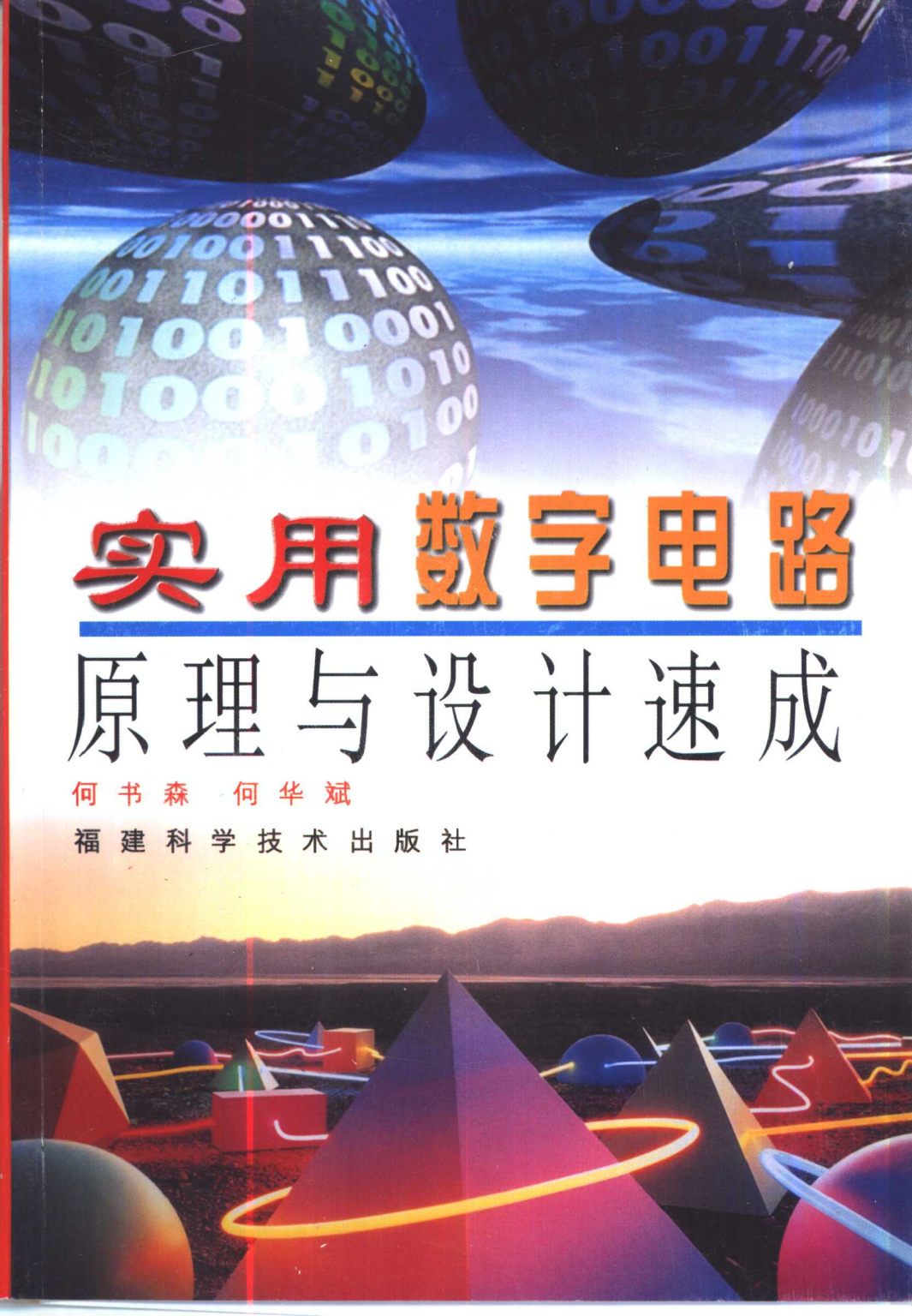


The background of the cover is a vibrant, abstract digital landscape. In the upper half, several large, dark spheres float against a blue and purple sky. These spheres are covered in glowing binary code (0s and 1s) in various colors like green, yellow, and white. Below the spheres, a bright, glowing horizon line separates the sky from a dark, silhouetted landscape of mountains. In the foreground, there are several large, colorful geometric shapes: a prominent purple pyramid in the center, a red pyramid to the right, and a blue sphere to the left. These shapes are interconnected by glowing, wavy lines in orange, yellow, and blue, suggesting a complex digital circuit or data flow. The overall aesthetic is futuristic and high-tech.

