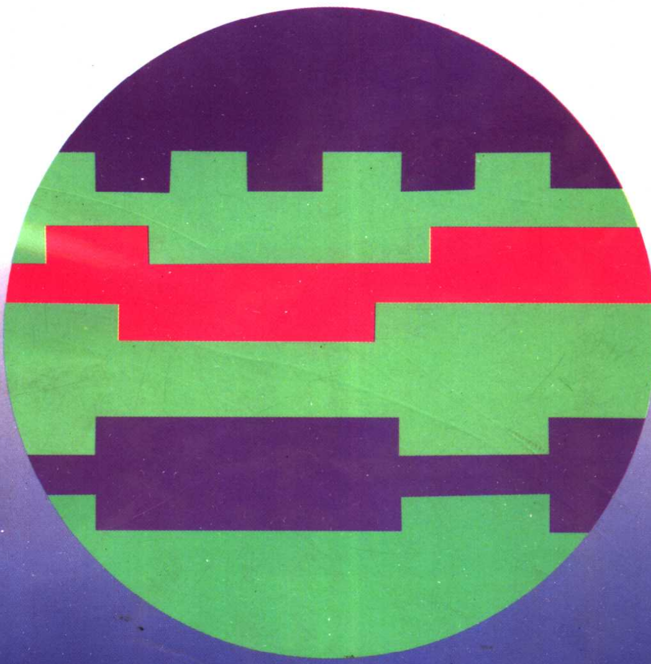
数字电子技术基础学习指导书

张建华 编



高等教育出版社

数字电子技术基础
学习指导书

张建华　编

高等教育出版社

（京）112号

图书在版编目（CIP）数据

数字电子技术基础学习指导书/张建华编．—北京：高等教育出版社，1997.12

ISBN 7-04-006186-4

Ⅰ．数…　Ⅱ．张…　Ⅲ．数字电路-教学参考资料　Ⅳ．TN79

中国版本图书馆CIP数据核字（97）第02300号

*

高等教育出版社出版

北京沙滩后街55号

邮政编码：100009　传真：64014048　电话：64054588

新华书店总店北京发行所发行

北京印刷一厂印装

*

开本　850×1168 1/32　印张 11.375　字数 290 000

1997年8月第1版　1997年8月第1次印刷

印数　0 001—5 179

定价　11.10元

内 容 提 要

本书是根据1995年修订的“高等工业学校电子技术基础课程教学基本要求”所规定的内容编写，分为数字电路基础、集成逻辑门电路、组合逻辑电路、集成触发器、时序逻辑电路、大规模集成电路、A/D与D/A转换器和脉冲信号的产生与整形电路八大部分。每部分又分为若干节，每节包含内容提要、学习方法指导和解题方法指导三部分，主要提出了本节要掌握的主要内容，讨论了学习中的重点和难点问题及其学习方法，并列举了146个较典型的实例。本书可帮助学习电子技术基础的本、专科学生和自修者作为自学辅导教材，对从事本门课程教学工作的青年教师，也是一本较适用的参考书。

本书与王远编写的《模拟电子技术基础学习指导书》配套使用。

前　　言

本书是根据国家教育委员会高等学校工科基础课程1991～1995年教材建设规划，由工科电工课程教学指导委员会电子技术基础课程教学指导小组推荐，高等教育出版社出版，作为普通高等学校电子、电气、自动化等专业“数字电子技术基础”课程的教学参考书，可与王远编写的《模拟电子技术基础学习指导书》配套使用。

根据编写此书的要求，本书不以现有任何教材作为依托，而是以电子技术基础课程教学指导小组于1995年新修订的“高等工业学校电子技术基础课程教学基本要求”为依据，并适当参考现在各校使用较多的几套通用教材的讲授内容。编写的指导思想是：不追求内容的全面和系统，而是针对教学基本要求比较深入细致地讲清基本要求中要求“熟练掌握”的内容，为读者提供一些学习思路和解题方法；对“正确理解”的内容也作适当介绍；对“一般了解”的内容，则视数字电子技术的发展动向，有些作了较深入的介绍，有些则删去不讲。

