

高等学校教学参考书

数字电子电路

SHUZI DIANZI DIANLU

上海交通大学

薛瑞福

编

马国琳

高等教育出版社

TP3.3

数字电子电路

上海交通大学
薛瑞福 马国琳 编

高等教育出版社

JS403/4

数字电子电路

上海交通大学

薛瑞福 马国琳 编

*

高等教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

北京印刷三厂印装

*

开本 850×1168 1/32 印张 13.25 字数 317,000

1983 年 12 月第 1 版 1984 年 9 月第 1 次印刷

印数 00,001—12,200

书号 15010·0522 定价 2.55 元

序 言

随着科学技术的发展,数字电子技术愈来愈多地应用到各个部门。为了扩大和加深《电工学》课程中的这部分内容,我校于1979年起开设了《数字电子电路》选修课,供非电专业类学生在学习《电工学》课程后选学。

本书是在上述我校《数字电子电路》选修课讲义的基础上编写的。内容从实际出发,着重使读者掌握基本概念和提高分析问题和解决问题的能力。书中的集成电路都是目前常用的型号,按照第四机械工业部1981年编写的《半导体集成电路产品性能汇编》的规范撰写。每章都编入了较多的例题和习题。

本书是按照40到50学时编写的,可作为非电专业选修课教材,教师可根据教学时数及专业要求对内容作适当取舍。

本书由上海交通大学电工及计算机科学系薛瑞福副教授和马国琳副教授合编。第1~5、10章由薛瑞福执笔,第6~9章由马国琳执笔。全书由我校史淦森教授指导并进行润色。全书初稿经西安交通大学吴道悌(1~5章)和王志如(6~10章)老师审阅,提出了很多极其宝贵的修改意见。编者谨致以最诚挚的谢意。

限于编者的水平,书中一定有许多错误和不妥之处,殷切希望读者予以批评和指正。

编 者

1983年4月

目 录

序言

绪论	1
----------	---

第一章 逻辑门电路	9
-----------------	---

1.1 二极管的开关特性	9
1.2 晶体管开关	12
1.3 双极型晶体管的开关速度	16
1.4 或门电路	20
1.5 与门电路	22
1.6 非门电路(反相器)	24
1.7 负载对二极管门电路的影响	27
1.8 或非门电路	29
1.9 与非门电路	31
习题	32

第二章 数制	35
--------------	----

2.1 十进制数	35
2.2 二进制数	36
2.3 二进制数与十进制数的转换	38
2.4 八进制数和十六进制数	40
2.5 八进制、十六进制数与十进制数的转换	42
2.6 二进制(BCD)码	43
习题	44

第三章 逻辑代数	46
----------------	----

3.1 逻辑代数基本公式	46
3.2 维恩图	48
3.3 用真值表证明定律	50
3.4 逻辑函数式的化简	51
3.5 卡诺图	53
3.6 卡诺图化简法	58

3.7 组合电路的分析	65
3.8 组合电路的综合	69
3.9 半加器和全加器	73
3.10 随意态	76
习题	81
第四章 集成逻辑门电路	85
4.1 二极管-晶体管逻辑(DTL)门电路	85
4.2 DTL 电压传输特性	87
4.3 基本的晶体管-晶体管逻辑(TTL)门电路	90
4.4 典型的 TTL 与非门电路	91
4.5 TTL 与非门的电压传输特性	96
4.6 浅饱和型 TTL 电路	99
4.7 T063 型中速双 4 输入端与非门	103
4.8 抗饱和 TTL 电路	104
4.9 TTL 主要参数及测试方法	107
4.10 其他逻辑功能的 TTL 门电路	112
4.11 TTL 逻辑功能的扩展	121
4.12 集电极开路与非门(OC 门)	125
4.13 三状态逻辑 TTL 电路	129
4.14 高阈值逻辑(HTL)电路	133
习题	136
第五章 MOS 集成电路	138
5.1 NMOS 晶体管	138
5.2 PMOS 反相器电路	144
5.3 PMOS 与非门电路	149
5.4 PMOS 或非门电路	153
5.5 PMOS 与门和或门电路	155
5.6 PMOS 与或非门电路	155
5.7 PMOS 同或门和异或门电路	156
5.8 CMOS 反相器电路	157
5.9 CMOS 与非门电路	161
5.10 CMOS 或非门电路	162