实用数字电路

原理与设计速成

何书森 何华斌

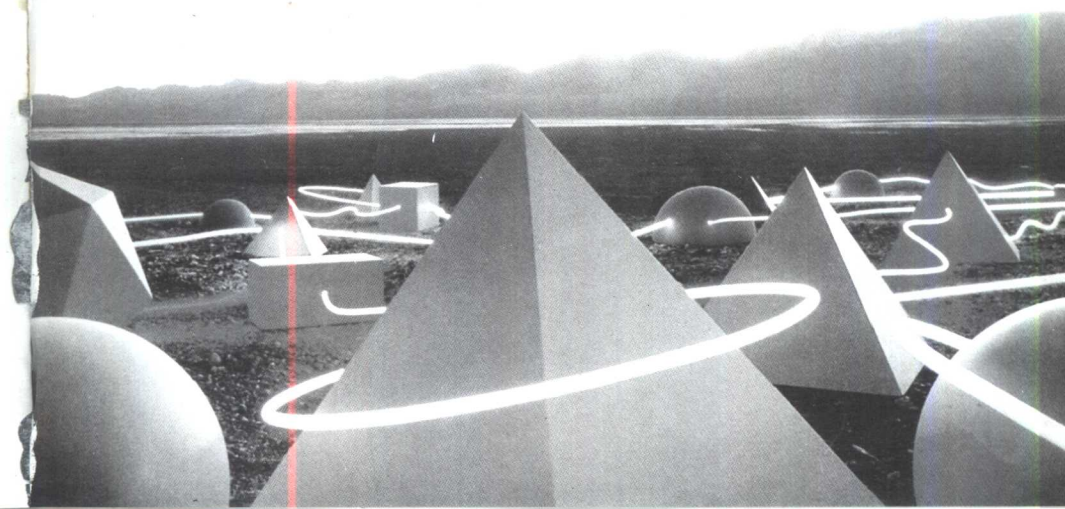
福建科学技术出版社

实用数字电路

原理与设计速成

何书森 何华斌

福建科学技术出版社



图书在版编目 (CIP) 数据

实用数字电路原理与设计速成/何书森, 何华斌编著.
—福州: 福建科学技术出版社, 2000. 6 (2002. 1 重印)
ISBN 7-5335-1651-6

I. 实… II. ①何…②何… III. 数字电路 N. TN79

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 12434 号

书 名	实用数字电路原理与设计速成
作 者	何书森 何华斌
出版发行	福建科学技术出版社 (福州市东水路 76 号, 邮编 350001)
经 销	各地新华书店
排 版	福建科学技术出版社照排室
印 刷	福州市屏山印刷厂
开 本	850 毫米×1168 毫米 1/32
印 张	10.875
插 页	2
字 数	256 千字
版 次	2000 年 6 月第 1 版
印 次	2002 年 1 月第 3 次印刷
印 数	10 001—15 000
书 号	ISBN 7-5335-1651-6/TN·227
定 价	15.00 元

书中如有印装质量问题, 可直接向本社调换

前 言

20 世纪末，数字技术、数字器件得到了十分迅速的发展，在近代通讯控制、电子测量等众多领域，都广泛地使用了数字技术和数字电路。

数字器件及集成电路制造技术的不断进步，向传统的应用设计方法提出了挑战。使用小规模基本集成器件设计复杂的逻辑系统、时序系统的做法已成为过去。目前有关数字电路系统的设计，都尽量地采用中、大规模数字集成电路和功能模块。对于一般的应用工程技术人员来说，最重要的是如何灵活运用各种现成的芯片、功能器件来搭构数字系统，而无需详细深入地了解芯片内部的结构和机理。有关数字系统中较深层次的理论，应用者也完全可以不必过多地理会。只要掌握数字电路中的一些最基本的基础理论，多了解各类数字集成芯片以及它们的外部特性并借助产品手册，就能对付大多数的应用场合。而对于一些更加复杂的数字系统，目前最实用的方法则是采用微机技术。

本着快速掌握、即学即用和实用易学的宗旨，本书采取了理论从略、应用从详的原则，在简要说明了基本知识和基本理论之后，着重介绍一些实用方法和实用器件。本书的各部分都列举了较多的应用实例，以期对广大读者有所助益。

