

中等专业学校教材



电子技术基础

(模块式教材)

数字基础部分

江西电力学校 陈汉秋 编



中等专业学校教材

电子技术基础

(模块式教材)

数字基础部分

江西电力学校 陈汉秋 编

水利电力出版社

(京)新登字115号

内 容 提 要

本书是“中等专业学校教材电子技术基础(模块式教材)”中的一个分册。该套教材包括《模拟基础部分》、《数字基础部分》、《电力专业部分》、《模拟部分》、《数字部分》、《实践部分》、《课程设计部分》七个模块。

全书共分五章,主要内容有:数字逻辑基础;TTL门电路、CMOS门电路、逻辑门电路的组合;各种集成触发器及其应用;寄存器、计数器、译码和数码显示器;555定时器、脉冲电路、数字钟等。

本书以小规模数字电路为基点,阐明了数字电路的基本原理,并介绍了一些常用数字部件的原理与使用,是数字电路的基础部分。

本书为中等专业学校发电配电、热动力等电力类、热力类“电子技术基础”课的统一教材,亦可供有关工程技术人员参考。

中等专业学校教材
电子技术基础(模块式教材)
数字基础部分

江西电力学校 陈汉秋 编

*

水利电力出版社出版

(现中国电力出版社)

(北京三里河路6号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售
北京市地矿局印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 8印张 181千字

1994年10月第一版 1995年8月北京第二次印刷

印数10081—13620册

ISBN 7-120-02048-X/TM·551

定价4.70元

前 言

“电子技术基础”模块式教材是电力中等专业学校第三轮教材中的改革试点教材。它是按照电力工程类、热能动力类和管理类有关专业（其中包括热自、通信、发电、热动和用电等专业）的“电子技术基础”课程教学大纲要求编写的。全书包括“模拟基础部分”、“数字基础部分”、“电力专业部分”、“模拟部分”、“数字部分”、“实践部分”和“课程设计部分”等七个模块。

两个“基础部分”分别介绍模拟和数字电路中常用的元器件和最基本的单元电路，是各专业学习“电子技术基础”的通用模块。“电力专业部分”主要介绍发电专业常用的电子电路及其应用；“模拟部分”和“数字部分”主要介绍热自和通信等专业常用的电子电路及其应用。以上三部分都是专业模块。“实践部分”是各专业进行实验教学和电子工艺实习的模块。“课程设计部分”是热自和通信等专业指导课程设计用的模块。

上述七个模块适用专业的范围和参考学时数列于下表。

序号	模块名称	适 用 专 业	学 时 数
1	模拟基础部分	热动、用电、发电、热自、通信等专业通用	55
2	数字基础部分		45
3	实践部分	热动、发电、热自专业	24、40、44*
4	电力专业部分	发电、发电运行、发变电安装和检修、继电保护和自动装置、高压技术	30
5	模拟部分	热自、热工计量、电能计量、无线通信、载波、电测、远动、计算机	50
6	数字部分		40
7	课程设计部分		三周

* 分别为热动、发电、热自专业的学时数。

按照此表，将通用模块和有关专业模块进行组合，可满足众多专业对电子技术教学的不同要求，这是模块教材的一大特点。

本书覆盖的专业面大，各专业在组织教学时可参照大纲要求，对教材进行必要的增删，处理好各模块之间的衔接和联系，避免脱节和过多重复，以实现教学效果的整体优化。

现行教学大纲是1987年制定的。近年来电子技术发展很快，在电力生产中的应用越来越广，因此，本书在内容和要求方面作了必要的调整，以体现“教育要面向现代化、面向世界、面向未来”的精神。

整套教材的组织、规划和统稿工作由编委会负责。编委会由以下三人组成：

陈汉秋（负责人）、蔡德厚、颜世仓。

“模拟基础部分”由南京电力高等专科学校张若辉编；“数字基础部分”由江西电力学校陈汉秋编。两个“基础部分”均由东北水电专科学校李德润主审。

“电力专业部分”由成都水力发电学校余祯铭主编（编写第一、二、四章），东北水电专科学校谷树忠参编（编写第三章）。该部分由郑州电力学校刘汉华主审。

“模拟部分”由西安电力学校蔡德厚主编（编写第一、二章），合肥电力学校邓晓霞参编（编写第三、四、五章）。该部分由沈阳电力高等专科学校陈才贤主审。

“数字部分”由南京电力高等专科学校杨志忠编，由山东电力学校张颀主审。

“实践部分”由长春电力学校颜世仓编，由郑州电力学校刘汉华主审。

“课程设计部分”由沈阳电力高等专科学校熊保辉编，由重庆电力学校蒋水薪主审。

在本教材编写过程中，得到中国电力企业联合会教育培训部的大力支持和电力教研会的具体指导。江西电力学校、合肥电力学校、成都水力发电学校、郑州电力学校和大连电力学校承办了模块教材研讨会，并给予热情帮助。在此一并表示感谢。

“电子技术基础”模块式教材是改革试点教材，尚无成功经验可以借鉴，虽经多次讨论和修改，但错误和不妥之处仍难免。我们殷切希望使用本教材的师生提出意见和建议，并恳请广大读者批评指正，以进一步搞好这项试点工作。

