

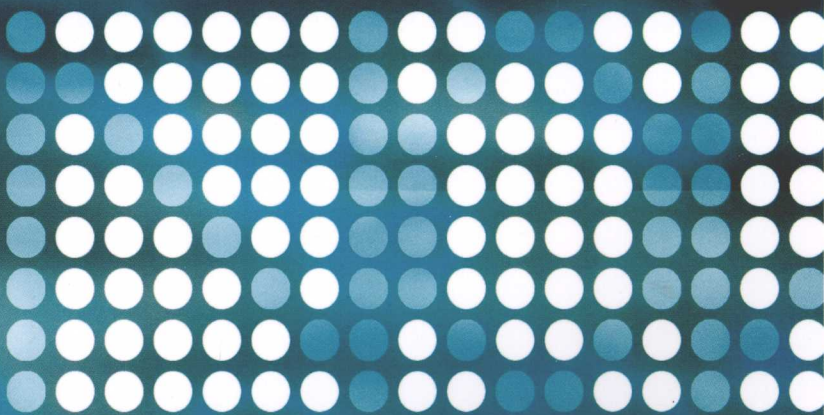


普通高等教育“十一五”国家级规划教材  
高等职业技术教育机电类专业规划教材  
机械工业出版社精品教材

# 数字电子技术基础

## 第2版

沈任元 吴勇 主编



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



赠电子课件

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材。

本书第1版是参照原国家教委1990年7月制定的《高等学校工程专科电子技术基础课程教学要求》，并在机械工业电类高职教育教材建设协作组1998年会议精神指导下编写的。与本书配套的教材有《模拟电子技术基础》和《常用电子元器件简明手册》。

本书包括“基础篇”和“应用篇”两部分内容。“基础篇”共分七章，内容是数字电路知识、逻辑门电路、组合逻辑电路、集成触发器、时序逻辑电路、脉冲信号的产生与转换、数/模和模/数转换。“应用篇”共七章，内容与“基础篇”对应。各章均有练习题供读者练习。

为方便教学，本书配有电子教学资料（习题解答课件、教学课件），供教师参考。凡选用本书作为教材的学校，均可来电索取，咨询电话：010-88379375，Email：cmpgaozhi@sina.com。

本书适用于普通高职、普通高校大专班、成教学院、职工大学、技师学院的电气、电子类专业的电子技术基础课程教材。还可供中等专业学校或普通高校本科有关专业或从事电子技术的工程人员参考。

## 图书在版编目（CIP）数据

数字电子技术基础/沈任元，吴勇主编. —2版. —北京：机械工业出版社，2009.9

普通高等教育“十一五”国家级规划教材  
ISBN 978-7-111-27696-8

I. 数… II. ①沈…②吴… III. 数字电路—电子技术—高等学校：技术学校—教材 IV. TN79

中国版本图书馆CIP数据核字（2009）第117834号

机械工业出版社（北京市百万庄大街22号 邮政编码100037）

策划编辑：于宁 责任编辑：于宁 责任校对：樊钟英

封面设计：鞠杨 责任印制：邓博

北京中兴印刷有限公司印刷

2009年9月第2版·第1次印刷

184mm×260mm·13.75印张·337千字

0 001—4 000册

标准书号：ISBN 978-7-111-27696-8

定价：24.00元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

销售服务热线电话：(010)68326294

购书热线电话：(010)88379639 88379641 88379643

编辑热线电话：(010)88379758

封面防伪标均为盗版

## 序

职业教育指受教育者获得某种职业或生产劳动的职业道德、知识和技能的教育。机电行业的职业技术教育是培养在生产一线的技术、管理和运行人员。他们主要从事成熟的技术和管理规范的应用与运作。随着社会经济的发展和科学技术的进步，生产领域的技术含量在不断提高。用人单位要求生产一线的技术、管理和运行人员的知识与能力结构与之适应。行业发展的要求促使职业技术教育的高层次——高等职业等教育蓬勃成长。

高职教育与高等工程专科、中专教育培养的人才属同一类型，都是技术型人才，毕业生将就业于技术含量不同的用人单位。高等职业教育的专业设置必须适应地区经济与行业的需求。高等职业教育是能力本位教育，应以职业分析入手，按岗位群职业能力来确定课程设置与各种活动。

机械工业出版社出版了大量的本科、高职高专、中专教材，其中有相当一批教材符合高等职业教育的需求，具有很强的职业教育特色，在此基础上这次又推出了机械类、电气类、数控类三个高职专业的高职教材。