5.11 PMOS 三状态电路	163
习题	165
第六章 触发器	167
6.1 触发器的基本逻辑功能	167
6.2 触发器的结构型式	170
6.3 JK 触发器	183
6.4 D 触发器	198
6.5 MOS 触发器	203
6.6 T 触发器及触发器逻辑功能的转换	215
*6.7 分立元件双稳态触发器	220
习题	225
第七章 寄存器和计数器	232
7.1 数码寄存器	232
7.2 移位寄存器	234
7.3 二进制计数器	245
7.4 十进制计数器	260
7.5 其它计数器	275
习题	287
第八章 编码、译码和显示电路	294
8.1 编码	295
8.2 译码器	302
8.3 荧光数码管显示电路	306
8.4 半导体数码管显示电路	312
8.5 液晶数码管显示电路	314
8.6 辉光数码管显示电路	318
8.7 错误码的校验	323
习题	326
第九章 脉冲波形的产生和整形	329
9.1 集成电路单稳态触发器	329
*9.2 分立元件单稳态触发器	342
9.3 施密特触发器	347

9.4 多谐振荡器	353
习题	363
第十章 数-模及模-数转换	367
10.1 概述	367
10.2 模拟信号的数字编码	369
10.3 数-模转换器	374
10.4 模-数转换器	387
10.5 直流数字电压表	405
习题	412
参考文献	414

绪 论

数字电路与模拟电路

随着我国的生产和科学技术发展的需要,在各种工业部门的生产过程中,广泛使用了各种电气自动控制和自动检测装置,并且已使用电子计算机来控制工业生产。无论是检测系统还是控制系统,无非是一些信号的变换和传递。按其信号变量的性质来说,可分为连续信号(模拟信号)和断续信号(数字信号)。

模拟信号是一种连续变化的信号。可以测量模拟信号的量值的测量设备,一般称为线性测量仪器。它的电子线路称为模拟电路。例如用于测量毫伏级正弦电压的晶体管毫伏表,它包含有放大和检波等模拟电子电路,将被测的模拟信号经放大电路加以放大,再通过检波和滤波电路,转换成直流电压,用指针式磁电仪表来指示毫伏值。所以,这种仪表是属于模拟信号的测量设备。

另一种信号是数字信号,它是不连续的或称为离散的。对于任何数字信号,只需判断它的有无,而不在于它的实际数值。有一种不同于模拟电路的电子线路,可以对信号的有或无进行判断,并具有对数字信号计数、存贮等功能。这种电子线路称为数字电子电路,或简称数字电路。因此,我们可以这样来区别数字和模拟设备:数字设备是计数,模拟设备是计量。

数字电路的应用

数字电路目前已经逐渐渗透到模拟电路的领域里来了。举例来说,以往一直依赖于模拟电路的指针式测量仪表,现在逐渐地由数字式仪表所替代。例如数字式电压表、数字式转速表已是常见

的数字测量仪表。数字式仪表优点是可以消除读数误差，可以直接显示出人们习惯的十进数码，并能把这些结果进行记录。因此，在工程技术和科学研究方面获得了广泛的应用。

由于电子电路的集成化，数字电路设备的重量和尺寸都较小。此外，在数字电子技术的基础上发展起来的电子数字计算机具有高速的数字信号处理的功能。因此，在火箭、飞机导航等各种测量和控制方面，数字技术大大发挥其作用。数字技术应用到医学电子学、工业过程控制、火车控制、金属加工、工厂生产的监控、电力传输和配电的中央控制、机床加工控制等方面，可使测量、控制、加工的质量大为提高。

数字技术具有这样多的优点，因而使用广泛；但是，它并不能完全替代模拟设备。有些系统中，既有数字信号又有模拟信号。例如，电视机中伴音是一种模拟信号，它的信号振幅或者频率的变化范围是很宽的；而扫描电路中的同步信号却是一种不连续的数字信号。

逻辑电路

各种数字设备的电路中，往往要用许多电子器件来构成复杂的电路。电路虽然复杂，仔细研究一下，这些复杂的电路都是由几种基本的逻辑电路所组成，即使是非常复杂的电子数字计算机也是如此。所谓“逻辑”，是指事物中各种状态之间具有一定的相互关系，即具有一定的规律性。逻辑电路就是输出信号与输入信号之间有着一定的逻辑关系的数字电路。逻辑电路的输入和输出信号只有两种变化的状态，即开和关，故称开关电路。我们用数字1表示电路闭合(通)，用0表示电路断开(断)。

