

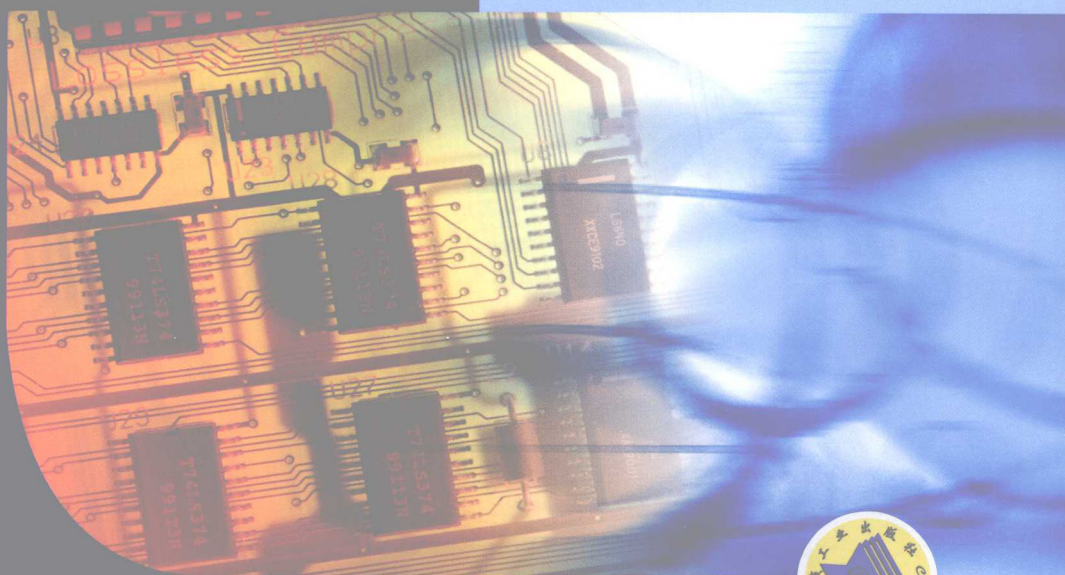


普通高等教育“十二五”电气信息类规划教材

MC9S12 单片机原理及 嵌入式应用开发技术

陈万忠 主 编
李洪霞 赵静荣 副主编

MC9S12 DANPIANJI YUANLI
JI QIANRUSHI YINGYONG KAIFA JISHU



免费电子课件



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育“十二五”电气信息类规划教材

MC9S12 单片机原理及嵌入式应用开发技术

陈万忠 主 编
李洪霞 赵静荣 副主编



机械工业出版社

本书以飞思卡尔全国大学生智能汽车竞赛组委会推荐芯片 MC9S12XS128 为蓝本, 深入讲解 CPU 及片内外设工作原理, 介绍单片机嵌入式应用的开发方法。本书首先简要介绍了单片机的基本概念, 从门电路到单片机的硬件演进过程; 然后按 CPU、存储器、I/O 口、时钟和复位的顺序, 讲述 MCU 内部结构和工作原理; 对 MC9S12XS128 的指令系统、中断系统、串行口、定时计数模块和 A-D 转换模块进行了详细分析; 介绍了单片机嵌入式应用的开发方法, 并给出相应的范例。最后给出智能车制作调试范例。本书原理的讲述力求简洁透彻, 范例的选择具有工程背景, 便于读者移植使用。本书的内容为读者提供了单片机学习和智能车制作的一个快速入门的方法。

本书可以作为电气信息类、机电一体化类和仪器仪表类等相关专业本科生和研究生的教材或教学参考书, 并适合作为参加全国大学生智能汽车竞赛参赛人员的参考用书。

本书配有免费电子课件, 欢迎选用本书作教材的老师发邮件到 jinaemp@163.com 索取, 或登录 www.cmpedu.com 注册下载。

图书在版编目 (CIP) 数据

MC9S12 单片机原理及嵌入式应用开发技术/陈万忠主编. —北京: 机械工业出版社, 2012. 7

普通高等教育“十二五”电气信息类规划教材

ISBN 978-7-111-38307-9

I. ①M… II. ①陈… III. ①单片微型计算机—高等学校—教材②单片微型计算机—系统开发—高等学校—教材 IV. ①TP368.1②TP360.21

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 160438 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: 吉玲 责任编辑: 吉玲 卢若薇