专业课程的开发应遵循适当综合化与适当实施化。综合化有利于破除原来各课程的学科化倾向，删除与岗位群职业能力关系不大的内容；有利于删除一些陈旧的内容，增添与岗位群能力所需要的新技术、新知识，如微电子技术、计算机技术等。实施化是课程内容要按培养工艺实施与运行人员的职业能力来阐述，将必要的知识支撑点溶于能力培养的过程中，注重实践性教学，注重探索教学模式以达到满意的教学效果。

本教材倾注了众多编写人员的心血，他们为探索我国机电行业高职教育作出了可贵的尝试。今后还要依靠广大教师在实践中不断改进，不断完善，为创建我国的职业技术教育体系而奋斗。

赵克松

## 第2版前言

自《数字电子技术基础》第1版出版以来,已经8年过去了。我们在第1版教材中坚持按照高职高专工程技术教育的人才培养目标,对数字电子技术基础理论课进行了深化改革,强调理论与应用相结合的原则。因而在第2版改版之际,又改写了部分内容,增补了各章的练习题,引导学生能运用基本概念、基本原理和基本分析方法来提高分析问题的能力,目的是更有利于课程的教学和知识的应用。

为了给任课老师提供教学支持,我们编写了配合本教材的多媒体CAI课件(含全部习题的讨论课件)。值得高度重视的是在讲授本专业知识和理论的同时,必须特别注重学生专业能力的培养和实际动手技能的训练,注重学生解决问题和自我知识更新的培养和训练。

多年来,我们编写的教材得到了各位老师的热情关怀和大力支持,在本书再版之际,谨向他们致以深深的谢意。

由于笔者水平有限,新版教材中的错漏和不妥之处,敬请读者提出批评和建议。

编者

# 第 1 版前言

本套教材是参照原国家教委 1990 年 7 月制定的《高等学校工程专科电子技术基础课程教学基本要求》，并在机械工业电类高职教育教材建设协作组 1998 年会议精神指导下编写的。本套电子技术基础教材包括《模拟电子技术基础》、《数字电子技术基础》和《常用电子元器件简明手册》，在《模拟电子技术基础》和《数字电子技术基础》中都包括两部分内容，即“基础篇”和“应用篇”。

根据高等职业教育培养目标的要求，高职培养的人才必须具有大学专科的理论基础，并有较强的本专业技术应用的技能。高职教育培养的人才是面向基层、面向生产第一线的实用人才。这类人才不同于将学科体系转化为图纸和设计方案的工程技术人员，而主要是如何将方案和图纸转化为实物和产品的实施型高级技术人才。因此课程内容必然要按照培养目标来制订。由于电子技术涉及的各个领域发展非常迅速，电子技术教材的基本内容也必须逐步更新。特别是在大规模集成电路被广泛采用的今天，电子技术正朝着专用电子集成电路方向，以至向硬件、软件合为一体的各种电子系统集成方向发展，以硬件电路设计为主的传统设计方向也向器件内部资源及外部引脚功能加以利用的方法转化。只有培养学生会思考、会学习，才能跟上飞速发展的时代节拍。

本书在力求保证基础、掌握基本概念的基础上，注重集成电路以及新器件原理的分析和应用。编写中强调了理论联系实际和读图能力，尽量做到使学生既能知道“来龙”又可晓得“去脉”，从而提高学习的兴趣，以利加强学生的专业意识，为此，我们编写的目标是：

1) 电子技术基础是一门专业基础性质的课程，内容的安排上要遵循循序渐进的原则，由浅入深，由易到难。

2) 在“基础篇”中，以“必须”和“够用”为原则。对典型电路分析时，不作过于繁杂的推导，一般只介绍工程估算法，有时只给出定性的结论。对于电子器件着重介绍工作原理、外特性和主要参数，重点放在掌握使用方法上，对分立元件组成的电路尽可能精简，明确分立为集成服务的方向，在数字电路中以 CMOS 集成电路为主。对精选的集成电路主要介绍它们的电路特点和基本应用。

3) 各章均附有习题。有要求学生掌握基本概念、电路原理分析、重要参数的工程估算，以及集成电路的应用电路设计等内容。

4) 在“应用篇”中，为配合基础理论学习、扩大知识面，选材编排上力求与“基础篇”的各章节相对应，举一些实用的简化电子电路。在讲清基本知识和理论后，可采取课堂讲解、讨论或学生自学的办法，使学生对所学的理论知识与实际应用挂钩，使学生能在更接近实际的氛围中进行学习。作为一本技术基础课教材，要能起到有引导入门和培养学生有创造、开拓的实际应用知识能力的作用。