电力中等专业学校“电子技术基础”模块式教材编委会

1991年9月

常用符号表

C	进位输出	S	开关
CP	触发器时钟脉冲输入端	S_D	触发器直接置 1 端
Cr	清零	T	周期, T 触发器输入端
D	D 触发器输入	TG	传输门
D_{SR}	右移串行输入	t	时间
D_{SL}	左移串行输入	t_{pd}	平均传输延迟时间
FF	触发器	t_{on}	开通时间
f_{max}	最高工作频率	t_{off}	关断时间
HA	全加器	t_W	脉冲宽度
I_{BS}	临界饱和基极电流	t_{rr}	反向恢复时间
I_{CC}	电源电流	U_{CC}, U_{DD}	电源电压
I_{CS}	集电极饱和电流	U_{CES}	三极管饱和压降
I_{IH}	输入高电平电流	u_I	输入电压
I_{IL}	输入低电平电流	U_{IH}	输入高电平
I_{OH}	输出高电平电流	U_{IL}	输入低电平
I_{OL}	输出低电平电流	U_{NH}	高电平噪声容限电压
J, K	JK 触发器输入	U_{NL}	低电平噪声容限电压
m	最小项	u_O	输出电压
N_O	扇出系数	U_{OH}	输出高电平
OC	集电极开路输出	U_{OL}	输出低电平
OFF	截止态	U_{ON}	开门电平
ON	导通态	U_{OFF}	关门电平
P_{OFF}	空载截止功耗	U_{REF}	参考电压
P_{ON}	空载导通功耗	U_{TH}	阈值电压
Q	触发器的输出	U_{T+}	正向阈值电压、上限触发电平
R, S	RS 触发器输入	U_{T-}	负向阈值电压、下限触发电平
R_I	输入电阻	ΔU	回差电压
R_L	负载电阻	$\times$	任意态
R_{OFF}	关门电阻	$\uparrow$	从低电平向高电平跳变
R_{ON}	开门电阻	$\downarrow$	从高电平向低电平跳变
R_D	触发器直接置 0 端		

目 录

前 言

常用符号表

第一章 数字逻辑基础.....	1
第一节 晶体管开关作用.....	2
第二节 二进制数和BCD码.....	6
第三节 基本逻辑关系.....	8
第四节 逻辑函数的化简.....	12
思考题与习题.....	21
第二章 集成逻辑门电路	25
第一节 TTL与非门电路.....	25
第二节 CMOS 门电路.....	34
第三节 接口电路.....	39
第四节 逻辑门电路的组合.....	40
思考题与习题.....	44
第三章 触发器.....	49
第一节 RS触发器.....	49
第二节 JK触发器.....	54
第三节 D触发器.....	57
第四节 CMOS触发器.....	58
第五节 触发器的应用.....	60
思考题与习题.....	63
第四章 基本数字部件	67
第一节 寄存器.....	67
第二节 计数器.....	70
第三节 译码和数码显示器.....	80
第四节 综合应用举例.....	89
思考题与习题.....	90
第五章 555定时器和数字钟	94
第一节 555定时器及其应用.....	94
第二节 数字钟.....	102
思考题与习题.....	106
附录一 常用半导体器件的主要参数.....	108
附录二 半导体集成电路型号命名方法(GB3430-82)	117
附录三 几种常用TTL和CMOS集成电路的名称、型号及功能.....	118
参考文献	122

第一章 数字逻辑基础

电子电路可分为两大类，一类叫模拟电子电路，另一类叫数字电子电路。电子电路中的信号随时间连续变化的，称为模拟信号。工作于模拟信号下的电子电路称为模拟电子电路，简称模拟电路。例如，在测量温度时，从热电偶得到的电压就是一个模拟信号，因为被测温度是连续变化的，所以电压不会跳变。电子电路中还有一种不连续的突变信号，称为数字信号。例如，用一个电子电路记录生产线上成品的数量时，所处理的信号在时间上和数量上都是不连续的。工作于数字信号下的电子电路称为数字电子电路，简称数字电路。

下面举一实例，使读者对数字电路能有初步了解。

在电力生产中，频率是一个重要的质量指标。如何精确地测量电网的频率呢？这可用数字式频率计来实现。数字式频率计的框图如图1-1(a)所示。

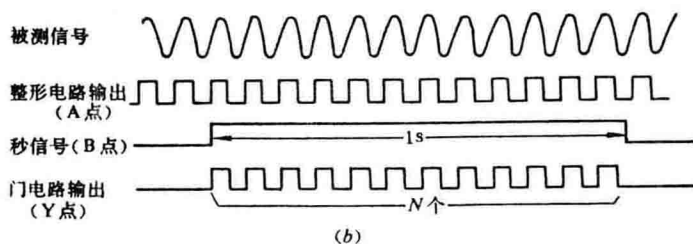
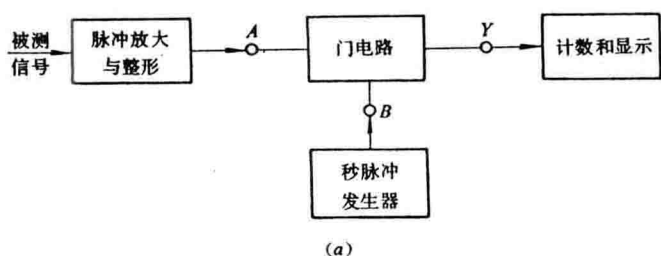


