

高等学校试用教材

数字电子技术基础

(第二版)

电子技术基础 II

清华大学电子学教研组 编

阎石 主编

高等教育出版社

高等学校试用教材

数字电子技术基础

电子技术基础 II

清华大学电子学教研组 编

阎石 主编

高等教育出版社

内 容 简 介

本书是参照高等学校工科基础课电工、无线电类教材编写会议于1977年11月所拟订的“电子技术基础”教材编写大纲和各兄弟院校对该大纲所提的修改意见编写的。本书第一版分上、下册出版。考虑到教学上的方便,将教学大纲中不要求的第八章(数字电路中元、器件选择及抗干扰问题)、第九章(数字电路应用举例)删去,合并成一册作为第二版出版。本书内容有:门电路、数字电路的逻辑分析、组合逻辑电路、时序逻辑电路、脉冲波形的产生和整形、MOS集成电路及数模和模数转换等七章。书中各章均附有例题、思考题和习题,并有小结。

本书可作为工科院校自动化类、电力类及其他相近专业“电子技术基础”课程的教材,亦可供有关人员作为学习数字电子技术的参考用书。

本书责任编辑 张志军

高等学校试用教材
数字电子技术基础

技术基础 II
清华大学电子学教研组编
阎石主编

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 16.75 字数 400,600

1981年9月上册第1版 1983年4月下册第1版

1984年9月第2版(合订本)1986年2月第2次印刷

印数 54,101—80,400

书号 15010·0616

定价 3.00 元

前 言

这套教材是参照高等学校工科基础课电工、无线电类教材会议在 1977 年 11 月制定的“电子技术基础”(自动化类)编写大纲和各兄弟院校后来对该大纲提出的修改意见编写的。以“模拟电子技术基础”和“数字电子技术基础”两书出版。本书是其数字电子技术基础部分。全书共有九章,分为上、下两册。上册包括门电路、数字电路的逻辑分析、组合逻辑电路、时序逻辑电路及脉冲波形的产生和整形等五章。这是数字电路的基本部分。下册包括金属-氧化物-半导体集成电路、数模和模数转换、数字电路中的若干实际问题以及综合读图练习等四章,作为选讲部分。在安排教学内容时,可以视具体要求和学时的多少,作必要的增删。

在处理不断出现的新器件和基本内容的矛盾时,我们采取的措施是:以小规模和中规模集成电路为主来组织内容,并适当介绍大规模集成电路;而在基本数字脉冲单元方面,则仍以分立元件为主。

考虑到目前的数字电子技术课程多半安排在模拟电子技术课程之后,所以在用到模拟电路中的有关内容时,就直接作为结论加以引用了。

本书是由清华大学电子学教研组的同志们集体编写的,其中第一章由金国芬、阎石执笔,第二章由余孟尝执笔,第三章由赵佩芹执笔,第四、六章由许道荣执笔,第五章由李大义执笔,第七章由周明德执笔,第八章由吴年予执笔,第九章由赵佩芹、张乃国执笔,阎石同志担任主编。全部编写工作都是在教研组主任童诗白教授亲自组织与具体指导下完成的。

在本教材的整理和定稿过程中,承许多兄弟院校的老师对征

求意见稿提出宝贵意见。审稿会上,在主审单位西安交通大学沈尚贤教授的主持下,华中工学院、南京工学院、浙江大学、山东工学院、昆明工学院、东北工学院、合肥工业大学、贵州工学院、上海交通大学、天津大学、华北电力学院、哈尔滨工业大学、吉林工业大学、大连工学院、重庆大学、湖南大学、太原工学院、华南工学院、同济大学、成都科技大学等兄弟院校的老教师们仔细阅读了原稿,指出许多错误和欠妥之处。在评审和复审过程中,又经沈尚贤教授和西安交通大学电子学教研室胡瑞雯、林雪亮、古新生等同志写出详细的修改意见,在此谨致以诚挚的谢意。

由于我们对先进的数字电子技术了解不够,本教材又缺乏一定的教学实践,虽然已经根据兄弟院校老师们的意见对征求意见稿做了修改,但必然还存在不少缺点和错误,殷切期望各方面的读者能给以批评和指正。

