 寄存器的功能和逻辑图 .....</b>	<b>81</b>
一、数码寄存器的基本功能和逻辑图 .....	81
二、移位寄存器的基本功能和逻辑图 .....	82

三、移位寄存器应用举例 .....	87
<b>第四节 计数器的功能和逻辑图 .....</b>	<b>89</b>
一、二进制计数器的功能和逻辑图 .....	89
二、十进制计数器的功能和逻辑图 .....	95
<b>第五节 计数译码显示电路的应用 .....</b>	<b>101</b>
一、分段式数码显示器 .....	101
二、七段字形译码器的应用 .....	106
三、计数译码显示电路的应用 .....	109
<b>第四章 脉冲的产生和整形电路 .....</b>	<b>116</b>
<b>第一节 单稳态触发器 .....</b>	<b>116</b>
一、单稳态触发器 .....	116
二、用与非门组成单稳态触发器 .....	116
三、几种集成单稳态触发器的应用 .....	119
<b>第二节 多谐振荡器 .....</b>	<b>127</b>
一、多谐振荡器 .....	127
二、用非门组成多谐振荡器 .....	127
三、带石英晶体的多谐振荡器 .....	130
<b>第三节 施密特触发器 .....</b>	<b>132</b>
一、施密特触发器 .....	132
二、用与非门组成施密特触发器 .....	132
三、施密特触发器的滞回特性 .....	134
四、集成施密特触发器 .....	134
<b>第四节 IC555 定时器电路 .....</b>	<b>141</b>
一、IC555 定时器电路 .....	141
二、IC555 定时器电路的功能 .....	142
三、IC555 定时器电路的应用 .....	143
<b>第五节 单结晶体管 .....</b>	<b>148</b>
一、单结晶体管特性 .....	148
二、单结晶体管分压比测量方法 .....	150

三、单结晶体管的应用 .....	151
<b>第五章 数字集成电路应用实例 .....</b>	<b>154</b>
<b>第一节 电子门铃 .....</b>	<b>155</b>
一、简易电子门铃 .....	155
二、音色悦耳的电子门铃 .....	156
<b>第二节 双音发生器 .....</b>	<b>158</b>
一、电路工作原理 .....	158
二、元器件选择 .....	159
三、安装和调试 .....	160
<b>第三节 逻辑测试笔 .....</b>	<b>161</b>
一、普通逻辑测试笔 .....	161
二、脉冲展宽式逻辑测试笔 .....	163
三、逻辑测试笔的使用 .....	166
<b>第四节 定时呼叫器 .....</b>	<b>166</b>
一、电路工作原理 .....	166
二、元器件选择 .....	168
三、参考数据 .....	168
<b>第五节 电子密码锁 .....</b>	<b>169</b>
一、按键式电子密码锁 .....	169
二、触摸式电子密码锁 .....	172
<b>第六节 电子转盘 .....</b>	<b>176</b>
一、基本型电子转盘 .....	176
二、趣味游戏机型电子转盘 .....	178
三、复合型电子转盘 .....	180
<b>第七节 数字显示秒信号发生器 .....</b>	<b>181</b>
一、电路工作原理 .....	182
二、元器件选择 .....	184
三、发光二极管数码管引脚排列判别 .....	185
<b>第八节 多彩变换灯光电路 .....</b>	<b>186</b>

一、随机三彩闪光电路 .....	186
二、七彩变换灯光电路 .....	188

## 附录

附录一、国标 CMOS 类数字集成电路与国外 CMOS 类数字集成电路型号对照说明 .....	192
附录二、常用单位换算表 .....	193
附录三、国际单位制单位词头 .....	194