5) 为加强学生阅读专业外文文献的能力，在教材中首次出现的电子技术名词之后附注了英文。

6) 为培养学生的读图能力，在《模拟电子技术基础》专门有一章读图方法的介绍。目

的是使学生熟悉电子电路的读图方法，来增强分析问题和解决实际问题的综合能力。

7) 在《常用电子元器件简明手册》中选编了典型元器件的数据，便于理论教学、实践、实训和课程设计查阅和选用。在讲述器件时要结合手册查阅器件符号、参数、外型等内容。

本套教材教学参考学时范围为《模拟电子技术基础》80~96学时，《数字电子技术基础》60~80学时，有关章节内容可根据各校专业要求及学时情况酌情调整。本套教材适用范围：普通高职、普通高校大专班、职工大学电气、电子类专业的电子技术基础课程教材。还可供中等专业学校或普通高校本科有关专业或从事电子技术的工程人员参考。

本书由沈任元、吴勇担任主编，田培成、唐俊英、郑英兰参加编写。具体执笔分工如下：在《模拟电子技术基础》中，郑英兰编写了第一、二、四章，田培成编写了第三章，唐俊英编写了第五章，吴勇编写了第六、七、八章，沈任元编写了绪论、第九、十、十一章。在《数字电子技术基础》中，郑英兰编写了第一章，田培成编写了绪论、第二、三章，吴勇编写了第四章，唐俊英编写了第五、六章，沈任元编写了第七章。沈任元、吴勇、唐俊英、田培成、郑英兰编写了《常用电子元器件简明手册》。

本书由上海电机技术高等专科学校梁森担任主审。1999年6月在上海召开了本教材的审稿会。参加审稿会有上海交通大学许鸿量教授，上海理工大学周良权副教授，上海发电设备成套设计研究所刘春林高级工程师、上海江森电视机厂王坦高级工程师，上海电机技术高等专科学校成叶琴高级讲师等专家。以上同志对本教材书稿进行了认真、负责和仔细的审阅，提出了许多宝贵的意见和修改建议，在此表示衷心的感谢。由于编者水平有限，书中不妥之处在所难免，在取材新颖性和实用性等方面定有诸多不足，敬请兄弟院校的师生和广大读者给予批评和指正。我们衷心盼望本书能对有志从事电子电路应用的读者有所帮助。请您把对本书的意见和建议告诉我们。Email: renyuan@citiz.net。

编 者

# 数字电路常用符号一览表

## 一、文字符号的一般规定

### 1. 电压和电流

$U_B, I_B$  大写字母、大写下标  
分别表示基极的直流电压、  
电流

$U_b, I_b$  大写字母、小写下标  
分别表示基极的交流电压、  
电流有效值

$u_B, i_B$  小写字母、大写下标  
分别表示基极的电压、电流  
瞬时值 (含有直流分量)

$u_b, i_b$  小写字母、小写下标  
分别表示基极的交流电压、  
电流瞬时值

$\Delta U, \Delta I$  分别表示直流电压、电流的  
变化量

### 2. 电源电压

$V_{CC}$  晶体管集电极电压

$V_{BB}$  晶体管基极电压

$V_{EE}$  晶体管发射极电压

$V_{DD}$  MOS 管漏极电压

$V_{SS}$  MOS 管源极电压

$V_{GG}$  MOS 管栅极电压

### 3. 器件符号

VD 二极管

V, VT 晶体管

V, VF 场效应晶体管, MOS 管

VE 电子管

G 逻辑门电路

F 触发器

### 4. 电阻值

$R_B$  基极偏置电阻 (直流电阻)

$R_{be}$  基极、发射极间输入电阻  
(动态电阻)

### 5. 逻辑变量

$A, B, C, \dots$  输入逻辑变量

$L, X, Y, Z, \dots$  输出逻辑变量

## 二、基本符号

### 1. 电压和电流

$U_i$	输入电压
$U_{IH}$	高电平输入电压
$U_{IL}$	低电平输入电压
$U_{BE}$	晶体管基极—发射极电压
$U_{CES}$	晶体管饱和压降
$U_{IL,max}$	输入低电平最高电压
$U_{IH,min}$	输入高电平最低电压
$U_{OH}$	输出高电平
$U_{OL}$	输出低电平
$U_{SH}$	标准输出高电平
$U_{SL}$	标准输出低电平
$U_{NL}$	低电平噪声容限
$U_{NH}$	高电平噪声容限
$U_{TH}$	阈值电压
$U_{T+}$	正向阈值电压
$U_{T-}$	负向阈值电压
$U_H$	回差电压
$I_{IH}$	输入高电平电流
$I_{IL}$	输入低电平电流
$I_{OH}$	输出高电平电流
$I_{OL}$	输出低电平电流
$I_{IS}$	输入短路电流
$I_{BS}$	临界饱和基极电流
$I_{CS}$	临界饱和集电极电流