值得一提的是，随着微控制器（单片机）技术的日益完善、器件价格的不断下降以及它们的普及应用，本书中所列举的很多较复杂的例子都可以使用微控制器来实现，从而设计出更加简洁、性能更完善的应用系统。因此仅从应用角度考虑，这些例子并不是

NA125/01

最优的方案，但从学习数字电路的需要出发，它们却仍不失其意义。

本书可作为已具备一些数字电路基础知识的广大电子爱好者进一步学习的材料，也可供各类理工大中专学生作为电子技术课程的参考书籍。

限于笔者的水平和时间，书中的疏漏乃至错误恐所难免，敬请广大读者批评指正。

编著者

2000 年 1 月

目 录

第一章 概述	(1)
第一节 数字电路的特点.....	(1)
第二节 数字电路的分类.....	(2)
第三节 数字电路设计的一般过程.....	(3)
第四节 集成电路使用中的几个问题.....	(6)
第二章 逻辑门电路的组合应用	(9)
第一节 基本逻辑门电路的测试方法.....	(9)
第二节 典型集成逻辑门电路器件	(11)
第三节 组合逻辑电路的综合与分析	(20)
一、分析组合逻辑电路的基本方法	(20)
二、逻辑电路综合应用的基本方法	(22)
三、三态门及其典型集成电路	(24)
四、编码器及其实用集成电路	(28)
五、译码器及其实用集成电路	(36)
第四节 逻辑门电路应用举例	(47)
一、逻辑门电路在控制电路中的应用	(47)
二、逻辑门电路在信号放大方面的应用	(51)
三、逻辑门电路在检测方面的应用	(53)
第三章 数码显示电路	(57)
第一节 数码显示器件	(57)
第二节 数码显示方法和电路	(62)

一、静态显示方法	(63)
二、动态显示方法	(67)
三、串行/并行转换显示方法	(69)
四、七段液晶显示器显示电路	(73)
第四章 集成双稳态触发器	(75)
第一节 基本 R-S 触发器	(75)
一、基本 R-S 触发器的构成及逻辑功能	(75)
二、基本 R-S 触发器应用举例	(77)
第二节 J-K 触发器	(79)
一、J-K 触发器的逻辑功能	(79)
二、J-K 触发器应用举例	(81)
第三节 D 触发器	(83)
一、D 触发器的逻辑功能	(83)
二、D 触发器应用举例	(85)
第五章 时序电路	(88)
第一节 寄存器	(88)
一、并行输入/并行输出寄存器及其应用	(89)
二、串行输入/串行(并行)输出移位寄存器及其应用	(92)
三、并行(串行)输入/串行输出移位寄存器及其应用	(94)
第二节 计数器	(96)
一、2 ⁿ 进制计数器的构成原理	(97)
二、二—十进制计数器的构成原理	(100)
三、任意进制计数器的构成方法	(103)

四、典型集成计数器举例.....	(112)
第三节 时序电路应用举例.....	(117)
一、1~99 分频电路 (倒计数电路)	(117)
二、灯流控制电路.....	(119)
三、SZ—9201 专用彩灯控制集成电路应用电路	(122)
四、流速流向可自控的灯流控制集成电路.....	(125)
五、数字钟电路.....	(127)
六、物件检数—报警电路.....	(129)
七、开关型混音器.....	(134)
八、简易频率测量电路.....	(136)
九、一种 64 键的键盘设计方案	(141)
十、快速心率检测电路.....	(145)
十一、计数定时集成电路 XR2240 的应用	(152)
第六章 脉冲波形发生器和整形电路	(156)
第一节 多谐振荡器.....	(156)
一、RC-门电路多谐振荡器	(157)
二、晶体-门电路多谐振荡器	(159)
三、多谐振荡器应用实例.....	(161)
第二节 函数波形发生器.....	(165)
一、ICL8038 函数波形发生器的基本工作原理.....	(165)
二、ICL8038 的典型接法	(166)
三、ICL8038 的正弦变换原理.....	(167)
四、ICL8038 的典型应用	(170)
第三节 单稳态触发器.....	(171)
一、微分型单稳态触发器.....	(171)
二、积分型单稳态触发器.....	(173)