# 第一章 逻辑门电路

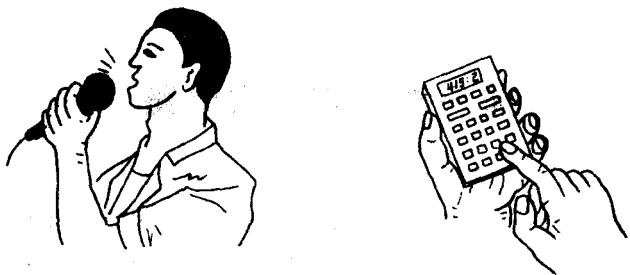
初学数字电路时，可能会由于看到电路图中那么多的连线和符号而感到不知所措。其实任何一个复杂的电路都是由一些简单的基本电路组成的。而且现在市场上出售的数字集成电路很便宜，只需花几元钱就可以买一块逻辑门电路，再添少量元器件就能构成多种实用电路。因此，业余爱好者完全有条件边看书边动手，不再是“纸上谈兵”。

## 第一节 概述

### 一、数字电路的定义

在电路中，我们遇到的电信号可以分为2类。一类是在数值上和时间上都是连续变化的信号，称为模拟信号。例如随着声音的变化而连续变化的某个电压信号就是模拟信号。另一类是在数值上或时间上不连续变化的信号，称为数字信号。例如只有高、低电压跳变的某个矩形波信号就是数字信号。

这2类信号处理方法上各不相同，我们把处理模拟信号的电路称为模拟电路，而把处理数字信号的电路称为数字电路。图1-1就是我们常见的产生2类信号的例子。



(a) 对着话筒唱歌或说话产生模拟信号 (b) 使用电子计算器时产生数字信号

图 1-1 数字信号和模拟信号

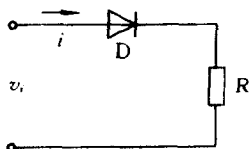
## 二、数字电路的特点

数字电路与模拟电路不同。首先，数字电路中大多数二极管和三极管总是工作于时而饱和导通、时而截止的开关状态。它的基本工作信号只有“0”和“1”2种，对应电路中的低电平和电平这2种状态。因此，数字电路功耗低且可靠性高。

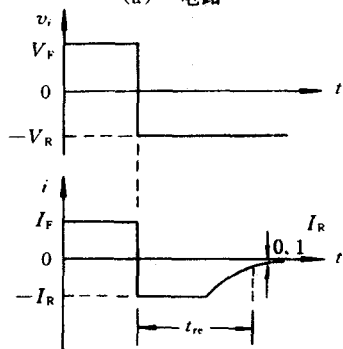
其次，由于数字电路不是工作在放大区，因此不能采用模拟电路的分析方法，而是采用适合数字电路特点的逻辑分析方法。通过逻辑分析，搞清楚输入和输出之间的逻辑关系。这里用到的主要工具是逻辑代数。而对于逻辑关系的表示，可以用功能表、真值表或逻辑表达式和波形图等。

## 三、数字器件的开关时间和适用频率

研究二极管的开关特性如图 1-2 所示，其中  $I_F$  为正向电流， $I_R$  为反向电流。二极管的开关时间主要由电荷存储效应所决定，从正向导通到反向截止有一个反向恢复过程（就是存储电



(a) 电路



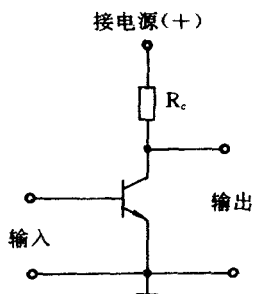
(b) 输入电压及二极管电流波形

图 1-2 二极管的开关特性

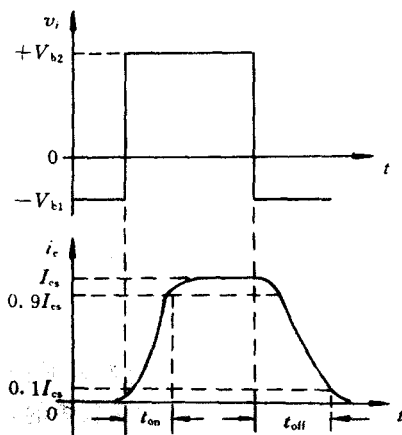
荷消失的过程), 于是就有一个反向恢复时间  $t_{re}$ , 约在纳秒 (ns) 数量级。因此, 二极管的开关时间是很短的, 可以忽略不计。