本书分数字电路基础、集成逻辑门电路、组合逻辑电路、集成触发器、时序逻辑电路、大规模集成电路、A/D与D/A转换器和脉冲信号的产生与整形电路八大部分。每部分又根据基本要求划分为若干节，每节又分为内容提要、学习方法指导和解题方法指导三部分，并列举了各种类型的例题146个以帮助读者深入理解讲授内容。本书的阅读对象主要是：1. 正在学习“数字电子技术基础”课程的学生，可作为深入学习某些重点内容的补充教材；2. 对报考硕士研究生的考生，可作为深入复习“数字电子技术基础”课程的主要参考资料；3. 对初上讲台的青年教师深入理解本

课程的教学内容，对掌握重点、突破难点也能提供一定的帮助。

本书特邀请清华大学阎石教授审阅，他就本书的编写思想给编者提出了很好的建议，对书稿进行了认真细致的审阅，提出了许多宝贵意见。电子技术基础课程教学指导小组的全体委员对本书的出版给予了大力的支持；高等教育出版社副编审、电子技术课程教学指导小组联络员任庆陵同志对本书的出版给予了很大的帮助，在此对他们表示衷心的感谢。

限于编者的水平，错误和不足之处难免，诚恳希望各兄弟院校的老师和读者提出批评和改进意见。

编者

1995年12月

目　　录

绪　　言

由于电子技术的迅速发展，特别是微电子技术水平的不断提高，新工艺、新器件不断出现，使数字电子技术的教学内容不断更新和发展，其分析和设计方法亦日趋完善，已逐步形成了自己独立的科学体系。在数字电子技术中，主要讲授数字信号的传递、算术和逻辑运算、译码、显示、计数、寄存及脉冲信号的产生和变换等典型和其它一些非典型逻辑电路的分析和设计。

数字电路的基本工作信号是用 **1** 和 **0** 表示的数字信号，反映在电路上就是高电平和低电平，因此，用于数字电路中的各种半导体器件都是工作在开关状态。与模拟电子电路相比，数字电路具有以下一些特点：

① 在数字电路中，目前一般采用二进制，因此，凡具有两个稳定状态的元件，均可用来表示二进制的两个数码。同时，由于电路对各元件参数的精度要求不高，允许有较大的分散性，只要能正确区分两种截然不同的工作状态即可。这一特点，对实现数字电路的集成化是十分有利的。

② 抗干扰能力强、精度高。由于数字电路所传递、加工和处理的是二值信息 **0** 和 **1**，只要外界干扰在电路的噪声容限范围内，电路就能正常工作，因而抗干扰能力强。另外，它还可用增加二进制数的位数来提高电路的运算精度。

③ 数字信号便于长期存储，使大量的可贵的信息资源不仅易于妥善保存，而且使用方便。

④ 保密性好。在数字电路中可以进行硬、软件加密，使一些可贵的信息资源不易被窃取。

⑤ 通用性强。可以采用标准的逻辑部件和可编程逻辑器件来

设计各种各样的数字电路和系统，使用方便灵活。

由于数字电路具有上述一些特点，其发展十分迅速，因而在数字电子计算机、自动控制、数字仪表、通信、电视、雷达、数控技术以及国民经济各部门得到广泛的应用。因此，数字电路的分析和设计，几乎已成为各类专业技术人员所必备的专业基础知识。

学习数字电路时，应注意以下几点：

① 逻辑代数是分析和设计数字电路的重要工具，必须熟练掌握和运用这一工具才能使学习顺利进行。

② 应重点掌握各种常用的、典型的逻辑单元电路的逻辑功能、外部特性、功能扩展和使用方法。对其内部电路结构和工作原理的学习，仅是为了加深对外部特性和逻辑功能的正确理解，无需过于深究。

③ 数字电路的种类虽然繁多，但只要能熟练掌握数字电路的分析方法和设计方法，便能随心所欲地分析和设计各种逻辑电路。

④ 数字电子技术是一门实践性很强的技术基础课，学习时必须重视习题、实验和课程设计等实践性环节的严格训练，要勇于实践，勤于实践，才能将这一门课程的内容真正学到手。

⑤ 数字电子技术的发展十分迅速，数字集成电路的种类和型号愈来愈多，应逐步提高查阅有关技术资料和集成电路产品手册的能力，以便从中获取更多新的知识和信息。

1 数字电路基础

教学基本要求

熟练掌握 ①二进制、十进制、十六进制及其相互转换；②8421 BCD 码；③逻辑代数的基本定律和定理；④逻辑问题的描述方法；⑤逻辑函数的化简与变换。

一般了解 其它常用的几种 BCD 编码。

1.1 数制和码制

1.1.1 内容提要

一、数的表示方法 一个数通常可以用两种方法来表示，一种是按“值”表示法，也就是选用某种进位制来表示某个数的值，这就是所谓的**数制**；另一种是按“形”表示法，也就是选用一个多位二进制数作为代码，来“形式”地表示某个数。例如，选用一组多位二进制数作代码，并分别给每个代码赋以一定的含义，这就是所谓的**码制**。在数字电路中，常用的计数制有二进制、十进制和十六进制。常用的码制是 8421 BCD 码。