逻辑电路中常用的几种术语如表 0-1 所示，它们表示事物相互对立的两种状态。

表 0-1 逻辑电路常用术语

一种状态	开	通	1	高	真	是	有脉冲
另一种状态	关	断	0	低	假	否	无脉冲

为了便于研究逻辑电路,往往用电平的高低来表示逻辑状态。若规定高电平为逻辑 **1** (又称 **1** 状态),低电平为逻辑 **0** (又称 **0** 状态),我们称为正逻辑;反之,则称负逻辑。在本书中,除特殊说明外,一般都使用正逻辑,表 0-1 中的术语是以正逻辑定义的。

逻辑电路中不同时刻逻辑状态的变化,可用电平波形图来表示,如图 0-1 所示。 V_1 是高电平,即 **1** 状态, V_2 是低电平,即 **0** 状态。图中的波形是理想化的。它们的电平变化不是从 **1** 变到 **0**,就是从 **0** 变到 **1**。这种突变的电平变化波形通常称为脉冲波形。

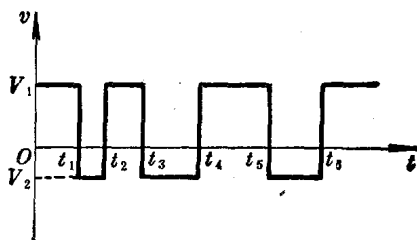


图 0-1 理想化的脉冲波形

复杂的逻辑电路是由基本的逻辑电路所组成。由于电路的接法不同,以致形成不同性能的两大类逻辑电路:组合电路和时序电路。组合电路的输出是取决于当时的输入变量(信号),当输入变量一旦变化或消失,输出也随之变化或消失;而时序电路则有记忆功能,它的输出取决于输入信号先前的状态,也就是说,输入端输入了信号以后,即使输入信号被除去,在输出端仍旧能保持原来的输出,而且一直保持到下一个信号输入时为止。

数字电路应用举例

为了说明在测量系统和控制系统中所使用的数字电路包含哪些基本环节,现举几个例来说明。

一、数字式测速系统

电动机转速的测量系统的框图如图 0-2 所示。

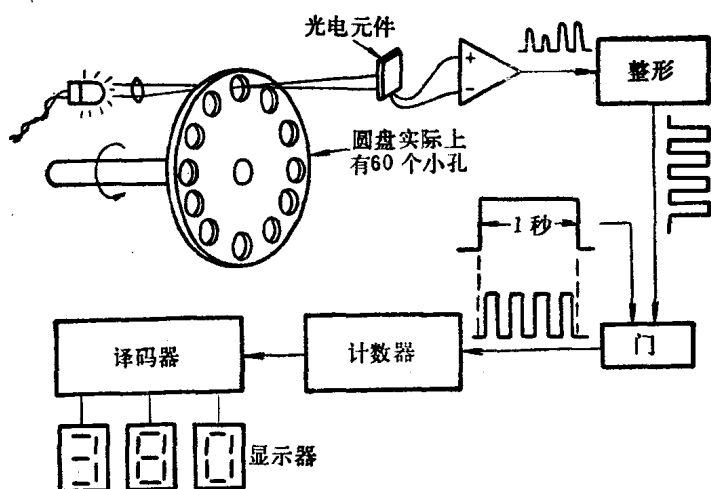


图 0-2 数字式测速系统

电动机(图中未画出)轴上装一圆盘,在圆盘的圆周上开了一圈小孔,共有 60 个。为简便起见,图中只画了 12 个。当轴转动时,光线透过每个小孔照射到光电元件(将光信号变换成电信号的元件)一次,光电元件就发出一个电脉冲。电动机转一圈,就发出 60 个电脉冲。电脉冲信号往往较小,波形也不规则,需用整形电路将光电脉冲整形成一串矩形脉冲,通过门电路输入计数器进行计数。为了测出电动机的转速(每分钟转数),在门电路另一输入端送入一个持续时间为一秒的矩形脉冲,当此脉冲为高电位时,光电整形脉冲可以通过门电路而进入计数器。经过了一秒钟以后,矩

形脉冲变为低电平,光电脉冲就通不过,相当于门电路关闭。这时,计数器所记录的数目便是电动机每秒转数乘上 60 (脉冲数),等于电动机每分钟的转数。经过译码器、数字显示器等部件的作用,就可显示出电动机每分钟的转数,即转速。