三极管的开关过程和二极管类似, 如图 1-3 所示, 其中  $I_{cs}$  为饱和集电极电流。这个开关过程也是内部电荷存储和消失的过程, 其开通(饱和导通)时间和关闭(截止)时间总称为三极管的开关时间, 一般在几十至几百纳秒。

半导体管的开关时间决定了半导体管开关运用的速度, 因此任何一个数字元器件都有一个工作频率上限, 数字集成电路也不例外。例如 CMOS 400 系列数字集成电路的适用频率为



(a) 电路



(b) 输入电压及三极管电流波形

图 1-3 三极管的开关特性

1~12兆赫(MHz)以下,属低速;ECL100K系列数字集成电路的适用频率为1000兆赫以下,属超高速。当然,数字元器件的开关速度是一个重要指标,但不是评价元器件的唯一标准。在工作速度能够满足实际要求的场合下,我们宁可采用低速的

CMOS 集成电路，以充分利用它功耗很小和价格低的优点。

## 第二节 基本逻辑门电路

前面讲过，数字电路的特点是电路中大多数元器件工作于开关状态，因此各种开关电路就成为数字电路的基本电路。这些基本电路像门一样按一定条件开或关，即当逻辑条件满足时信号可以通过，否则信号就不能通过，所以又称它们为逻辑门电路，简称门电路。

### 一、关于逻辑门电路的几个规定

#### 1. 逻辑状态表示方法的规定

所谓逻辑规律，就是因果关系。“因”、“果”只有 2 种互相对立的状态，我们可以用“1”表示一种状态，用“0”表示另一种状态。如果用“1”表示灯“亮”、开关“通”、电位“高”、脉冲“有”、回答“是”、事件“真”等，那么“0”就是表示灯“灭”、开关“断”、电位“低”、脉冲“无”、回答“非”、事物“假”。所以，这里的“1”和“0”并不是用来表示数量的大小，而是作为一种表示符号，称为逻辑 1 和逻辑 0。此外，也常用 H 表示逻辑高电平，用 L 表示逻辑低电平。“电平”原意是指电学量(电压、电流、功率)级差的比值，但这里通常指电压。

#### 2. 正逻辑和负逻辑的规定

用“1”表示高电平(H)，用“0”表示低电平(L)，这是在正逻辑体制中的规定。如果规定用“1”表示低电平(L)，用“0”表示高电平(H)，这就是负逻辑。图 1-4 就是这 2 种逻辑体制的一个实例。

对于同一个电路，不会因为所采用的逻辑体制不同而影响

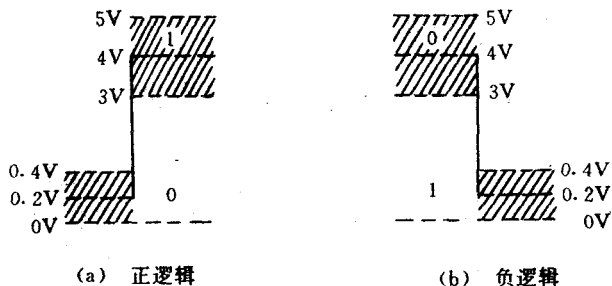


图 1-4 两种逻辑体制

到其好坏，但对表达同一电路的功能会有所不同。本书中若无特别说明，一律采用正逻辑来表示，即规定低电平(L)为逻辑0，高电平(H)为逻辑1。

### 3. 有关高、低电平的规定

考虑到温度、电源电压、干扰及元器件特性变化等因素对电路的影响，通常规定一个逻辑电平变化的许可范围，只要电平变化不超出此范围，门电路就可以做出逻辑判断。例如在图1-4(a)中，高电平处在3~5伏，就判断为逻辑1，低电平处在0~0.4伏，就判断为逻辑0。因此，实际上高电平和低电平并不是一个固定的数值，而是在规定范围内波动。

我们可以从数字集成电路产品手册中查到高电平和低电平的规定范围。例如对CC4012门电路，手册中规定当电源电压等于5伏时，输入低电平(最大)为1.5伏，输入高电平(最小)为3.5伏，推荐输入电压为零至电源电压。由此可见，输入低电平允许波动范围为0~1.5伏，而高电平允许波动范围为3.5~5伏。不同产品对高电平和低电平规定范围不同，同一系列产品如果标称电源电压不同，则高、低电平的规定范围也不同。