二、常用计数制及其相互之间的转换 任意一个数 N，是可以采用不同进位的计数制来计量的。在日常生活中，人们最习惯使用的是十进制，在数字电路中又常采用二进制和十六进制，这就必然存在各种计数制之间数的相互转换问题。要进行各种计数制之间数的转换，就必须了解各种计数制的计数规则和相互之间转换的规律。

三、码制

在数字系统中，被处理的信息可以分为两大类，一类是数值，另一类是文字符号等，它们都可以分别用多位二进制数组成的代码来表示。按一定规则组成的一组代码，并分别给每个代码赋以一定的含义，叫做**编码**。若需要编码的信息量为 N，则用作代码的多位二进制数的位数 n 应满足下列关系

$$2^n \geqslant N$$

在数字电路中，经常使用的是二-十进制（BCD）码。所谓二-十进制码，就是用一组 4 位二进制数的代码来分别代表十进制数的十个数字符号，这种表示方法称为**二进制编码的十进制数**，简称二-十进制码或称 BCD 码，它们具有二进制数的形式和十进制数的特点。4 位二进制数共有十六种不同的组合，都可用作为代码，而十进制数的十个数字符号只需用其中的十种组合来表示，因而从十六种组合中选用哪十种组合的编码方案就有很多种。本节要着重掌握 8421 BCD 码的编码规则，同时还应了解什么样的编码是**有权码**，什么样的编码是**无权码**。

1.1.2 学习方法指导

一、为什么会出现各种数制和码制

在数字电路中常用的几种数制和码制，有的来源于生活，有的来源于数字电路本身发展的需要。十进制是人们在日常生活中最习惯使用的一种计数制，而在数字电路中目前又都是使用二进制。由于二进制数不便于认识和记忆，故用于计算机的一些文件和资料又多用十六进制来记载。早期也有用四进制和八进制来记载这些文件资料的，但目前已经不多见了。

码制的出现首先是计算技术发展的需要。随着电子计算机的迅速发展和应用，人们需要将大量的信息送给计算机处理，而计算机又只能认识二值信息，这就必须将一些要处理的数字、文字和符号等用多位二进制数组成的代码来表示，因而出现了各种码制，如表 1-1 所示的各种 BCD 码。

表 1-1

编码种类 / 十进制数	8421 码	5421 码	2421 码 (A)	2421 码 (B)	余 3 码	余 3 循环码	格雷码
0	**0000**	**0000**	**0000**	**0000**	**0011**	**0010**	**0000**
1	**0001**	**0001**	**0001**	**0001**	**0100**	**0110**	**0001**
2	**0010**	**0010**	**0010**	**0010**	**0101**	**0111**	**0011**
3	**0011**	**0011**	**0011**	**0011**	**0110**	**0101**	**0010**
4	**0100**	**0100**	**0100**	**0100**	**0111**	**0100**	**0110**
5	**0101**	**1000**	**0101**	**1011**	**1000**	**1100**	**0111**
6	**0110**	**1001**	**0110**	**1100**	**1001**	**1101**	**0101**
7	**0111**	**1010**	**0111**	**1101**	**1010**	**1111**	**0100**
8	**1000**	**1011**	**1110**	**1110**	**1011**	**1110**	**1100**
9	**1001**	**1100**	**1111**	**1111**	**1100**	**1010**	**1101**
权	8421	5421	2421	2421	无	无	无

二、各种计数制的计数规则

要了解各种计数制的进位规则，可以从任意 R 进制的多项展开式

$$
\begin{aligned}
(N)_R = & K_{n-1} \cdot R^{n-1} + K_{n-2} \cdot R^{n-2} + \cdots + K_i \cdot R^i \\
& + \cdots + K_1 \cdot R^1 + K_0 \cdot R^0 + K_{-1} \cdot R^{-1} \\
& + K_{-2} \cdot R^{-2} + \cdots + K_{-m} \cdot R^{-m}
\end{aligned}
\tag{1-1}
$$