编 者

1981年1月

说 明

本书原分上、下册出版。考虑到教学上的方便,同时考虑到第八章(电子电路中元件的选择和抗干扰问题)和第九章(数字电路应用举例)的内容不在教学大纲的要求之内,因此决定将第一至第七章及附录合印成一册出版。

编 者

1984年9月

目 录

绪论	1
----------	---

第一章 门 电 路

1.1 半导体二极管的开关特性及开关参数	6
1.1.1 二极管的开关特性	6
1.1.2 二极管的反向恢复时间	8
1.1.3 二极管的开关参数	10
1.2 半导体三极管的开关特性及开关参数	11
1.2.1 三极管的三种工作状态——截止、放大与饱和	11
1.2.2 三极管的开关时间	15
1.2.3 三极管的开关参数	18
1.3 反相器	19
1.3.1 反相器的工作原理	19
1.3.2 反相器的带负载能力及抗干扰能力	21
1.3.3 反相器的动态分析	24
1.4 分立元件门电路	28
1.4.1 二极管与门	30
1.4.2 二极管或门	32
1.4.3 非门、与非门、或非门	33
1.5 TTL 与非门的工作原理	35
*1.5.1 集成电路的元件	36
1.5.2 TTL 与非门的典型电路及其工作原理	42
1.6 TTL 与非门的电压传输特性	45
1.6.1 对特性曲线的分析	45
1.6.2 输入信号噪声容限	48
1.6.3 温度及电源电压对电压传输特性的影响	50
1.7 TTL 与非门的输入特性和输出特性	51
1.7.1 TTL 与非门的输入特性	52
1.7.2 TTL 与非门的输出特性	56

小结和补充	59
1.8 TTL 与非门的动态特性	60
1.8.1 TTL 与非门的传输时间	60
1.8.2 TTL 与非门的动态尖峰电流	61
小结	64
1.9 TTL 与非门的主要指标	64
1.10 TTL 与非门的改进形式	67
1.10.1 有源泄放电路	68
1.10.2 抗饱和电路	70
1.11 TTL 门电路的其他类型	72
1.11.1 与或非门	73
1.11.2 异或门	74
1.11.3 集电极开路与非门	75
1.11.4 三态输出与非门	77
1.11.5 扩展器	80
1.12 高阈值集成电路	82
1.13 射极耦合逻辑电路	84
1.13.1 射极耦合逻辑电路的工作原理	84
1.13.2 射极耦合逻辑电路的主要特点	89
1.14 注入逻辑电路	91
1.14.1 注入逻辑电路的工作原理	92
1.14.2 注入逻辑电路的主要特点	96
本章小结	98
参考文献	100
思考题和习题	101

第二章 数字电路的逻辑分析

2.1 逻辑代数中三种基本的运算	107
2.2 逻辑函数及其表示方法	108
2.2.1 逻辑函数	108
2.2.2 逻辑函数的表示方法	109
2.3 逻辑函数和逻辑图	111
2.3.1 门电路的逻辑表达式与真值表	111

2.3.2 逻辑函数与逻辑图	116
2.4 逻辑代数的基本公式和常用公式	118
2.4.1 基本公式	118
2.4.2 关于等式的若干规则	121
2.4.3 若干常用公式	123
2.5 逻辑表达式的化简	124
2.5.1 化简的意义和最简的概念	124
2.5.2 逻辑表达式的化简方法	127
2.5.3 最简的与非-与非表达式	130
2.5.4 最简的与-或-非表达式	133
2.6 逻辑函数的图形化简法	135
2.6.1 逻辑函数的卡诺图表示法	135
2.6.2 卡诺图化简法	141
2.6.3 具有约束的逻辑函数的化简	146
本章小结	149
参考文献	151
思考题和习题	151

第三章 组合逻辑电路

3.1 概述	156
3.2 编码器	158
3.2.1 二进制编码器	158
3.2.2 二-十进制编码器	160
3.3 译码器	162
3.3.1 二进制译码器	162
3.3.2 二-十进制译码器及显示电路	169
3.4 数码比较器	186
3.4.1 同比较器	187
3.4.2 大小比较器	188
3.4.3 中规模集成四位数码比较器	189
3.5 全加器	193
3.5.1 半加器	193
3.5.2 全加器	194