图 1-1 频率的测量

(a) 数字式频率计框图；(b) 数字式频率计的工作波形

被测电压为正弦波，设其频率为 f_x 。脉冲放大和整形电路把被测信号变换为频率相同的矩形脉冲，并将其送到门电路的一个输入端A。门电路用来控制电路的开通和关断，门电路的开和关是受B端的秒脉冲信号控制的。秒脉冲信号是由石英晶体振荡器产生的标准频率经过分频器分频后获得的。门电路在秒脉冲信号的作用下，打开一秒钟，A端的矩形脉冲通过门电路，进入计数和显示电路。计数器累计在一秒钟内矩形脉冲的个数 N ，并在显示器上以数字形式直接显示出来。被测频率 f_x 即等于 N 。

其中各点波形如图1-1(b)所示。

数字式频率计包含有门电路、计数和显示电路、脉冲的产生和整形电路等多种数字单元电路。它们都是本课程要研究的课题。

数字电路有如下一些特点:

(1) 数字信号很简单,只有高电位和低电位两个状态。这两个状态可以方便地利用三极管的截止和饱和来实现,所以三极管在数字电路中,通常工作在开关状态。

(2) 数字电路研究的主要问题是输入状态和输出状态之间的逻辑关系,所以它又称为逻辑电路。它的主要分析工具是逻辑代数。

第一节 晶体管开关作用

在数字电路中,晶体二极管、三极管和MOS管常工作在开关状态。它们在数字信号作用下,时而导通,时而截止,起着接通和断开的开关作用。因此数字电路又称为开关电路。在讨论数字电路前,先介绍这些器件的开关作用。

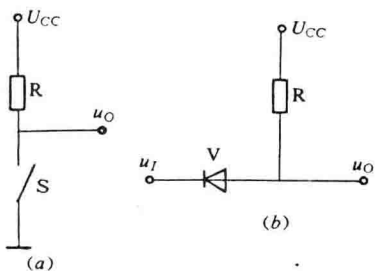


图 1-2 二极管开关电路

(a) 有接点开关电路; (b) 二极管开关电路

一、二极管开关作用

有接点开关具有断开和接通两个稳定状态,如图1-2(a)所示。开关断开时电路中的电流为零, u_o 等于电源电压,输出高电位;开关闭合时, u_o 等于零,输出低电位。

二极管具有单向导电性:在外加正向电压时导通,外加反向电压时截止。它相当于一个受外加电压控制的开关,可以组成如图1-2(b)所示的二极管开关电路。

当输入信号 $u_I = U_{CC}$ 时,二极管截止, $u_o = U_{CC}$;当 $u_I = 0$ 时,二极管导通, $u_o = 0$ 。因此,可以用输入信号电位的高低控制二极管的开关状态,并在输出端得到不同电位的输出信号。

硅二极管的伏安特性曲线如图1-3(a)所示。由图1-3(a)可知,当外加正向电压大于死区电压(约为0.5V)时,管子开始导通,导通后管压降 U_F 基本上保持0.7V不变。工程估算时,伏安特性曲线可简化为折线模型,如图1-3(b)所示,并得到如图1-3(c)和图1-3(d)所示的等效电路。在数字电路分析估算时,常把 $u \geq 0.7V$ 看成硅二极管的导通条件,管子导通后如同一个具有0.7V压降的闭合开关(粗略估算时0.7V也可以忽略);把 $u < 0.5V$ 看成是硅二极管截止条件,管子截止后如同一个断开了的开关。

【例 1-1】 某电路如图1-4(a)所示,已知输入电压 $U_{IL} = 0$, $U_{IH} = 3V$,试画出其等效电路,并计算输出电压 u_o 。

解 当 $u_I = 0$ 及 $u_I = 3V$ 时,二极管均承受正向电压,处于导通状态,如同一个具有0.7V压降的闭合开关,等效电路如图1-4(b)所示。输出电压为