### 2. 功率

$P_o$	输出功率
$P_{off}$	空载截止功耗
$P_{on}$	空载导通功耗
$P_M$	最大允许功耗
$N_o$	扇出系数

### 3. 电阻、电容、电感

$R_{on}$	开门电阻值
$R_{off}$	关门电阻值
$R_L$	负载电阻值
$C$	电容器通用符号
$L$	电感器通用符号

### 4. 频率

$f$	频率通用符号
$\omega$	角频率通用符号

# X

$f_o$  谐振频率、输出频率

$f_{CP}$  时钟频率

$f_{max}$  最高频率

## 5. 时间

$t$  时间通用符号

$T$  周期、温度

$\tau$  时间参数

$t_{on}$  开通时间

$t_{off}$  关闭时间

$t_{pd}$  平均传输时间

$t_{re}$  反向恢复时间

$t_w$  脉冲宽度

## 6. 器件、电路的引出端

b 晶体管基极

c 晶体管集电极

e 晶体管发射极

g MOS 管栅极

d MOS 管漏极

s MOS 管源极

$CP$  触发器时钟脉冲

$R$  复位

$EN$  使能端、控制端

$J, K$  JK 触发器输入端

$T$  T 触发器输入端

$DSR$  移位寄存器右移串行输入端

$DSL$  移位寄存器左移串行输入端

$Q$  触发器、计数器、寄存器状态输出

$Q^n$  触发器输出初态

$Q^{n+1}$  触发器输出次态

TG 传输门

TSL 三态门

## 7. 参数符号

$\beta$  共发射极电流放大系数

$\alpha$  共基极电流放大系数

$g_m$  场效应晶体管的低频跨导

$q$  占空比



# 目 录

序	一、数字电路的特点	1
第2版前言	二、脉冲信号和数字信号	1
第1版前言	三、数字电路的应用	2
数字电路常用符号一览表	四、数字电路的分类	2
绪论	五、数字电路的学习方法	2

## 基 础 篇

第一章 数字逻辑基础	5	练习题	51
第一节 数制和码制	5	第三章 组合逻辑电路	56
一、数的表示方法	5	第一节 组合逻辑电路的分析和设计方法	56
二、不同进制数之间的相互转换	6	一、组合逻辑电路的分析方法	56
三、二—十进制码	8	二、门电路逻辑符号的等效变换	57
第二节 逻辑代数	8	三、组合逻辑电路的设计方法	58
一、基本概念及基本逻辑运算	9	第二节 集成组合逻辑电路	59
二、逻辑函数及其表示方法	10	一、编码器	59
三、逻辑代数中的基本公式和定律	13	二、译码器及显示电路	64
四、逻辑函数的化简与变换	14	三、数据选择器	72
本章小结	17	四、数据分配器	74
练习题	18	五、数据比较器	75
第二章 逻辑门电路	22	六、加法器	78
第一节 逻辑状态与正负逻辑	22	第三节 其他组合逻辑电路	80
一、逻辑状态和正负逻辑的规定	22	一、只读存储器	80
二、标准高低电平的规定	22	二、快闪存储器	85
第二节 分立元器件门电路	22	三、可编程阵列逻辑	85
一、二极管门电路	22	本章小结	85
二、晶体管门电路	25	练习题	86
第三节 晶体管—晶体管集成逻辑门电路(TTL)	29	第四章 触发器电路	89
一、TTL与非门电路	29	第一节 触发器的基本电路	89
二、TTL与非门的主要外部特性	31	一、基本RS触发器	89
三、TTL其他类型的门电路	36	二、集成RS触发器	91
四、TTL的不同系列	40	三、同步RS触发器	92
第四节 CMOS集成门电路	41	第二节 边沿触发器	93
一、MOS管的开关特性	42	一、边沿D触发器	94
二、CMOS集成门电路	42	二、边沿JK触发器	96
本章小结	50	第三节 触发器的逻辑转换	97