二、数字式振动测量系统

机械系统中的振动速度的测量,是将机械振动量经过传感器转变成电量——电动势 e , $e = E_m \sin \omega t$, e 值一般很小,需经过放大器放大,再经过检波和滤波电路,得到一个直流电压 V ,它的大小便正比于机械振动的速度。

与振动速度成正比的电压 V 是一个连续变化的模拟量,它不同于上面第一个例子中断续的数字量,而需要用—个环节将模拟量转换成数字量,然后再用数字显示器显示出速度来。这个转换装置称为模-数转换装置(A/D 转换)。

数字式振动测量系统方框图如图 0-3(a)所示,它主要由传感器、 A/D 转换器、计数器、译码器、数字显示器等组成,其中 A/D 转换器部分是图 0-3(a)的虚线框内容。

这里所采用的 A/D 转换器,是利用锯齿波电压发生器产生的线性电压和输入模拟电压相比较而进行计数的装置,构成了简单的 A/D 转换器。这种 A/D 转换器由五个部分所组成:线性斜坡电压发生器、标准频率脉冲发生器、电压比较器、门电路和触发器。线性斜坡电压发生器能产生一种电压,它是从 0 开始按一定的斜率随时间而上升,如图 0-3(b)所示。在进行测量时,首先给触发器一个起始脉冲,紧接着触发器动作,一方面将门电路开启,让标准频率脉冲发生器的电脉冲通过门电路加到计数器进行计数,另一方面使线性斜坡电压发生器工作。当相应于被测振动速度的电压 V 与随时间上升的线性斜坡电压相等时,电压比较器就发出一个脉冲给触发器,使触发器动作,将门电路关闭,计数器就停止

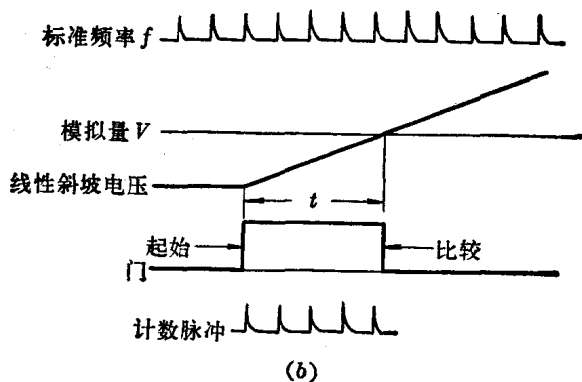
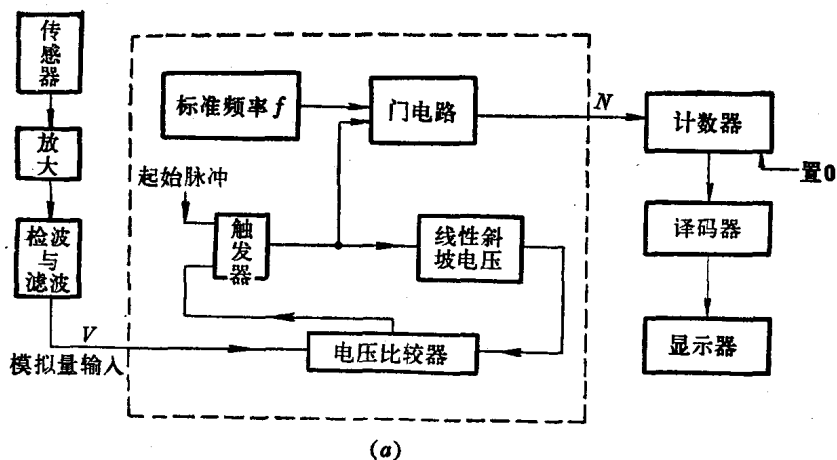