$$U_{OL} = U_{IL} + U_F = 0.7(V)$$

$$U_{OH} = U_{IH} + U_F = 3.7(V)$$

由此例可知,二极管导通时具有正向钳位作用,把输出电压稳定在 $U_I + U_F$ 上。二极管

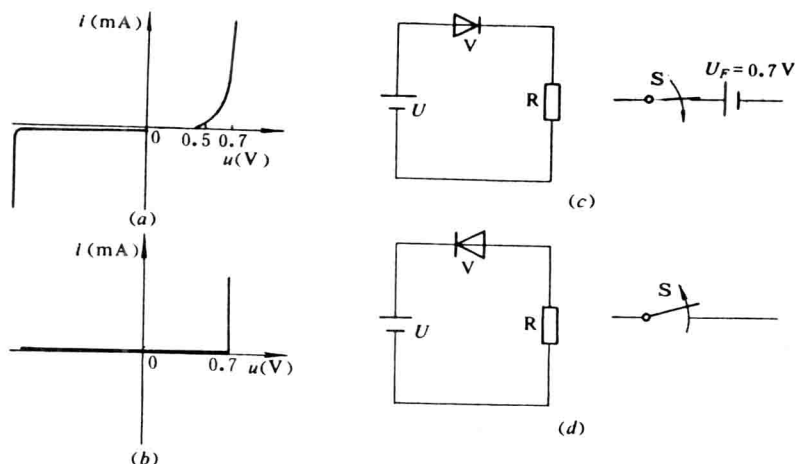


图 1-3 硅二极管开关等效电路

(a) 硅二极管伏安特性; (b) 折线模型; (c) 二极管正向导通的等效电路; (d) 二极管反向截止的等效电路

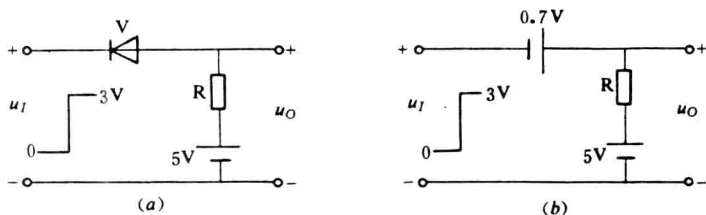


图 1-4 例1-1电路

(a) 电路图; (b) 等效电路

的钳位作用，在数字电路中应用很广。

在数字电路中，电位的高、低常用高、低电平来描述。电位的单位也是伏，但电平不是一个固定的值，有一个允许变化的范围。也可以说，上述电路在输入高电平 U_{IH} 时，输出高电平 U_{OH} ；输入低电平 U_{IL} 时，输出低电平 U_{OL} 。

在动态情况下，也就是二极管两端电压突然反向变化时，电流的变化过程如图 1-5 所示。

由图1-5可见，二极管从截止变为导通和从导通变为截止，都需要一定时间。通常，二极管从导通变为截止的反向恢复时间 t_{rr} 要比从截止变为导通的开启时间来得长。反向恢复时间大约为几个纳秒（ $1\text{ns} = 10^{-9}\text{s}$ ）。

二、双极型三极管开关作用

在数字电路中，三极管不是工作在截止状态就是工作在饱和状态，而放大状态只是在截止和饱和两种状态相互转换的瞬间经过一下。三极管截止，相当于开关断开；三极管饱和，相当于开关接通，所以三极管也可当作一个开关来用。那么，怎样才能控制三极管的截止和饱和呢？下面

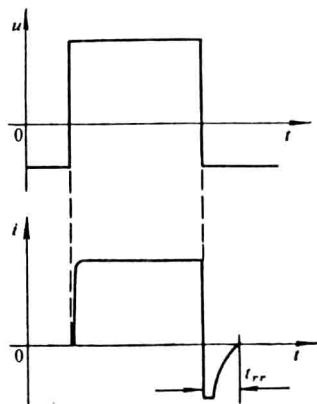


图 1-5 二极管动态特性

我们来讨论这个问题。

1. 截止状态

图1-6(a)所示为三极管开关电路。由硅三极管输入特性可知,其死区电压大约为0.5V。当 $u_{BE} \leq 0.5V$ 时, $i_C = 0$,管子处于截止状态, 工作点位于 Q_C , 如图1-6(b)所示。所以三极管的截止条件就是其发射结压降 $u_{BE} \leq 0.5V$ 。为了使三极管能可靠地工作在截止状态, 常使 $u_{BE} = 0$, 或加反向偏压。这样可以避免由于某种原因(例如干扰)使 u_{BE} 稍有增加时, 造成三极管脱离截止状态的现象。

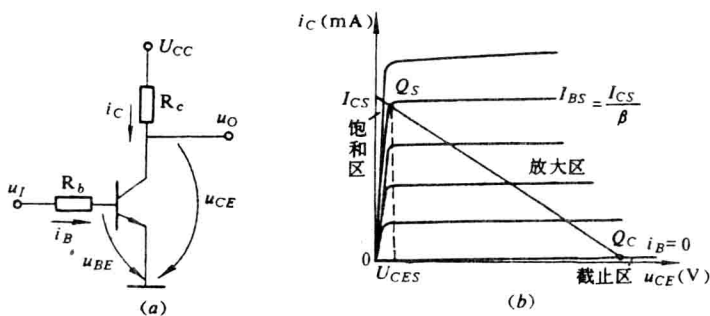


图 1-6 三极管开关工作状态
(a)三极管开关电路;(b)三极管输出特性曲线

三极管处于截止状态时, $i_B \approx 0, i_C \approx 0, u_{CE} \approx U_{CC}$, 如同一个断开的开关。这是它截止时的特点。