# VII

本章小结 .....	99	第三节 多谐振荡器 .....	136
练习题 .....	100	一、CMOS 型多谐振荡器 .....	136
第五章 时序逻辑电路 .....	104	二、可控型多谐振荡器 .....	138
第一节 时序逻辑电路的特点 .....	104	三、占空比和频率可调的多谐振荡器 .....	138
第二节 寄存器 .....	104	四、石英晶体多谐振荡器 .....	138
一、寄存器的功能和分类 .....	104	第四节 施密特触发器 .....	139
二、数码寄存器 .....	105	一、用门电路构成施密特触发器 .....	139
三、移位寄存器 .....	106	二、集成施密特触发器 .....	140
第三节 计数器 .....	109	三、基本应用电路 .....	140
一、计数器的功能和分类 .....	109	第五节 集成 555 定时器 .....	143
二、异步计数器 .....	109	一、电路结构 .....	143
三、同步计数器 .....	114	二、工作原理 .....	143
四、通用中规模集成计数器 .....	115	三、典型应用 .....	144
五、顺序脉冲发生器 .....	120	本章小结 .....	147
本章小结 .....	123	练习题 .....	147
练习题 .....	124	第七章 数/模 (D/A) 和模/数	
第六章 脉冲信号的产生与转换 .....	131	(A/D) 转换 .....	151
第一节 预备知识 .....	131	第一节 数/模转换器 (DAC) .....	151
一、微分电路和积分电路 .....	131	一、D/A 转换器的基本概念 .....	151
二、阈值电压 .....	132	二、D/A 转换电路 .....	153
三、利用反相器对微积分脉冲进行		第二节 模/数转换器 (ADC) .....	157
整形处理 .....	133	一、A/D 转换器的组成及其作用 .....	157
第二节 单稳态触发器 .....	133	二、A/D 转换电路 .....	159
一、微分型单稳态触发器 .....	133	本章小结 .....	163
二、集成单稳态触发器 .....	135	练习题 .....	163
三、单稳态触发器的应用 .....	135		
<b>应 用 篇</b>			
第八章 数字逻辑基础应用 .....	165	第十四章 数/模和模/数	
第九章 逻辑门电路应用 .....	166	转换应用 .....	195
第十章 组合逻辑电路应用 .....	174	应用篇练习题 .....	199
第十一章 触发器电路应用 .....	177	附录 部分新旧逻辑单元图形	
第十二章 时序逻辑电路应用 .....	180	符号对照 .....	206
第十三章 脉冲信号的产生与		参考文献 .....	208
转换应用 .....	189		

# 绪 论

## 一、数字电路的特点

电子电路所处理的电信号可以分为两大类：一类是在时间和数值上都是连续变化的信号，称为模拟信号（analog signals），例如模拟语言的音频信号（可以通过传声器把声音信号转换成相应的电信号），模拟温度变化的（如从热电偶上得到的）电压信号等都属于模拟信号；另一类信号则是在时间和数值上都是离散的信号，也就是说它们的变化在时间和数值上是不连续的，多以脉冲信号的形式出现，这一类信号称为数字信号（digital signals）。

按照电子电路中工作信号的不同，通常把电路分为模拟电路（analog circuit）和数字电路（digital circuit）。我们把处理模拟信号电子电路称为模拟电路，如各类放大器、稳压电路以及某些振荡电路等都属于模拟电路。我们把处理数字信号电子电路称为数字电路，例如我们以后将要介绍各类门电路（gate）、触发器（flif-flop）、寄存器（register）和译码器（decoder）等都属于数字电路。

数字电路有许多区别于模拟电路的特点，现分述如下：

1) 数字电路在作为数值计数和运算电路时采用二进制数，每一位只有0和1两种可能。电子元件通常工作在开关状态，电路结构简单，容易制造，便于集成及系列化生产，成本较低，使用方便。

2) 数字电路是利用信号（脉冲）的有无来代表和传输0和1这样的数字信息的，幅度较小的干扰不能改变信号的有无，因此，其抗干扰能力强。

3) 由数字电路组成的数字系统，只要增加数字的位数，就可以提高其精度。

4) 数字电路不仅能完成数值运算，而且能进行逻辑判断和逻辑运算，这在控制系统中是不可缺少的，因此也把它称为“逻辑电路（logic circuit）”。

5) 数字电路的分析方法不同于模拟电路，其重点在于研究各种数字电路输出与输入之间的相互关系，即逻辑关系，因此分析数字电路的数学工具是逻辑代数，表达数字电路逻辑功能的方式主要是真值表、逻辑表达式和波形图等。

事物总是一分为二的，数字电路也有一定的局限性，因此，实际电子系统往往把数字电路和模拟电路结合起来，组成一个完整的系统。

## 二、脉冲信号和数字信号

数字电路所处理的各种信号的工作波形是脉冲波，也称脉冲信号（pulse signal）。“脉冲”这个词包含着脉动和短促的意思。电脉冲是指在短促的时间内，出现的突然变化的电压或电流，例如发报机每按一次电键所产生的信号就属于这种信号。常见的脉冲信号如图0-1所示。