三、集成单稳态触发器.....	(173)
四、单稳态触发器的应用.....	(178)
第四节 施密特触发器.....	(183)
一、由门电路构成的施密特触发器.....	(184)
二、由运算放大器/电压比较器构成的施密特触发器.....	(186)
三、集成施密特触发器.....	(187)
四、施密特触发器的应用.....	(188)
第五节 多功能集成电路 555 和 556	(194)
一、555 定时器的内部结构和工作原理	(194)
二、双定时器 556 简介.....	(196)
三、555 构成的延时电路	(197)
四、555 构成的占空比可变的多谐振荡器	(200)
五、555 构成的施密特触发器	(202)
六、典型应用举例.....	(203)

第七章 D/A 与 A/D 转换电路 (211)

第一节 数/模 (D/A) 转换电路	(211)
一、D/A 转换电路基本结构原理	(211)
二、D/A 转换电路芯片 5G7520 (AD7520)	(213)
三、D/A 转换电路应用举例	(217)
第二节 模/数 (A/D) 转换电路	(222)
一、逐次逼近型 A/D 转换器	(223)
二、双积分型 A/D 转换器	(227)
第三节 V/F 变换	(236)
一、V/F 变换器 LM331 简介	(236)
二、LM331 (LM231) 的基本应用	(238)

三、高精度 V/F 变换器	(239)
四、V/F 变换器应用举例	(240)
第八章 数字语音电路	(244)
第一节 语音的数字合成方法	(244)
第二节 常用语音集成电路的种类	(247)
第三节 语音集成电路应用举例	(250)
一、DRAM 语音处理器 VTV001B	(250)
二、SRAM 语音处理器 UM93510AF/BF	(254)
三、单片不挥发语音录放集成电路 ISD1400 系列	(258)
第九章 数字遥控电路	(268)
第一节 遥控专用编解码集成电路	(268)
一、HT-12E/HT-12F 编码/解码集成电路	(268)
二、HT-12D 解码集成电路	(270)
三、PT2262 编码与 PT2272 解码集成电路	(271)
四、VD5026 编码与 VD5028/VD5027 解码集成电路	(272)
五、双向编解码集成电路 UM3758-108A	(273)
六、红外遥控专用集成电路	(277)
第二节 遥控电路举例	(283)
一、一种简单的红外线遥控开关	(283)
二、红外线遥控防盗密码锁	(286)
三、机房电源集散型控制系统	(290)
四、无线地址加密遥控报警装置	(294)

第十章 数字电路综合应用	(299)
第一节 家用电风扇电子调速电路.....	(299)
第二节 一种简易的录/放音机带速测量电路	(301)
第三节 旋转体正反转计数电路.....	(304)
第四节 简易数字控制电路.....	(309)
第五节 电话传呼报警电路.....	(314)
第六节 电话遥控电路.....	(319)
 附录 常用数字集成电路型号及引脚.....	 (325)

第一章 概述

数字电路的产生和发展是电子技术发展的重要标志，它在现代电子技术中占有十分重要的地位。由于数字电路比模拟电路具有更多更独特的优点，因此它在通讯、电视、雷达、自动控制、电子测量、电子计算机等各个科学领域都得到了非常广泛的应用。数字电路应用的广度和深度标志着现代电子技术发展的水平。

第一节 数字电路的特点

工程上把电信号分为模拟信号和数字信号两大类。模拟信号是指大小随时间连续变化的信号。用于传输、处理模拟信号的电路称为模拟电路。数字信号不随时间连续变化，它是断续变化的、离散的信号，通常也称为脉冲信号。用于传输、处理数字信号的电路称为数字电路。数字电路具有以下显著特征：

(1) 数字信号采用二值信息——高电平和低电平，只有两种取值，所以数字电路在结构、工作状态、研究内容、分析方法等各方面都与模拟电路完全不同。

(2) 数字电路中的晶体管只工作在饱和与截止两种状态，即工作于“开关”状态。这些状态的外部表现是电流的有、无，电压的高、低，因此有和无、高和低的两种对立状态可以与电路中的二值信息分别对应，用来表示二值信息。这二值信息通常记为“1”和“0”。

(3) 数字电路是由几种最基本的单元电路组成的，这些基本

单元电路对元件的精度要求不高，允许有较大的误差范围。因为数字信号的“1”和“0”没有数量的含义，只有状态的含义，所以电路在工作中只要能够可靠地区别“1”和“0”两种状态就可以了。因而组成数字电路的单元结构比较简单，具有便于集成化和系列化生产、工作准确可靠、成本低廉、使用方便等优点。