2. 饱和状态

当 i_B 增大到 I_{BS} 时, 工作点上移到 Q_S 处, $u_{CE} = U_{CES} \approx 0, i_C = I_{CS}$, 三极管进入饱和区, 继续增大 i_B , 集电极电流不再增大, 如图1-6(b)所示。三极管刚进入饱和区时的基极电流称为基极临界饱和电流 I_{BS} , 饱和时的集电极电流叫集电极饱和电流 I_{CS} 。显然

$$I_{BS} = \frac{I_{CS}}{\beta} \quad (1-1)$$

由于三极管饱和压降 U_{CES} 很小, 所以

$$I_{CS} = \frac{U_{CC} - U_{CES}}{R_c} \approx \frac{U_{CC}}{R_c}$$

代入式(1-1)得

$$I_{BS} \approx \frac{U_{CC}}{\beta R_c} \quad (1-2)$$

三极管的饱和条件就是 $i_B \geq I_{BS}$ 。为了使三极管能可靠地工作在饱和区, 应使 i_B 大于 I_{BS} , i_B 比 I_{BS} 大得越多, 饱和越深, 三极管越不容易离开饱和状态。

三极管饱和时的特点是 $i_C = I_{CS} \approx U_{CC}/R_c, u_{CE} = U_{CES} \approx 0$, 如同一个闭合的开关。

【例 1-2】 在图1-6(a)电路中, 已知 $U_{CC} = 5V, R_c = 1k\Omega, R_b = 10k\Omega$, 管子 $\beta = 50$, 当输入电压分别为3V和0时, 试问三极管处于何种工作状态?

解 1. 分析 $u_I = 3V$ 时, 三极管的状态

三极管集电极饱和电流

$$I_{CS} \approx \frac{U_{CC}}{R_c} = \frac{5}{1} = 5(\text{mA})$$

基极临界饱和电流

$$I_{BS} = \frac{I_{CS}}{\beta} = \frac{5}{50} = 0.1(\text{mA})$$

当 $u_I = 3\text{V}$ 时的基极电流

$$i_B = \frac{u_I - U_{BE}}{R_b} = \frac{3 - 0.7}{10} = 0.23(\text{mA})$$

因为 $i_B > I_{BS}$, 所以三极管已处于饱和状态。这时 $i_C = I_{CS} \approx 5\text{mA}$, 管压降 (即输出电压) $u_{CE} = U_{CES} \approx 0$ 。

2. 分析 $u_I = 0$ 时, 三极管的状态

因为 $u_I < 0.5\text{V}$ 时, 故 $i_B \approx 0$, 三极管处于截止状态。此时, $i_C \approx 0$, $u_{CE} \approx U_{CC} = 5\text{V}$ 。

由此例可知, 只要输入电压的高、低电平控制三极管分别工作在饱和和截止状态, 就可在输出端得到相应的低电平和高电平。

三极管作为开关使用时, 除要求其能可靠的截止和饱和外, 还要求其开关速度快, 即截止状态和饱和状态之间的转换要快。在数字电路中, 三极管从截止到饱和, 或由饱和到截止的转换, 是靠输入脉冲信号来控制的。对于如图 1-7(a) 所示的三极管开关电路, 在输入端加一理想矩形脉冲 u_I 时, 其开关特性如图 1-7(b) 所示。当 u_I 从低电平 U_{IL} 跃变到高电平 U_{IH} 时, 输出电压 u_O 是否随之从高电平 U_{OH} 跃变到低电平 U_{OL} ? 当 u_I 从 U_{IH} 跃变到 U_{IL} 时, u_O 是否随之从 U_{OL} 跃变到 U_{OH} ? 实验表明并非如此, 而是具有如图 1-7(b) 所示的波形。

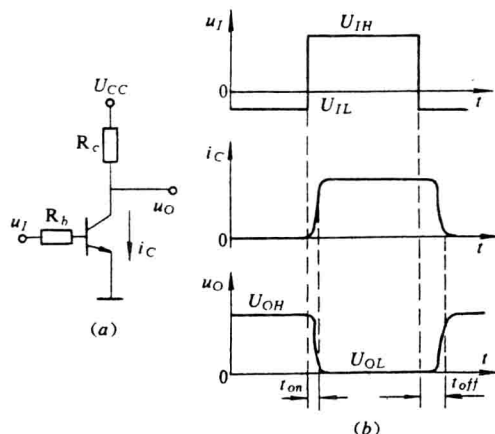


图 1-7 三极管的开关特性
(a) 三极管的开关电路; (b) 三极管的开关特性

输出脉冲 u_O 的下降和上升不象输入脉冲那样陡峭, 它的变化比较缓慢。 u_O 的这种变化, 是由集电极电流 i_C 的变化过程引起的。三极管的开关过程是其内部电荷的建立和消散过程, 均需要一定的时间, 所以集电极电流 i_C 的变化滞后于输入电压 u_I 的变化, 这样, 输出电压 u_O 的变化也要相应地滞后。

三极管从截止到饱和所需的时间称为开通时间 t_{on} , 从饱和到截止所需的时间称为关闭时间 t_{off} 。二者之和称为三极管的开关时间, 一般在几十至几百纳秒范围。三极管的开关时间限制了它作为开关运用的速度, 开关时间越短, 开关速度越高。