入手。式(1-1)中 K_i 为**系数**，是各种进制的数字符号中的某一个，如果是十进制，则是十个数字符号 0～9 中的某一个，如果是十六进制，则是十六个数字符号 0～F 中的某一个；R 为**进位基数**，如 $R=2$，即逢 2 进 1，本位复 0，则为二进制，如 $R=16$，即逢 16 进 1，本位复 0，则为十六进制；R^i 为**位权**，它表示在其前所乘的系数应具有的地位，也就是说，任何一个数码所表示的值，不只是决定于数码本身，还与该数码在一个数中所处的位置有关。例如，$4\times10^4=40000$，$4\times10^2=400$，虽然它们的系数都是 4，但它们在一个数中所在的位置不同，位权就不同，其值就不同。进位基数不同，所采用的计数制就不同，也就有其相应的各种位权，其前

所乘的系数也就具有不同的值。例如，在十进制中 $8\times10^3=8000$，而在十六进制中 $8\times16^3=32768$，这就是说，同是系数 8，都是在第 4 位，由于所在进制不同，位权就不相同，也就具有不同的值。由此可以看出，位权在各种计数制中的重要作用。

三、几种常用计数制数的相互转换

我们已经知道，任意一个数值可以用不同的进位制来计数，也就是说，不同的进位计数制只是描述数值的不同手段，因而它们之间是可以相互转换的。转换的原则是，应保证转换前后所表示的数值相等。下面介绍几种常用计数制数的互相转换的方法。

（一）多项式替代法

如果要将一个 α 进制的数转换为 β 进制的数，首先应将 α 进制数的并列表示法转换为多项式表示法，然后将等式右边多项式中所有的 α 进制的数转换为等值的 β 进制的数，最后在 β 进制中计算出多项式的值，此值就是将 α 进制的数转换为相对应的 β 进制的数。

例 1.1.1 将十进制数 13.5 用多项式替代法转换为二进制数。

解：首先将用并列表示法的十进制数 13.5 转换为多项式表示法，则得

$$(13.5)_{10}=[1\times(10)^1+3\times(10)^0+5\times(10)^{-1}]_{10}$$

将等式右边多项式中所有的十进制数转换为等值的二进制数，则得

$$(13.5)_{10}=[\mathbf{1}\times(\mathbf{1010})^1+\mathbf{11}\times(\mathbf{1010})^0+.\mathbf{101}\times(\mathbf{1010})^{-1}]_2$$

然后在二进制中计算上列等式右边多项式之值，则得

$$(13.5)_{10}=[\mathbf{1010}+\mathbf{11}+\mathbf{0.1}]_2=(\mathbf{1101.1})_2$$

（二）基数除/乘法

基数除/乘法包括基数除法和基数乘法两种，整数的转换用基数除法，小数的转换用基数乘法。

1. 基数除法

将 α 进制的整数 $(N)_\alpha$ 转换为 β 进制的整数 $(M)_\beta$ 的步骤为：①将 α 进制的整数 $(N)_\alpha$，在 α 进制中反复除以 β，直到商为 0；②每次除完所得的余数，用 β 进制的数来替换，便得到转换后的 β 进制的整数 $(M)_\beta$。

例 1.1.2 用基数除法将十进制数 92 转换为二进制数。

解：将十进制数 92 不断除 2 得余数。

	余数	
2 | 92		
2 | 46	……………**0**	低位
2 | 23	……………**0**	↑
2 | 11	……………**1**	
2 | 5	……………**1**	
2 | 2	……………**1**	
2 | 1	……………**0**	
0	……………**1**	高位

由于十进制的数码 0 和 1 也就是二进制的数码 **0** 和 **1**，故余数不需要再替换，所以转换后的结果为 $(92)_{10}=(\mathbf{1011100})_2$

2. 基数乘法

将 α 进制的小数 $(N)_\alpha$ 转换为 β 进制的小数 $(M)_\beta$ 的步骤为：①将 α 进制的小数 $(N)_\alpha$ 在 α 进制中反复乘以 β，一直乘到能达到要求的精度为止；②将每次乘运算后所得积的整数部分均用 β 进制的数码来替换，便得到转换为 β 进制后的小数 $(M)_\beta$。