3.5.3 逐位进位加法器	196
*3.6 组合逻辑电路中的竞争冒险	197
3.6.1 产生竞争冒险的原因	197
3.6.2 消除竞争冒险的方法	199
本章小结	202
参考文献	203
思考题和习题	203

第四章 时序逻辑电路

4.1 概述	206
4.2 触发器	208
4.2.1 触发器的类型及描述其逻辑功能的方法	209
4.2.2 触发器的几种常见结构	214
4.2.3 集成单元触发器的实例	226
4.2.4 不同类型触发器之间的转换	234
*4.2.5 触发器的脉冲工作特性	237
小结	240
4.3 寄存器	241
4.3.1 最简单的寄存器	242
4.3.2 移位寄存器	244
4.4 计数器	249
4.4.1 二进制计数器	249
4.4.2 十进制计数器	259
小结	270
4.4.3 N 进制计数器	272
*4.4.4 移位寄存器型计数器	273
*4.4.5 循环码计数器	280
4.4.6 计数器的自启动问题	282
*4.5 顺序脉冲发生器	282
4.6 时序逻辑电路的设计	285
4.6.1 同步时序逻辑电路的设计	286
*4.6.2 异步时序逻辑电路的设计	292
小结	301

本章小结	301
参考文献	302
思考题和习题	303

第五章 脉冲波形的产生和整形

5.1 脉冲振荡器	308
5.1.1 集基耦合多谐振荡器	309
5.1.2 射极耦合多谐振荡器	315
5.1.3 TTL 与非门基本多谐振荡器	316
5.1.4 RC 环形多谐振荡器	321
5.1.5 石英晶体多谐振荡器	325
5.2 单稳态触发器	327
5.2.1 单稳电路的基本形式	327
5.2.2 射极耦合单稳电路	332
5.2.3 TTL 与非门微分型单稳电路	333
5.2.4 TTL 与非门积分型单稳电路	336
5.3 施密特触发器	338
5.3.1 TTL 与非门施密特触发器	339
5.3.2 分立元件施密特触发器	341
5.4 分立元件触发器	343
5.4.1 分立元件触发器的静态分析	343
5.4.2 分立元件触发器的状态转换	346
本章小结	350
参考文献	351
思考题和习题	351

第六章 MOS 集成电路

6.1 MOS 管的开关特性	357
6.1.1 MOS 管的基本工作原理	357
6.1.2 MOS 管的开关参数	364
小结	366
6.2 MOS 反相器	367

6.2.1 电阻负载 MOS 反相器	367
6.2.2 有源负载 MOS 反相器	371
小结	379
6.3 MOS 门电路	379
6.3.1 与非门	379
6.3.2 或非门	383
6.3.3 与或非门	384
6.3.4 异或门及同或门	384
6.3.5 驱动器	386
6.3.6 三态驱动器	388
6.3.7 CMOS 传输门和模拟开关	389
6.4 MOS 触发器	392
6.4.1 基本 RS 触发器	392
6.4.2 维持阻塞触发器	393
6.4.3 主从触发器	393
6.5 动态 MOS 电路	399
6.5.1 动态 MOS 反相器	399
6.5.2 动态移位寄存器单元	401
6.5.3 动态移位寄存器	402
小结	403
*6.6 半导体存储器	403
6.6.1 只读存储器(ROM)	404
6.6.2 可编程阵列(PLA)	410
6.6.3 随机存取存储器(RAM)	412
6.6.4 电荷耦合器件(CCD)	423
本章小结	428
参考文献	430
思考题和习题	431

第七章 数模和模数转换

7.1 概述	435
7.2 D/A 转换器	437
7.2.1 权电阻 D/A 转换器	437

7.2.2	<i>T</i> 型电阻 D/A 转换器	439
7.2.3	权电流 D/A 转换器	445
7.2.4	电容型 D/A 转换器	448
7.2.5	D/A 转换器中的模拟开关	453
*7.2.6	具有双极性输出的 D/A 转换器	459
7.2.7	D/A 转换器的主要技术指标	461
*7.2.8	集成单元 D/A 转换器举例	462
7.3	A/D 转换器	469
7.3.1	A/D 转换的一般步骤与采样定理	469
7.3.2	采样-保持电路	473
7.3.3	直接 A/D 转换器	475
7.3.4	间接 A/D 转换器	487
7.3.5	A/D 转换器的主要技术指标	493
*7.3.6	集成单元 A/D 转换器举例	493
本章小结		497
参考文献		499
思考题和习题		499
附录 I 国产半导体集成电路型号命名方法		501
附录 II 数的进制及其转换		504
附录 III 二进制数在机器中的表示方法(关于原码、补码和反码)		510
附录 IV 几种常用的编码		514