(4) 对于数字电路，人们研究的主要问题是输入信号的状态（0 或 1）和输出信号的状态（0 或 1）之间的逻辑关系，以反映电路的逻辑功能。数字电路的研究内容一般可以归为两类：一类是分析已有电路的逻辑功能，称为逻辑分析；另一类是根据逻辑功能的要求设计出满足该逻辑功能的电路，称为逻辑设计。

(5) 数字电路能够对数字信号进行各种逻辑运算和算术运算。所谓逻辑运算，就是按照逻辑规则进行逻辑推理和逻辑判断。正因为数字电路不仅具有运算能力，还具有逻辑思维与判断能力，人们才能制造出各种数控装置、智能仪表以及电子计算机等现代化的科技产品，并使它们得到十分广泛的应用。

第二节 数字电路的分类

数字电路按其组成的结构可以分为集成电路和分立元件电路两大类，其中集成电路的集成度（在同一块基片上包含的元件数量的多少）分为小规模（SSI）、中规模（MSI）、大规模（LSI）、超大规模（VLSI）几种。SSI 集成度约为 1~10 门/片或 10~100 元件/片，主要是一些简单的逻辑单元，如逻辑门电路、集成触发器等；MSI 集成度约为 10~100 门/片或 100~1000 元件/片，主要是一些逻辑功能部件，如译码器、编码器、选择器、计数器、寄存器、转换电路、算术运算部件等；LSI 集成度大于 100 门/片或 1000 元件/片，此类集成芯片通常是一些数字逻辑系统，如中央控

制器、存储器等；VLSI 集成度在 1000 门/片或 10 万元件/片以上，是高集成度的数字逻辑系统，例如在一片硅片上集成了一台完整的微型计算机。

按照电路所用器件的不同，数字集成电路可分为双极型（晶体三极管型）和单极型（场效应管型）两大类。其中双极型电路常用的类型又有标准型 TTL、高速型 TTL（H-TTL）、低功耗型 TTL（L-TTL）、肖特基型 TTL（S-TTL）、低功耗肖特基型 TTL（LS-TTL）等；单极型电路又有 JFET、NMOS、PMOS、CMOS 等。

根据电路逻辑功能的不同，数字电路又可分为组合逻辑电路和时序逻辑电路两大类。

第三节 数字电路设计的一般过程

一般情况下，电子系统设计的最终目标是做出生产样机或定型产品，整个设计过程大致可以分为以下几个步骤：

1. 方案设计

方案设计是指根据设计任务给定的技术指标和条件设计出完整的电路，这一过程通常称为“预设计”，其主要内容包括：画出各主要单元电路、信号通路及重要控制信号的概貌框图；画出构成各单元电路的详细原理图；拟定进行方案实验的具体装配图，同时配以必要的文字说明来解释系统工作的原理，并指出所采用的某些“技巧”或一些不明显的假设等。

画框图的基本原则是：比较简单的电路框图一般由几个方框构成，复杂一些的电路可以由十多个方框构成，通常将所有的框图画在一张图纸上，较庞大的电路可附加各个单元电路的方框图。所画方框图不必太详细，但也不能过于含糊，必须能够反映出各

单元之间的相互关系、输入和输出以及控制点的设计思想，要能清晰地表示出各种信息的流向，但不必指出各个框图所包含的具体器件。

总体方案设计的基本方法：首先根据总的功能要求把复杂的逻辑系统分解成若干个独立单元，每个独立单元的功能再由若干个标准集成电路器件来完成。为了减少各单元电路之间由于连接而产生错误的机会，分解单元的数目一般不宜太多，每个单元也不能太大、太复杂；然后根据各单元的逻辑功能，选择合适的器件来完成所需的要求。要做好这一点，要求设计者不仅要具备一定的集成电路知识，而且要熟悉器件的种类、功能和特点。衡量一个电路设计的好坏，主要看它是否达到了技术指标的要求以及能否长期可靠地运行，此外还要经济实用、容易制作、维修方便等。