随着电子技术的发展，还出现了大量非正弦的新波形。从广义上讲，一切非正弦的、带有突变特

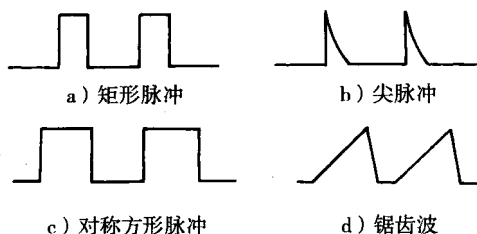


图0-1 几种常见的脉冲波形

点的波形，统称为脉冲。数字电路处理的信号多是矩形脉冲或尖脉冲，这种信号常用二值量信息表示，即用逻辑信号 0 和 1 来表示信号的状态（低电平或高电平），我们以后所讲的数字信号，通常都指这一类信号。

不同的脉冲信号，表示其特征的参数也不同。矩形脉冲（矩形波）是应用最广泛的脉冲信号，其主要参数如下（见图 0-2）：

1) 脉冲幅度  $U_m$ ：脉冲波底到波顶之间的电压。

2) 脉冲上升时间（脉冲前沿） $t_r$ ：波形从  $0.1U_m$  上升到  $0.9U_m$  所需的时间。

3) 脉冲下降时间（脉冲后沿） $t_f$ ：波形从  $0.9U_m$  下降到  $0.1U_m$  所需的时间。

4) 脉冲宽度  $t_w$ ：波形上升沿的  $0.5U_m$  到下降沿的  $0.5U_m$  所需要的时间，又称脉冲持续时间。

5) 脉冲周期  $T$ ：在周期性的脉冲信号中，任意两个相邻脉冲的上升沿（或下降沿）之间的时间间隔。

6) 重复频率  $f$ ：在周期性脉冲信号中，每秒出现脉冲波形的次数， $f=1/T$ 。

### 三、数字电路的应用

数字电路的应用十分广泛，它已广泛应用于数字通信、自动控制、数字测量仪表以及家用电器（如收录机、电视机）等各个技术领域。特别是在数字电路基础上发展起来的电子计算机（如广泛使用的各种微机），已进入现代社会的各个领域，不仅在高科技研究领域，而且在生产、管理、教育、服务行业甚至家庭中都得到了广泛应用，它标志着电子技术的发展进入了一个新的阶段。另外，数字式移动电话、数字式高清晰度电视以及数码照相机等也是数字电路发展的产物。

### 四、数字电路的分类

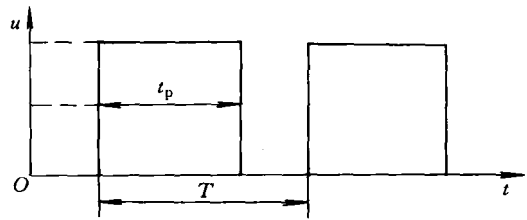
1) 按电路的组成结构可分为分立元件电路（discrete circuit）和集成电路（integrated circuit）两类。其中集成电路按集成度（一块硅片上包含的元件数量）可分为小规模、中规模、大规模、超大规模集成电路（small, medium, large, very large scale integration, 简称为 SSI、MSI、LSI、VLSI，其划分标准和模拟集成电路的划分标准相同）。

2) 按电路所使用的器件可分为双极型（如 TTL、ECL、 $I^2L$ 、HTL）和单极型（如 NMOS、CMOS、HCMOS）电路。

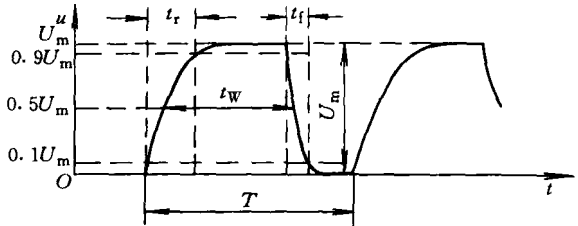
3) 按电路的逻辑功能可分为组合逻辑电路和时序逻辑电路，另外脉冲波形的产生与变换电路也属于数字电路的一部分。数/模转换电路和模/数转换电路则是由模拟电路和数字电路结合而成的。

### 五、数字电路的学习方法

根据数字电路的特点，在学习时应注意以下几点：



a) 理想波形



b) 实际波形

图 0-2 矩形电压的参数

1) 逻辑代数是分析数字电路重要的数学工具, 数字电路的功能是用逻辑代数的方法来表示的, 为了分析和研究数字电路, 必须熟练地掌握逻辑代数的基本内容和分析方法。

2) 要重点掌握数字电路中的一些典型逻辑单元的外部逻辑功能、使用方法以及功能的扩展, 对内部电路的了解只是为了加深对外部功能的理解, 要抓住重点。

3) 数字电路的种类繁多, 要掌握数字电路的基本分析方法和设计方法, 其他电路可以在此基础上自行分析和设计。

4) 数字电子技术是一门实践性很强的技术基础课, 因此, 在学习中应理论联系实际。在学习本书时应以“基础篇”中所介绍的理论知识、基本电路和基本分析方法为先导, 分析“应用篇”中所介绍的各种应用电路, 同时, 必须重视实验和课程设计, 这样才能取得较好的学习效果。