版式设计: 纪敬 责任校对: 张媛

封面设计: 张静 责任印制: 乔宇

北京机工印刷厂印刷 (三河市南杨庄国丰装订厂装订)

2012 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·19.75 印张·549 千字

标准书号: ISBN 978-7-111-38307-9

定价: 43.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心: (010) 88361066 教材网: <http://www.cmpedu.com>

销售一部: (010) 68326294 机工官网: <http://www.cmpbook.com>

销售二部: (010) 88379649 机工官博: <http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线: (010) 88379203 封面无防伪标均为盗版

前 言

本书系统介绍了 Freescale（飞思卡尔）公司的 S12XS 微控制器（MCU）的硬件结构和工作原理，以 MC9S12XS128 为例详细分析了各个片内外设功能模块的硬件结构、工作原理和使用方法，同时介绍了 MCU 最小系统，程序设计、下载和动态调试方法，单片机嵌入式应用系统的设计，给出了飞思卡尔智能车大赛用车的设计范例。

单片机的学习不仅要学习硬件，还要学习软件，根据我们多年的教学实践，学生在学习单片机时，由于前期电类基础不尽相同，如何能够深入理解单片机的工作原理，并尽快上手操作，实现针对硬件编程、调试，一直是单片机教学和学习过程中的难点。为此，本书在章节的编排和内容的选取上，尽量做到零基础起步，采用从原理到实践，最后到系统设计的方法，使得电类基础薄弱的读者也能尽快掌握单片机的工作原理。本书在硬件上讲述单片机内部结构和工作原理时，采用 CPU、存储器、I/O 口、时钟和复位的顺序，读者在了解单片机内部结构之后，马上就能够组成单片机最小系统，并上手操作。只要有一点计算机基础的读者，就能够通过范例操作，看到 I/O 控制发光二极管的亮灭，激发读者学习兴趣，达到快速入门的目的。

第 1 章简要讲述单片机的概念，单片机的广泛应用，单片机的发展历程，从门电路到单片机的硬件演进过程，并对常用的数制转换进行了介绍，对飞思卡尔 16 位单片机的特点及命名规则也进行了介绍。

第 2 章主要介绍 S12XS 单片机的内部模块及引脚功能。以 MC9S12XS128 为例，从硬件上详细分析 CPU 取指、译码、操作以及标志设定和堆栈使用过程；存储器结构及地址映射管理过程的地址管理、I/O 口管理方法；通过内部锁相环获得内部总线时钟的相关寄存器设置方法；介绍了复位的工作原理。

第 3 章讲述如何用最简单的硬件和软件使单片机运行，通过实例告诉你，其实单片机入门并不难。

第 4 章介绍 S12 单片机指令集、指令寻址方式和汇编语言程序设计方法。

第 5 章讲述中断的概念、MC9S12XS128 中断源、中断响应和执行过程、中断优先级和中断嵌套，通过外部中断范例，理解中断响应是如何实现的。

第 6 章从总体上介绍串行通信的基本知识，包括并行通信与串行通信，同步串行通信和异步串行通信及数据格式；常用异步串行通信标准；介绍 S12XS 同步串行模块 SPI 和异步串行模块 SCI 的工作原理及相关寄存器的功能和设置方法。

第 7 章讲述定时中断 PIT、定时器 TIM 和 PWM 等内容，每部分内容都有相应的范例。

第 8 章介绍 A-D 转换模块中包含的逐次比较式 A-D 转换器的工作原理，MC9S12XS128 的 A-D 转换模块结构和工作原理，按功能分类介绍了相关寄存器的设置方法，通过范例理解相关寄存器的设置和使用。

第 9 章讲述了 MC9S12XS128 单片机嵌入式应用的开发方法，介绍 $\mu\text{C}/\text{OS II}$ 的概念及其移植和任务编写方法，通过范例介绍单片机嵌入式应用系统的开发流程。