绪 论

数字电路和模拟电路 随着电子技术的迅速发展, 新型的电子器件和电路层出不穷。因此, 电子电路的种类也与日俱增。为了便于理解和掌握这些电子电路, 可以把它们划分为两大类, 一类叫做数字电子电路, 另一类叫做模拟电子电路。

所有电子电路中的工作信号, 不外乎数字信号和模拟信号这两种类型。所谓数字信号, 是指那些在时间上和数值上都是离散的信号。一方面, 它们的变化在时间上是不连续的, 总是发生在一系列离散的瞬间; 另一方面, 它们的数值大小和增减变化, 都采取数字的形式。我们把工作于数字信号下的电子电路, 称为数字电子电路, 或简称为数字电路。

例如我们用一个电子电路去记录从一条自动生产线上输出的零件数量, 每生产出一个零件时, 就给电子电路一个信号, 使之记入“1”, 而平时加给电路的信号是零, 所以不记数。可见, 零件数目这个量就是一个数字信号, 它的变化在时间上和数量上都是不连续的。

与此同时, 我们把除开数字信号以外的所有形式的信号, 统称为模拟信号, 并将工作于模拟信号下的电子电路, 统称为模拟电子电路, 也简称做模拟电路。由于模拟信号的幅度变化必然是连续的, 所以信号的幅度可以取变化过程中的任何一个数值。

例如, 从热电偶得到的电压信号, 就是一个模拟信号, 因为在任何情况下, 被测的温度都不可能发生突跳, 所以这个电压信号的变化必然是连续的。而且, 这个电压信号的任何一个数值, 都是有具体物理意义的, 即表示一个相应的温度。

数字电路的特点 用数字信号来表示自然界中的物理量(包

括模拟量),我们早就习以为常了。不过,这里所使用的不是通常的十进制,而是二进制(包括用二进制构成的其他进制)。

在二进制数列中,每一位只有0和1两种可能的状态,而相邻两位之间的关系是逢二进一。因为二进制比较简单,在数字电路中有其独特的优点,所以在数字电路中得到了普遍的应用。下面要讲到的数字电路的特点,都和选用二进制有着密切的联系。

首先在电路结构方面,数字电路的基本单元比较简单(这里都是相对于线性集成电路基本单元而言的),而且对元件的要求不太严格。因为对于二进制的每一位来讲,只要能区分开0和1(或者叫是和否;真与伪;有和无)就足够了,所以允许电路元件和电源的参数有较大的误差。

我们已经知道,三极管具有截止和饱和导通这样两种截然不同的状态,因而就可以利用三极管很方便地作成数字电路的基本单元。例如,可以用三极管截止时输出的高电平表示1状态,而用饱和导通时输出的低电平表示0状态。

同时,尽管每个单元只有两个状态,而且每个状态又允许有比较大的误差,但是可以利用增加二进制数位数的方法,使数字电路达到很高的精度。而在模拟电路中,为了提高放大电路的精度,不仅需要提高元件的精度和电源的稳定度,而且往往还要选用比较复杂的电路。

由于电路简单,又允许元件有较大的分散性,就使得我们不仅可以把为数众多的基本单元制作在同一硅片上,同时又能达到工业产品所要求的成品率。

因为集成电路具有使用方便、可靠性高、价格低廉等一系列至为重要的优点,所以数字集成电路的研制成功和成批生产,极大地推动了数字电路的应用。

其次,数字电路中所研究的问题和使用的分析方法,也与模拟

电路不同。

在模拟电路中，主要研究的是微弱信号的放大以及各种型式信号的产生、变换和反馈等；而在数字电路中，重点在于研究各个基本单元的状态(0 或 1)之间的相互关系，也就是通常所说的逻辑关系。为了分析这些逻辑关系，需要使用一套新的分析方法，其中包括逻辑代数、真值表、卡诺图、特性方程以及状态转换图等。