图 0-3 数字式振动测量系统:
(a) 方框图; (b) 波形图

计数,并使线性斜坡电压发生器的电压返回零,准备为下一次测量之用。

从门电路开启到关闭这一段时间 t 内,计数器所记录的脉冲数 N 应等于:

$$N = ft$$

f 为标准频率脉冲发生器的频率。另外,线性斜坡电压发生器的电

压波斜率 $\operatorname{tg} \alpha$ 是固定值,因而

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{V}{t}$$

于是

$$N = fV \frac{1}{\operatorname{tg} \alpha}$$

从上式可知,计数器所记录的脉冲数 N 与被测模拟量 V 成正比,因此振动速度就得以测量了。

三、简易数控机床

数字控制一般简称为数控。数控是指把各种机械(例如车床、铣床、气割机等)所要求的尺寸和加工程序(指令)以数字形式给定的一种新的控制方式。

现以图 0-4 所示的简易数控机床为例来说明数控的逻辑关系。机床工作台的移动是由步进电动机驱动丝杆而达到的,每输送给步进电机一个脉冲,电动机就旋转一定角度,工作台也就向一个方向移动一定的距离。例如要使工作台移动相当于步进电机输入 100 个脉冲的位移,我们先在拨码盘拨上 100,计数器就被置数 100。当指令译码器发出加工指令到门 1 的输入端,脉冲源就通过

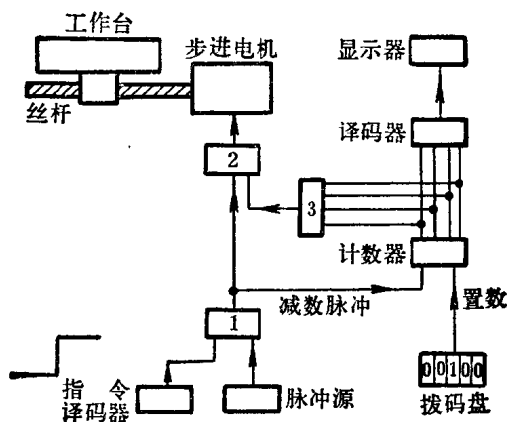


图 0-4 简易数控机床控制逻辑图

门 1 输出脉冲。脉冲一方面通过门 2 加到步进电动机,使电动机转动,丝杆带动工作台移动;另一方面加到计数器进行减法运算,每输入一个脉冲,计数器原来贮存的 100 数就减去 1,随着脉冲的不断输入,计数器数字不断减少,一直减到 0 时,门 3 就输出信号将门 2 封闭,步进电动机立即停止。这时步进电动机总共旋转了 100 个脉冲所对应的角度,即工作台移动了所要求的距离,于是这个加工工序就结束。

为不使脉冲源的脉冲继续经过门 1 进入计数器,门 3 的输出还应使指令译码器为低电平,封闭与门 1。为简单叙述起见,图中没有画出这部分的线路。

从上面三个例子可以看到,无论是测量系统还是控制系统,在工作过程中往往要使用一些逻辑元件和逻辑部件,如门电路、计数器、译码器等。后面我们将逐章讨论这方面的内容。

第一章 逻辑门电路

自动控制系统中的开关电路(包括继电器、接触器及其它开关电器所构成的电路)、数控装置和电子计算机中,逻辑门电路的应用极为广泛。逻辑门电路有几个输入信号端和一个输出信号端,它们之间存在着一定的逻辑关系。复杂的开关电路是由几种基本的逻辑门电路所构成。基本逻辑门电路有“或”、“与”和“非”门电路,这些电路一般是由晶体二极管、三极管所组成,它们都工作在开关状态。

1.1 二极管的开关特性

二极管具有单向导电性。当阳极与阴极之间加上正向电压时,二极管导通,管压降较小,硅二极管的管压降一般为 $0.7V$ 。因此,这时的二极管相当于一个压降为 $0.7V$ 的闭合开关,其等效电路如图 1-1(a)所示。若阳极与阴极之间加以反向电压,则二极管截止,反向电流极小,硅管反向电流以纳安(nA)数量级来计算,锗管

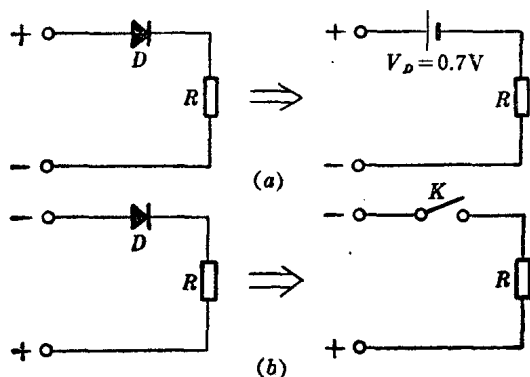


图 1-1 硅二极管的等效开关电路:
(a) 正向导通;(b) 反向截止