第 10 章介绍了单片机测控系统的设计原则，阐述了键盘、显示接口扩展方法。

第 11 章针对飞思卡尔智能车大赛的用车实例，详细介绍了两类智能车设计开发方法，

对比赛用车的整体设计具有指导意义。

附录 A 是便于用户查询的指令表，附录 B 是最小系统板和扩展板的 PCB 元器件布置图。

本书原理的讲述力求简洁透彻，范例的选择具有工程背景，便于读者移植使用。本书对寄存器是按功能分类介绍的。

本书由陈万忠担任主编，李洪霞和赵静荣担任副主编。顾海军编写了第 1 章，马海涛编写了第 2 章的 2.1 节、2.2 节、2.3 节，李洪霞编写了第 4 章，洪伟编写了第 6 章的 6.2 节和 6.3 节，赵静荣编写了第 7 章和第 10 章，刘聪编写了第 9 章，康冰编写了第 11 章，其余部分由陈万忠编写并统稿。感谢研究生李勇强、姜瑞、孙保峰、高韧杰、崔冰一、雷俊、张勇和范越宇在调试程序和绘制插图方面的贡献。本书编写过程中参考了许多单片机专家的著作，谨向作者致以崇高的敬意。

感谢清华大学飞思卡尔中心的支持和帮助。

衷心感谢飞思卡尔公司马莉女士和康晓敦先生长期以来提供的帮助。

本书为读者提供了单片机学习和智能车制作的一个快速入门的方法，作者深感自己知识的局限，深入的内容未作讨论，书中难免会有疏漏和不妥之处，诚请读者指正。联系信箱：
chenwz@jlu.edu.cn。

作 者

目 录

前言

第 1 章 单片机概述	1
1.1 单片机简介	1
1.2 单片机的广泛应用	1
1.3 单片机的发展历史	3
1.4 从门电路到单片机	3
1.4.1 半导体晶体管的开关特性	3
1.4.2 组合逻辑电路	4
1.4.3 时序逻辑电路	8
1.4.4 单片机的硬件构成	9
1.5 数制转换	10
1.6 飞思卡尔 16 位单片机	12
1.6.1 Freescale 16 位单片机命名参考 规则	12
1.6.2 MC9S12X 系列单片机	12

第 2 章 S12XS 单片机的内部结构

分析	15
2.1 MC9S12XS 单片机的性能	15
2.1.1 MC9S12XS 内部模块	15
2.1.2 MC9S12XS 单片机的引脚及功能	16
2.2 CPU 的构成	19
2.2.1 算术逻辑单元 (ALU)	19
2.2.2 控制单元	20
2.2.3 核心寄存器组	21
2.3 存储器	22
2.3.1 基本存储空间	22
2.3.2 扩展地址空间	23
2.3.3 全局存储器映射	23
2.3.4 MC9S12XS128 全局存储器映射	25
2.4 并行 I/O 口	26
2.4.1 A、B、E 和 K 口	27
2.4.2 T、S、M、P、H 和 J 口	28
2.4.3 AD 口	29
2.5 时钟与复位模块	29
2.5.1 时钟模块	29
2.5.2 锁相环应用范例	33
2.5.3 复位	35

第 3 章 单片机最小系统与软件运行

环境	36
----------	----

3.1 硬件电路设计	36
3.1.1 单机电源电路设计	36
3.1.2 S12 单片机时钟电路设计	37
3.1.3 复位电路设计	38
3.1.4 BDM 接口电路设计	38
3.2 Code Warrior V5.1 软件使用指南	39
3.2.1 软件安装	39
3.2.2 关于 BDM 驱动	40
3.2.3 创建一个新的工程	40
3.3 并口输出范例	43
3.3.1 编写简单的应用程序	44
3.3.2 LED 闪动程序	45
3.3.3 复位自检程序	45
3.3.4 流水灯程序	46

第 4 章 指令系统

4.1 S12 汇编指令集	48
4.2 指令的分类	48
4.2.1 数据传送类指令	48
4.2.2 算术运算类指令	50
4.2.3 逻辑运算类指令	52
4.2.4 程序控制指令	55
4.3 寻址方式	57
4.4 汇编语言程序设计	59
4.4.1 汇编管理指令	59
4.4.2 汇编语言程序设计举例	60

第 5 章 中断系统

5.1 中断的概念	61
5.2 中断源	61
5.3 S12XS 单片机的中断响应和中断 返回	64
5.4 优先权排队	65
5.5 中断嵌套	65
5.6 中断服务子程序设计	66
5.6.1 IRQ 使用范例	66
5.6.2 XIRQ 使用范例	68