应当指出，一种较为理想的方案不是轻而易举就能很快拟定的，它往往需要设计者进行广泛的调查研究，查阅大量的参考文献资料，再进行反复的比较、论证才能最后确定下来。要构成比较理想的电路，设计者除了要具备较为丰富的经验和很强的想象力之外，还应该尽可能多地熟悉各种典型电路的逻辑功能。

2. 方案实验

实践证明，由于生产实际的复杂性以及电子元器件参数的分散性，再加上设计者经验的局限，一个仅根据理论设计出来的电路往往是不成熟的，甚至可能存在着许多问题。要想不通过实验就把这些问题检查出来并给予解决是十分困难的，因此在完成方案的预设计后，需要构造实际的电路进行装调实验。通过调试，可以发现与设计要求不相符合的实验现象，这时如果善于从理论到实践的结合中分析原因，就能较快地找出解决问题的方法和途径，从而完善预设计方案，使之达到规定的技术指标。如果说方案设

计是搞好系统设计的先决条件，那么实验调试可以说是解决问题的决定性步骤。

在进行实际的方案实验时，往往会出现许多预先估计不到的现象，难免需要改变某些参数或更换元件，甚至修改方案。为方便起见，通常先把电路搭在试验板或专用实验箱上进行实验。但应当指出，由于许多系统比较复杂，因此在方案实验阶段一般只能对其中的关键部分或所采用的新电路、新技术等进行实验，而对于那些很有把握、很成熟的内容，则可以不做实验。

3. 工艺设计

在方案确定并通过实验后，就可以进行正式电路板的设计以及整机结构的设计，这一过程必须综合考虑各单元、各元件的布局排列以及整机的结构。其基本原则是走线清晰，结构紧凑、牢靠、加工容易、拆装及维修方便，能够采用标准件的尽可能采用标准件，设计思想必须以图纸、文字说明等文件来体现。

4. 样机制作和调试

完成上列各步骤后，即可进行电路板的加工、样机外壳及机架的加工、元件的组装焊接，最后进行整机调试和各项指标测试等工作，最终形成符合设计技术指标的样机。

5. 总结鉴定

形成书面的设计总结报告，聘请同行专家共同考核样机设计的合理性，测试样机是否达到规定的各项指标、能否长期可靠地运行等，一般只有通过技术鉴定后方可投入试生产。

设计数字逻辑电路的传统方法，一般是根据任务的要求先画出状态图和状态表，再利用布尔代数以及卡诺图等方法化简，求出简化的逻辑表达式，然后画出逻辑电路。近年来，由于中、大规模集成电路的迅速发展，这些工作大部分已由生产器件的工厂完成，厂家为我们提供了各种功能性很强的标准微电子集成电路，

这就使得数字逻辑电路的设计也发生了根本性的变化。现在的设计中要考虑的主要是如何利用各种标准的功能集成电路来综合成满足需要的逻辑电路系统，而在较复杂的逻辑系统中，又都使用了微控制器（俗称单片机），这使电路本身的设计工作更趋简化，电路结构更加简洁。

实践证明，在数字逻辑电路的设计中多使用中、大规模集成电路，不仅可以减少组件的数目、降低成本，而且能提高电路的可靠性，只有在确实需要时，才使用少量的小规模集成电路和分立元件。因此我们在讨论设计方案时，将着重研究如何选择合适的集成电路，以及怎样用最简单的连接关系来完成设计。

第四节 集成电路使用中的几个问题

与TTL集成电路相比，CMOS集成电路除速度稍低外，其他方面具有绝大多数的优势，特别是功耗低、价格便宜、工作稳定性能好、集成度高、参数一致、抗干扰能力强、电源电压适应范围宽等显著优点，使它得到了越来越广泛的使用。集成电路在使用过程中应注意以下几点：

(1) TTL电路的电源正端通常标以“ U_{CC} ”，负端标以“GND”；而CMOS电路的电源正端标以“ U_{DD} ”，负端标以“ U_{SS} ”，使用时一般将“ U_{SS} ”端接地。有些集成电路使用了正、负电源，此时应把“ U_{SS} ”端接负电源，一般正负电源的大小相等。

(2) CMOS电路的输入阻抗很高，当输入端处于开路状态时，极易接受外界的静电感应而产生静电高电压。为了防止静电高压造成的击穿，厂家在生产器件时，已在输入端加入了保护电路，但为了安全起见，使用时仍须注意下列几点：

①器件在存放、运输时要放入导体制成的容器内，或用金属