三、MOS 管的开关作用

金属—氧化物—半导体场效应管简称 MOS 管, 也可以作为开关元件, 组成如图 1-8 所

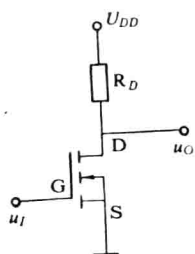


图 1-8 MOS管开关电路

示的开关电路。

MOS管有3个工作区：截止区、可变电阻区和饱和区。图中MOS管是N沟道增强型场效应管。设其开启电压为 $U_{GS(th)}$ 。当 $u_I = u_{GS} < U_{GS(th)}$ 时，MOS管截止，呈高阻状态，阻值在 $10^9 \Omega$ 以上，相当于一个断开的开关。当 $u_I = u_{GS} > U_{GS(th)}$ ，而且 $u_{GD} > U_{GS(th)}$ 时，MOS管工作在可变电阻区，呈低阻状态，阻值 R_{DS} 在 $1k\Omega$ 以下，只要 $R_D \gg R_{DS}$ ，就可把MOS管看成一个闭合的开关。

MOS管是单极型器件，它和双极型三极管不同，其沟道形成和消失所需要的时间可以忽略不计。MOS管的开关时间主要取决于输入回路和输出回路中电容的充、放电时间。

第二节 二进制数和BCD码

1. 二进制数

数字电路中，常常需要对数字信号进行计数，例如，数字式频率计、电子计数器等都离不开计数。日常生活中，人们习惯使用十进制数，十进制数是用10个数码0~9来表示的。如果用一个电子电路来表示一位十进制数，它必须有10个不同的状态，才能和10个数码相互对应。这种电路结构复杂，不经济。因此，在数字电路中一般不直接采用十进制数，而采用二进制数。

二进制数只有0和1两个数码，它的计数规律是“逢二进一”。如 $0+1=1$ ， $1+1=10$ ， $10+1=11$ ， $11+1=100$ ，…。即当本位是1，再加1时，本位就变为0，并向高位进位。这里的10、11、100，显然和十进制数中的“拾”、“拾壹”、“壹百”完全不同，它应读作“壹零”、“壹壹”、“壹零零”。

根据二进制计数规律，二进制数和十进制数的对应关系如表1-1所示。

表 1-1

二进制数和十进制数的对应关系

二 进 制 数	十 进 制 数	二 进 制 数	十 进 制 数
0	0	1 0 0 1	9
1	1(2^0)	1 0 1 0	10
1 0	2(2^1)	1 0 1 1	11
1 1	3	1 1 0 0	12
1 0 0	4(2^2)	1 1 0 1	13
1 0 1	5	1 1 1 0	14
1 1 0	6	1 1 1 1	15
1 1 1	7	1 0 0 0 0	16(2^4)
1 0 0 0	8(2^3)	1 0 0 ... 0(n 个0)	2^n

二进制数中某一位的计数单位又叫做这一位的“权”，它可以写成2的整数次幂的形式，如第0位的权是 $2^0=1$ ，第一位的权是 $2^1=2$ ，第二位的权是 $2^2=4$ ，…，第 n 位的权是 2^n 。

二进制数可以按权展开，表示成以2为底的幂求和的形式。例如，二进制数1101可以表示成

$$1101 = 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0$$

二进制数只有 0 和 1 两个数码，只需用具有两种不同状态的简单电路来表示。例如：三极管工作于开关状态，当其饱和时，输出低电位，用来表示 0；当其截止时，输出高电位，用来表示 1。这种电路简单可靠，不易出错，所以在数字电路中广泛采用二进制数。

为了适应日常需要，常要把二进制数转换为十进制数。二进制数转换成十进制数的方法很简单，只要写出二进制数的权展开式，然后按权相加，就可得到等值的十进制数。为了避免混淆，可用 $()_2$ 表示二进制数，用 $()_{10}$ 表示十进制数。例如：

$$\begin{aligned}(10101)_2 &= (1 \times 2^4 + 0 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0)_{10} \\ &= (16 + 0 + 4 + 0 + 1)_{10} \\ &= (21)_{10}\end{aligned}$$

2. BCD 码

数码不仅可以表示数量的大小，而且还可以表示不同的事物。例如，开运动会时，为了便于识别运动员，给每个运动员编一个数码并写在号码布上。显然，这些号码仅代表不同的运动员，已失去了数量大小的含义。同样，在数字系统中，二进制数码不仅用来表示数量的大小，还常用来表示字母、符号和十进制数码等。在后种情况下的二进制数码不再表示数量的差别，而只是不同事物的代号，我们称它为二进制代码。建立这种代码和字母、符号、十进制数码的一一对应的关系称为编码。

用一组四位二进制码来表示一位十进制数，称作二—十进制码，简称 BCD 码。四位二进制码有 16 种组合，可选取其中 10 种组合代表 0 ~ 9 十个数。编码的方案很多，因此有多种 BCD 码。其中最常用的是 8421BCD 码，如表 1-2 所示。