最后，在电路的功能上，数字电路也有它独到之处，这就是除了可以对信号进行算术运算以外，还能够进行逻辑推演和逻辑判断，即具有一定的“逻辑思维”能力。正是由于数字电路同时兼备了这样两种功能，才使得现代电子计算机的制造成为可能。

因为任何一个数字电路的输出信号与输入信号之间都有一定逻辑关系，所以本书中有时也把数字电路叫做逻辑电路。由于二进制算术运算的规律实际上也可以看作是一种特定的逻辑关系，所以我们把算术运算电路也作为一种逻辑电路来对待，而不再对它另作讲述。

数字电路的应用 目前，数字电路的应用已极为广泛。在数字通讯系统中，可以用若干个 0 和 1 编制成各种代码，分别代表不同的含意，用以实现信息的传送。

利用数字电路的逻辑功能，可以设计出各式各样的数字控制装置，用来实现对生产过程的自动控制。

近代的量测仪表中，也日益普遍地采用了数字电路。一方面可以利用数字电路对量测结果进行分析处理，同时又可以用我们所习惯的十进数码形式，把这些结果及时地显示出来。

在数字电子技术的基础上发展起来的电子数字计算机，是当代科学技术最杰出的成就之一。今天，电子计算机不仅成了近代自动控制系统中不可缺少的一个组成部分，而且几乎渗透到了国民经济和人民生活的一切领域之中，并在许多方面引起了带根本

性的变革。

可以相信,随着我国集成电路技术的进一步发展和完善,数字电子技术的应用必将得到更快的发展和普及。

必须指出,数字电路的应用同样也有它的局限性。因为在实现工业自动化过程中,需要量测和控制的信号大部分都是模拟信号,这就给数字电路的使用带来了很大的不便。为了使用数字电路处理这些模拟信号,必须首先把它们转换为数字信号(称为模-数转换),才可送给数字电路去处理。同时,还要把得到的数字结果,再转换成相对应的模拟信号(称为数-模转换),送给控制对象。这样做的结果,不但导致了整个设备的复杂化,而且往往由于转换电路的精度所限,使数字电路本身可以达到的高精度失去了意义。所以,采用数字电路是否合理,应视具体情况而定。尽管如此,由于数字电路具有前面所说的一系列优点,所以用数字电路去处理模拟信号的方法,仍然越来越多地被用于各种量测和控制系统当中。

数字电路和脉冲电路 所谓脉冲信号,最初是指那些在短促的时间里突然作用的断续信号。但从广义上讲,除了正弦波和由若干个正弦分量合成的信号以外,都可以算是脉冲信号。因此,又可以从信号的波形上把电子电路分成两大类,即工作在脉冲信号下的脉冲电路,和工作在正弦信号(包括由若干个正弦分量合成的信号)下的线性放大电路。

当数字电路的基本单元不断地在 1 和 0 两种状态之间快速转换时,输出信号的波形将是一系列的矩形波。由于这种矩形波也是一种脉冲信号(我们把它叫做数字型脉冲信号),所以从这个意义上说,数字电路也是一种脉冲电路。基于这个原因,我们在以前编写的一些教材中,曾经把脉冲电路和数字电路合在一起,统称为脉冲数字电路。

然而,在研究数字电路时的着重点,和在研究其他类型的脉冲电路时是根本不同的。在一般的脉冲电路中,脉冲的波形是研究的重点,而在数字电路中,重点始终放在研究单元之间的逻辑关系上。当然,为了保证数字信号有足够的幅度和必要的转换速度,有时也需要对信号的波形提出一定的要求,这些将在第五章中具体讨论。

近年来,数字电路的应用有了长足的进展。一方面它在电子电路中所占的比重越来越大,内容也更加丰富;另一方面有关数字电路的一些特殊规律,也正在实践的过程中逐渐地被总结出来,所以把有关数字电路的基础知识编为独立的教材,就显得十分必要。

本书将就数字电路基本单元和典型数字电路的工作原理、数字电路的分析和设计方法、时钟脉冲的产生和整形、数字-模拟和模拟-数字转换以及设计和运用数字电路的一些实际问题等,向读者作系统的介绍。