第 6 章 串行口

6.1 串行通信概述	71
------------------	----

6.1.1 串行通信的两种基本方式	71	9.2 移植 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$	145
6.1.2 发送时钟和接收时钟	72	9.2.1 重新定义内核的大小和功能	147
6.1.3 串行通信标准	73	9.2.2 OS_CPU.H	150
6.2 同步外设接口 SPI 模块	75	9.2.3 编写与硬件相关的代码	152
6.2.1 SPI 模块概述	75	9.2.4 中断服务子程序 $\text{OSTickISR}()$	152
6.2.2 SPI 寄存器	76	9.2.5 任务堆栈初始化函数 OSTask- $\text{StkInit}()$	153
6.2.3 SPI 应用范例	80	9.2.6 让优先级最高的就绪态任务开 始运行函数 $\text{OSStartHighRdy}()$	155
6.3 SCI 模块	82	9.2.7 任务级任务切换函数 $\text{OSCtxSw}()$	155
6.3.1 SCI 模块的结构及功能	82	9.2.8 中断级任务切换函数 $\text{OSIntCtxSw}()$	157
6.3.2 SCI 模块寄存器	84	9.2.9 相关接口函数	158
6.3.3 SCI 应用范例	87	9.3 应用范例	159
第 7 章 定时器相关模块	101	9.3.1 相关声明	159
7.1 定时器/计数器概述	101	9.3.2 主函数 $\text{main}()$	160
7.2 TIM 模块	101	9.3.3 系统任务函数 $\text{AppStartTask}()$	161
7.2.1 TIM 模块的结构及功能	102	9.3.4 用户任务 1 $\text{AppTask1}()$	162
7.2.2 TIM 模块寄存器	103	9.3.5 用户任务 2 $\text{AppTask2}()$	164
7.2.3 TIM 模块应用范例	108	9.3.6 用户任务 3 $\text{AppTask3}()$	165
7.3 PIT 模块	114	9.3.7 链接与程序定位	167
7.3.1 PIT 模块的结构及功能	115	第 10 章 单片机测控系统设计	168
7.3.2 PIT 模块寄存器	116	10.1 微机测控系统的组成	168
7.3.3 PIT 模块应用范例	118	10.1.1 微机测控系统硬件	168
7.4 PWM 模块	124	10.1.2 微机测控系统软件	169
7.4.1 PWM 功能	124	10.2 微机测控系统的常用器件	169
7.4.2 PWM 模块寄存器	124	10.2.1 集成运算放大器及其应用	169
7.4.3 PWM 模块应用范例	128	10.2.2 电压比较器	173
第 8 章 A-D 转换模块	134	10.2.3 隔离放大器	174
8.1 A-D 转换模块概述	134	10.2.4 光耦合器	176
8.1.1 A-D 转换原理	134	10.2.5 固态继电器	178
8.1.2 S12XS 系列 MCU 内置 A-D 转换模块	135	10.3 键盘、显示接口	179
8.2 A-D 转换寄存器	136	10.3.1 键盘	179
8.2.1 A-D 输入使能寄存器	136	10.3.2 7 段 LED 显示	180
8.2.2 A-D 控制寄存器	136	10.3.3 键盘显示接口范例	181
8.2.3 A-D 比较寄存器	140	第 11 章 飞思卡尔智能车设计范例	185
8.2.4 A-D 转换状态寄存器	140	11.1 关于飞思卡尔智能车大赛	185
8.2.5 A-D 结果寄存器	141	11.2 光电智能车设计技术	186
8.3 A-D 转换应用范例	141	11.2.1 机械结构及安装工艺	186
8.3.1 应用注意事项	141	11.2.2 硬件电路设计	190
8.3.2 应用范例	142	11.2.3 算法实现	197
第 9 章 嵌入式实时操作系统使用 范例	144	11.2.4 系统调试	199
9.1 嵌入式实时操作系统	144	11.3 CCD 摄像头智能车设计技术	209
9.1.1 嵌入式实时操作系统简介	144		
9.1.2 嵌入式实时操作系统 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$	144		

11.3.1 系统方案	209	附录 A S12X CPU 汇编指令表	260
11.3.2 机械结构的设计与实现	209	附录 B 最小系统板和扩展板的 PCB 元器 件布置图	304
11.3.3 硬件电路设计	210	参考文献	306
11.3.4 软件系统的设计与实现	212		
附录	260		