表 1-2 常用的 BCD 码编码方案

8421BCD 码	十进制数	5421BCD 码	十进制数
0 0 0 0	0	0 0 0 0	0
0 0 0 1	1	0 0 0 1	1
0 0 1 0	2	0 0 1 0	2
0 0 1 1	3	0 0 1 1	3
0 1 0 0	4	0 1 0 0	4
0 1 0 1	5	0 1 0 1	
0 1 1 0	6	0 1 1 0	
0 1 1 1	7	0 1 1 1	
1 0 0 0	8	1 0 0 0	5
1 0 0 1	9	1 0 0 1	6
1 0 1 0		1 0 1 0	7
1 0 1 1		1 0 1 1	8
1 1 0 0		1 1 0 0	9
1 1 0 1		1 1 0 1	
1 1 1 0		1 1 1 0	
1 1 1 1		1 1 1 1	
8 4 2 1	权	5 4 2 1	权

8421BCD 码选取 16 种组合中的前 10 种，即 0000 ~ 1001，其余 6 种，即表中虚线框内的组合是无效的。如果把每组代码都看作一个四位二进制数，则从最高位开始往最低位算，各位的权分别是 8、4、2、1，所以称它为 8421BCD 码。表中还列有 5421BCD 码，其二进制代码的权从左至右依次为 5、4、2、1，因而得名。由表可知，两种 BCD 码所对应的十进制数并不完全相同，如二进制代码 1001 在 8421BCD 码中表示十进制数 9，而在 5421BCD 码中则表示 6。

因此要特别注意，代码只是一个符号，与二进制数的含意不同，两者不能混淆。

第三节 基本逻辑关系

所谓逻辑关系是指“条件”与“结果”之间的关系。基本逻辑关系有3种：与逻辑、或逻辑和非逻辑。能实现基本逻辑关系的电路称为基本逻辑门电路。与之对应的有与门、或门和非门。这些门电路大多具有多个输入端和一个输出端。如果以输入信号作为“条件”，以输出信号作为“结果”，则在输入和输出信号之间存有一定的因果关系，即逻辑关系。

一、与逻辑和与门电路

1. 与逻辑

日常生活中往往会有这种情况，一个事物要得到某种“结果”，必须同时满足全部“条件”，这种“条件”和“结果”之间的关系称为与逻辑。

图1-9是一个照明电路，电灯经过两个开关（总开关和分开关）与电源接通。显然，要使灯亮，必须将两个开关都合上，两者缺一不可。两个开关的状态是“条件”，灯是否亮是“结果”。这种“条件”对“结果”来说是与逻辑关系。

为了详细描述逻辑关系，常把各种“条件”和对应的“结果”列成表格。如用 A 、 B 分别代表两个开关的状态，并设合上为1，断开为0；同时用 Y 代表灯的状态，并设亮为1，不亮为0，填入表中，如表1-3所示。这个表格反映了两个开关可能发生的4种状态，以及灯相应的状态。这种完整地表示全部逻辑关系的表格，称为真值表。由表1-3可见，只有当 A 、 B 均为1时， Y 才为1。

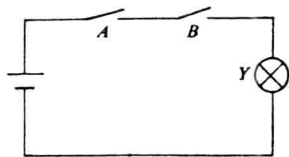


图 1-9 与逻辑关系图

表 1-3 与逻辑真值表

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

与逻辑可以用逻辑表达式表示为

$$Y = A \times B \quad \text{或} \quad Y = A \cdot B \quad \text{或} \quad Y = AB$$

式中： A 和 B 是逻辑变量，表示“条件”；符号“ $\times$ ”或“ $\cdot$ ”表示 A 和 B 进行与运算，也表示逻辑乘； Y 表示逻辑乘的结果。

由表1-3可知，逻辑乘的含意是

$$0 \cdot 0 = 0 \quad 0 \cdot 1 = 0$$

$$1 \cdot 0 = 0 \quad 1 \cdot 1 = 1$$

以上逻辑乘的结果和普通代数的乘法是一样的，但是两者有本质的区别。这里的1和0不表示数量的大小，而是表示两种状态。

2. 二极管与门电路

在数字电路中，实现与逻辑关系的最简单的电路是由二极管组成的与门电路。它的电

路图和逻辑符号如图1-10所示。

图中 A 、 B 为输入信号， Y 为输出信号。输入信号的高电平为 $+5\text{V}$ ，低电平为 0 。该电路可能的输入输出情况是：

(1) 输入 A 、 B 均为低电平(0)。这时 V_1 、 V_2 都处于正向导通状态,若忽略二极管的正向压降,则 $U_Y=0$ 。

(2) 输入 A 为低电平(0)，输入 B 为高电平($+5\text{V}$)。这时 V_1 导通，使 Y 的电位钳制在 0 ， V_2 因受反向电压作用而截止， $U_Y=0$ 。

(3) 输入 A 为高电平， B 为低电平。其工作原理与(2)相同， $U_Y=0$ 。

(4) 输入 A 、 B 均为高电平($+5\text{V}$)。这时 V_1 、 V_2 都截止， Y 点电位与 U_{CC} 相等，即 $U_Y=+5\text{V}$ 。