# 基础篇

## 第一章 数字逻辑基础

本章主要介绍在分析数字电路时所涉及到的一些基础知识，包括数字电路中所使用的二进制 (binary system)、十六进制 (hex system) 数以及 BCD 码的概念和相互转换方法。另外，较详细地介绍了数字电路的重要分析工具——逻辑代数 (logic algebra)。

### 第一节 数制和码制

在日常生活中，我们习惯用十进制数，而数字电路中的基本工作信号是二进制的数字信号，只能表示 0 和 1 两个基本数字。因此，在数字系统中进行数字的运算和处理时，采用的都是二进制数，但二进制数有时表示起来不太方便，位数太多，所以也经常采用十六进制数 (每位代替四位二进制数)。

本节将介绍几种常见数制的表示方法，相互间的转换方法和几种常见的二—十进制码 (binary coded decimal system, 简称 BCD 码)。

#### 一、数的表示方法

##### (一) 十进制数

十进制数 (decimal number) 是最常用的计数体制，十进制数的特点是：

1) 基数 (base) 是 10。十进制数采用十个基本数码，0、1、2、3、4、5、6、7、8、9，任何一个数都可以用上述十个数码按一定规律排列起来表示。

2) 计数规律是“逢十进一”，即  $9 + 1 = 10$ 。0~9 十个数可以用一位基本数码表示，10 以上的数则要用两位以上的数码表示。例如 10 这个数，右边的“0”为个位数，左边的“1”为十位数，也就是  $10 = 1 \times 10^1 + 0 \times 10^0$ 。

这样，每一数码处于不同的位置时，它代表的数值是不同的，即不同的数位有不同的位权 (weight)。例如数 1987 可写为

$$1987 = 1 \times 10^3 + 9 \times 10^2 + 8 \times 10^1 + 7 \times 10^0$$

每位的位权分别为  $10^3$ 、 $10^2$ 、 $10^1$ 、 $10^0$ 。

上述表示方法，也可扩展到小数，不过这时小数点右边的各位数码要乘以基数的负幂次。例如，数 3.14 表示为： $3.14 = 3 \times 10^0 + 1 \times 10^{-1} + 4 \times 10^{-2}$ 。对于一个十进制数来说，小数点左边的数码，位权依次为  $10^0$ 、 $10^1$ 、 $10^2 \dots$ ，小数点右边的数码，位权分别为  $10^{-1}$ 、 $10^{-2}$ 、 $10^{-3} \dots$ 。每一位数码所表示的数值等于该数码 (称为该位的系数) 乘以该位的位权，每一位的系数和位权的乘积称为该位的加权系数。任意一个十进制数所表示的数值，等于其各位加权系数之和，可表示为

$$[N]_{10} = \sum_{i=-\infty}^{\infty} k_i \times 10^i \quad (1-1)$$

任意一个  $n$  位十进制正整数, 可表示为

$$[N]_{10} = k_{n-1} \times 10^{n-1} + k_{n-2} \times 10^{n-2} + \cdots + k_1 \times 10^1 + k_0 \times 10^0 = \sum_{i=0}^{n-1} k_i \times 10^i \quad (1-2)$$

式中的下角标 10 表示  $[N]$  是十进制数, 下角标也可以用字母 D 来代替数字“10”。

例如:  $[278]_D = [278]_{10} = 2 \times 10^2 + 7 \times 10^1 + 8 \times 10^0 = 278$

## (二) 二进制数

二进制数的特点是:

- 1) 基数是 2。采用两个数码 0 和 1。
- 2) 计数规律是“逢二进一”。

二进制的各位位权分别为  $2^0$ 、 $2^1$ 、 $2^2 \cdots$ 。任何一个  $n$  位二进制正整数, 可表示为

$$[N]_2 = k_{n-1} \times 2^{n-1} + k_{n-2} \times 2^{n-2} + \cdots + k_1 \times 2^1 + k_0 \times 2^0 = \sum_{i=0}^{n-1} k_i \times 2^i \quad (1-3)$$

式中的下标 2 表示  $[N]$  是二进制数, 也可以用字母 B 来代替数字“2”。

二进制数表示的数值也等于其各位加权系数之和。

例如:  $[1001]_2 = [1001]_B = 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 = [9]_{10}$