例 1.1.3 用基数乘法将十进制的小数 0.71875 转换为二进制的小数。

解：将十进制的小数 0.71875 不断乘 2 取整数，便为转换后的二进制的小数，如下页上方所示。

即 $(0.71875)_{10}=(\mathbf{0.10111})_2$。

（三）混合转换法

前面介绍的多项式替代法和基数除/乘法，虽然可适用于任意

0.71875	取整数	
× 2		
1.43750	············1	高位 ↓
× 2		
0.875	············0	
× 2		
1.75	············1	
× 2		
1.5	············1	
× 2		
1.0	············1	低位

两种进制数之间的转换，但转换过程的计算却是在不同的进位计数制中进行的。将 α 进制的数转换为 β 进制的数，用多项式替代法是在 β 进制中进行计算，如用基数除/乘法，则是在 α 进制中进行计算的。由于人们非常熟悉十进制，因而都尽量设法使两种不同进位制数之间的转换在十进制中进行计算，这就是为什么一般总是将二进制数转换为十进制数时采用多项式替代法，而将十进制数转换为二进制数时则采用基数除/乘法的原因。

如果相互转换的两种进位制 α 和 β 都不是人们所熟悉的十进制，此时可以采用混合转换法，即先把 α 进制数转换为十进制数，再把十进制数转换为 β 进制数，使 α 进制到 β 进制的转换过程的计算都是在十进制中进行，即将多项式替代法和基数除/乘法混合应用，故称之为**混合转换法**。其转换规则是：

① 用多项式替代法将 α 进制数 $(S)_\alpha$ 转换为十进制数 $(S)_{10}$。

② 再用基数除/乘法将十进制数 $(S)_{10}$ 转换为 β 进制数 $(S)_\beta$。

例 1.1.4 用混合转换法将四进制数 1023.231 转换为五进制数。

解：首先用多项式替代法将四进制数转换为十进制数，即

$$
\begin{aligned}
(1023.231)_4 &= (1\times4^3+0\times4^2+2\times4^1+3\times4^0+2\times4^{-1}\\
&\quad +3\times4^{-2}+1\times4^{-3})_{10}\\
&= (64+0+8+3+0.5+0.1875+0.015625)_{10}\\
&= (75.703125)_{10}
\end{aligned}
$$

再用基数除/乘法将所得到的十进制数转换为五进制数：

	余数		0.703125	取整数	
5 | 75			× 5		高位
5 | 15	············0	低位 ↑	3.515625	············3	↓
5 | 3	············0		× 5		
0	············3		2.578125	············2	
		高位	× 5		
			2.890625	············2	
			× 5		
			4.453125	············4	低位

转换结果为 $(1023.231)_4 = (300.3224)_5$

（四）直接转换法

当一个 α 进制的数要转换为 β 进制的数时，如 α 进制与 β 进制的进位基数之间满足 2^K（K 为整数）关系，则采用直接转换法比采用上述任何方法都来得简单。采用直接转换法的规则如下：

① 若 α 进制与 β 进制的进位基数之间满足 $\alpha^K=\beta$ 的关系，则可用 K 位 α 进制的数直接转换为 1 位 β 进制的数。

② 若 α 进制与 β 进制的进位基数之间满足 $\alpha=\beta^K$ 的关系，则可用 1 位 α 进制的数直接转换为 K 位 β 进制的数。

③ K 位一组的分组规则是，整数从低位到高位每隔 K 位分一组，最高位不够 K 位的在其前以 0 补足；小数从高位到低位每隔 K 位分一组，最低位不够 K 位的在其后以 0 补足。

例 1.1.5 将二进制数 **1011010011.1011** 转换为八进制数。

解：在此例中 $\alpha=2$，$\beta=8$，显然 $2^3=8$，两种进制进位基数之间满足 $\alpha^K=\beta$ 的关系，$K=3$，可用直接转换法将二进制数转换为八进制数。首先将待转换的二进制数按 3 位一组分组，前后虚线

$$\underbrace{\boxed{00}1}_{1}\,\underbrace{011}_{3}\,\underbrace{010}_{2}\,\underbrace{011}_{3}\,.\underbrace{101}_{5}\,\underbrace{1\boxed{00}}_{4}$$

框内为补足 3 位的 **0**，这样就可 3 位并 1 位而直接得到转换后的八进制数，即