综上所述，所有输入都是高电平时，该电路输出才是高电平，否则输出就是低电平，所以它是一种与门电路。

如用 1 表示高电平，用 0 表示低电平，则该电路的真值表和表1-3完全相同。

对于多个输入端的与门电路，其逻辑表达式为

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

它的真值表请读者自行列出。

波形图是用来表示逻辑电路输入和输出信号随时间变化的图形,具有形象直观的优点,便于用示波器进行观察。若图1-10(a)所示电路的输入波形如图1-11(a)、(b)所示,则根据与门的逻辑关系,可以画出输出 Y 的波形如图1-11(c)所示。由图1-11可知,只有在 $t_1 \sim t_2$ 、 $t_3 \sim t_4$ 和 $t_5 \sim t_6$ 的时间内, A 、 B 全为 1 ，所以 $Y=1$ ；在其它时间内, A 、 B 中至少有一个为 0 ，所以 $Y=0$ 。

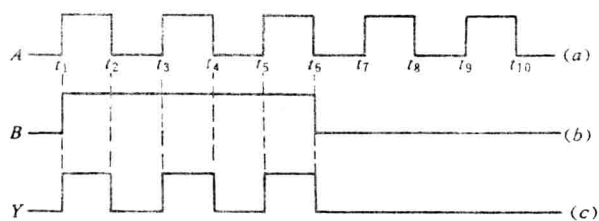


图 1-11 与门输入和输出的波形
(a) 输入 A 波形; (b) 输入 B 波形; (c) 输出 Y 波形

从该图中可以看出，只有在输入信号满足一定条件时，电路输出才为 1 ，否则输出为 0 。它就象门一样，当具备开门的条件时，门开放，让信号通过；如不具备开门条件，门关闭，不让信号通过，所以称它为门电路。

二、或逻辑和或门电路

1. 或逻辑

“在决定一个事物的许多条件中，只要满足一个或一个以上的条件，结果就会发生。”

这种逻辑关系称为或逻辑。

图1-12是由开关 A 、 B 控制的另一种简单的照明电路，其中只要有一个开关闭合（条件具备），灯就会亮，显然，这是一个或逻辑电路。参照前述，其真值表如表1-4所示。

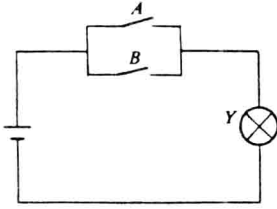


图 1-12 或逻辑关系图

或逻辑表达式为

$$Y = A + B$$

式中“+”表示 A 和 B 进行或运算，也表示逻辑加； Y 是逻辑加的结果。

逻辑加的含义是：

$$0 + 0 = 0 \quad 0 + 1 = 1$$

$$1 + 0 = 1 \quad 1 + 1 = 1$$

应当注意，逻辑加法和普通代数的加法并不完全相同。普通代数二进制加法 $1 + 1 = 10$ ，但逻辑加 $1 + 1 = 1$ 。前者是数量之和，而后者表示“条件”与“结果”之间的逻辑关系。

2. 二极管或门电路

二极管或门电路图及其逻辑符号如图1-13所示。

该电路可能的输入输出情况是：

(1) 输入 A 、 B 均为低电平(0)。此时 V_1 、 V_2 均截止， $U_Y = 0$ 。

(2) 输入 A 为高电平(+5V)， B 为低电平(0)。此时 V_1 导通，使 Y 的电位钳制在+5V， V_2 因反偏而截止， $U_Y = +5V$ 。

(3) 输入 A 为低电平， B 为高电平。其原理与(2)类同， $U_Y = +5V$ 。

(4) 输入 A 、 B 都是高电平(+5V)。此时 V_1 、 V_2 都导通， $U_Y = +5V$ 。

综上所述，输入中只要有一个为高电平，输出就是高电平，所以这是一种或门电路。

如用1、0分别表示高、低电平，其真值表和表1-4完全相同。

若图1-13(a)所示电路的输入波形如图1-14(a)和1-14(b)所示，则根据或门的逻辑关

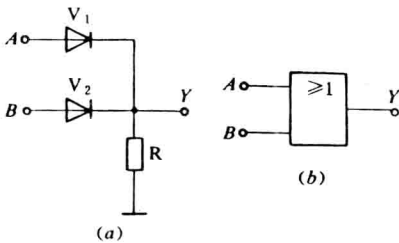


图 1-13 二极管或门
(a) 电路图；(b) 逻辑符号

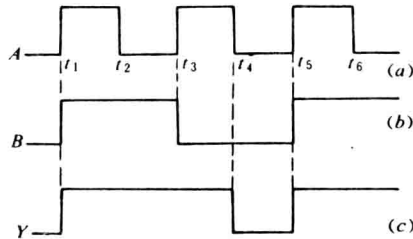


图 1-14 或门输入和输出的波形
(a) 输入 A 波形；(b) 输入 B 波形；(c) 输出 Y 波形