## 二、与门电路

### 1. 与逻辑关系

与逻辑关系是指这样的一种因果关系：当决定某一事件的各个条件全部具备时，这一事件才会发生。

这种与逻辑关系在我们的实际生活中出现得很多。例如图 1-5 所示的开关串联电路，只有当开关 A 与 B 都闭合时，灯 Y 才会亮。用逻辑函数式表示就是：

$$Y = A \cdot B$$

或

$$Y = B \cdot A$$

每个逻辑变量的值只可能是 0 或 1，没有其他的值。当 A 和 B 都等于 1 时，Y 等于 1，当任何一个为 0 时，Y 就等于 0。

我们规定开关闭合、灯亮用 1 表示，开关切断、灯灭用 0 表示。所以，上述逻辑函数式正确地表达了图 1-5 中开关状态和灯亮、灯灭之间的逻辑关系。

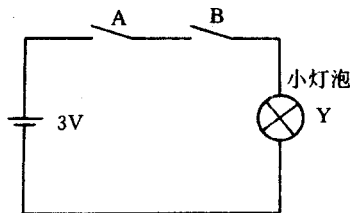


图 1-5 与逻辑关系

### 2. 与门电路

最简单的一种与门电路如图 1-6 所示，这是具有 2 个输入端的二极管与门电路。当输入端 A 和 B 都接 5 伏电压时（高电平，用 1 表示），二极管反接而未导通，则输出端 Y 为 5 伏（也是高电平），所以输入全是 1，输出也是 1。如果 A 为 1，B 为 0

(即 A 为 5 伏, B 为 0 伏), 那么二极管  $D_2$  导通且 B 相当于接“地”, 于是 Y 成为低电平(小于 1 伏)。这种输入和输出的因果关系是与逻辑关系, 所以称这种电路为与门电路。

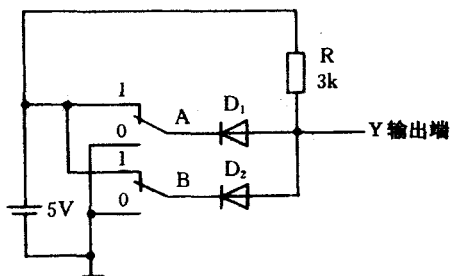


图 1-6 二极管与门电路

### 3. 与门电路的逻辑符号、功能表和波形图

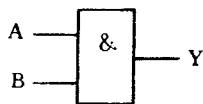
对应图 1-6 所示的二极管与门电路, 其逻辑符号和波形图如图 1-7 所示, 功能表和真值表参见表 1-1 和表 1-2。功能表和真值表是一种表明逻辑门电路输入状态和输出状态逻辑对应关系表, 它包括了全部可能的输入值组合及其对应的输出值。显然, 我们不必把 2 种表同时列出, 只用其中的一种就可以了。

表 1-1 二输入与门功能表

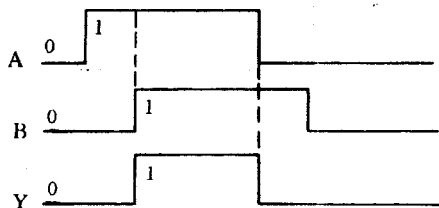
输 入		输 出
A	B	Y
L	L	L
L	H	L
H	L	L
H	H	H

注: H 表示高电平, L 表示低电平。





(a) 逻辑符号



(b) 波形图

图 1-7 二输入与门逻辑符号及波形图

表 1-2 二输入与门真值表

输 入		输出
A	B	Y
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

与门的输入端可以不止 2 个，图 1-8 表示具有 3 个输入端的与门电路及其逻辑符号和波形图。它的逻辑函数式为：

$$Y = A \cdot B \cdot C$$

因此，与门的逻辑功能可以归结为一句话，即“有 0 出 0，全 1 出 1”。