由于二进制在电子学中具有十进制无法具备的优点, 因此它在数字系统中被广泛采用。

二进制具有以下独特的优点:

1) 二进制只有两个数码 0 和 1, 因此它的每一位数都可以用任何具有两个不同稳定状态的元件来表示, 如晶体管的饱和与截止, 继电器接点的闭合和断开, 灯泡的亮与不亮等。只要规定其中一种状态表示 1, 则另一种状态就表示 0, 这样就可以表示二进制数了。因此二进制的数字装置简单可靠, 所用元件少, 容易用诸如二极管、晶体管等电子元件来实现。

2) 二进制的基本运算规则简单, 运算操作简便。

虽然二进制数具有以上优点, 但使用时位数经常是很多的, 不便于书写和记忆, 例如要表示十进制数 4020 若用二进制数表示则为 111110110100, 若用十六进制表示则为 FB4, 因此在数字系统中常采用十六进制数来表示二进制数。

## (三) 十六进制数

十六进制数的基数是 16, 采用 16 个数码: 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9、A、B、C、D、E、F, 其中 10~15 分别用 A~F 表示。十六进制数的计数规律是“逢十六进一”, 各位的位权是 16 的幂。 $n$  位十六进制正整数可表示为

$$[N]_{16} = \sum_{i=0}^{n-1} k_i \times 16^i \quad (1-4)$$

式中的下角标 16 也可以用字母 H 来代替。

例如:  $[80]_{16} = [80]_H = 8 \times 16^1 + 0 \times 16^0 = [128]_{10}$

$[9D]_{16} = [9D]_H = 9 \times 16^1 + 13 \times 16^0 = [157]_{10}$

$[FF]_{16} = [FF]_H = 15 \times 16^1 + 15 \times 16^0 = [255]_{10}$

## 二、不同进制数之间的相互转换

### (一) 二进制、十六进制数转换为十进制数



只要将二进制、十六进制数按式 (1-3)、式 (1-4) 展开, 求出其各位加权系数之和, 则得相应的十进制数。

### (二) 十进制数转换为二进制数、十六进制数

将十进制正整数转换为二进制、十六进制数可以采用除  $R$  倒取余法,  $R$  代表所要转换成的数制的基数, 对于二进制数为 2, 十六进制数为 16, 转换步骤如下:

第一步: 把给定的十进制数  $[N]_{10}$  除以  $R$ , 取出余数, 即为最低位数的数码  $k_0$ 。

第二步: 将前一步得到的商再除以  $R$ , 再取出余数, 即得次低位数的数码  $k_1$ 。

以下各步类推, 直到商为 0 为止, 最后得到的余数即为最高位数的数码  $k_{n-1}$ 。

**【例 1-1】** 将  $[75]_{10}$  转换成二进制数。

解:  $2 \overline{)75} \cdots \cdots$  余 1 即  $k_0 = 1$

$2 \overline{)37} \cdots \cdots$  余 1 即  $k_1 = 1$

$2 \overline{)18} \cdots \cdots$  余 0 即  $k_2 = 0$

$2 \overline{)9} \cdots \cdots$  余 1 即  $k_3 = 1$

$2 \overline{)4} \cdots \cdots$  余 0 即  $k_4 = 0$

$2 \overline{)2} \cdots \cdots$  余 0 即  $k_5 = 0$

$2 \overline{)1} \cdots \cdots$  余 1 即  $k_6 = 1$

0

即  $[75]_{10} = [1001011]_2$

**【例 1-2】** 将  $[75]_{10}$  转换成十六进制数。

解:  $16 \overline{)75} \cdots \cdots$  余 11 即  $k_0 = B$

$16 \overline{)4} \cdots \cdots$  余 4 即  $k_1 = 4$

0

即  $[75]_{10} = [4B]_{16}$

### (三) 二进制数与十六进制数的相互转换

1. 将二进制正整数转换为十六进制数 将二进制数从最低位开始, 每 4 位分为一组, 每组都相应转换为 1 位十六进制数 (最高位可以补 0)。

**【例 1-3】** 将二进制数  $[1001011]_2$  转换为十六进制数。

解: 二进制数  $01001011$

十六进制数 4 B

即  $[1001011]_2 = [4B]_{16}$  也可表示为  $[1001011]_B = [4B]_H$

2. 将十六进制正整数转换为二进制数 将十六进制数的每一位转换为相应的 4 位二进制数即可。

**【例 1-4】** 将  $[4B]_{16}$  转换为二进制数。

解: 十六进制数 4 B

二进制数 0100 1011