第 1 章 单片机概述

本章介绍单片机的定义及其广泛的应用、发展历史，以及从门电路到单片机的硬件演进过程，复习数制转换，了解飞思卡尔 16 位单片机特点。

1.1 单片机简介

所谓单片机是在一块芯片上集成了中央处理器(CPU)、存储器(RAM、ROM)和 I/O 接口(并行口、串行口)，这样的一块芯片就具备了计算机的属性，因而称为单片微型计算机，简称单片机。

单片机最早是用在工业控制领域。最早的设计理念是通过将大量外围设备和 CPU 集成在一个芯片中，使计算机系统更小，更容易集成到复杂的且对体积要求严格的控制设备中。它是典型的嵌入式微控制器(Micro Controller Unit)。在国际上，常用英文缩写 MCU 表示单片机，而在我国则比较习惯于使用“单片机”这一名称。

由于单片机应用时通常是处于测控系统的核心地位并嵌入其中，为了强调其“嵌入”的特点，有时常常把单片机称为嵌入式微控制器(Embedded Micro Controller Unit, EMCU)。

1.2 单片机的广泛应用

单片机自 20 世纪 70 年代问世以来，以其体积小、重量轻、抗干扰能力强、可靠性高、灵活性好，以及较高的性能价格比等优点，受到了人们的重视和关注，各种产品一旦用上了单片机，就能起到使产品升级换代的功效。目前，单片机渗透到我们生活的各个领域，几乎很难找到哪个领域没有单片机的踪迹。导弹的导航装置，飞机上各种仪表的控制，计算机的网络通信与数据传输，工业自动化过程的实时控制和数据处理，广泛使用的各种智能 IC 卡，民用豪华轿车的安全保障系统，录像机、摄像机、全自动洗衣机的控制，以及程控玩具、电子宠物等，这些都离不开单片机，更不用说自动控制领域的机器人、智能仪表、医疗器械以及各种智能机械了。因此，单片机的学习、开发与应用将造就一批计算机应用与智能化控制的科学家、工程师。

单片机广泛应用于仪器仪表、家用电器、医用设备、航空航天、专用设备的智能化管理及过程控制等领域，大致可分为以下几个范畴。

1. 在智能仪器仪表上的应用

单片机具有体积小、功耗低、控制功能强、扩展灵活、微型化和使用方便等优点，广泛应用于仪器仪表中，结合不同类型的传感器，可实现诸如电压、功率、频率、湿度、温度、流量、速度、厚度、角度、长度、硬度、压力等物理量的测量。采用单片机控制使得仪器仪表数字化、智能化、微型化，且功能比起采用电子或数字电路更加强大，如精密的测量设备(功率计、示波器、各种分析仪)。

2. 在工业控制中的应用

用单片机可以构成形式多样的控制系统、数据采集系统，如工厂流水线的智能化管理系统、电梯智能化控制系统、各种报警系统等；与计算机联网构成二级控制系统等，如下所述。

1) 楼宇控制：三表、电力线载波、语音控制、电梯。

- 2) 照明系统: 荧光照明、固态照明。
- 3) 制造领域: 机械手、现场总线、不间断电源。
- 4) 零售终端: 磁卡读卡器、ATM。
- 5) 信息安全: 指纹识别、虹膜识别、人脸识别、语音识别等。

3. 在家用电器中的应用

可以这样说, 现在的家用电器基本上都采用了单片机控制, 从电饭煲、洗衣机、电冰箱、空调机、彩电及其他音响视频器材, 再到电子称量设备, 五花八门, 无所不在。

消费类电子就有以下几类。

- 1) 手持电子: 蓝牙耳机、游戏机、PDA。
- 2) 娱乐产品: 数码音乐、CD、DV。
- 3) 计算机外围: 液晶屏、鼠标、键盘。

4. 在计算机网络和通信领域中的应用

现代的单片机遇具备通信接口, 可以很方便地与计算机进行数据通信, 为在计算机网络和通信设备间的应用提供了极好的物质条件。现在的通信设备基本上都实现了单片机智能控制, 从手机、电话机、小型程控交换机、楼宇自动通信呼叫系统、列车无线通信, 再到日常工作中随处可见的集群移动通信、无线电对讲机等。例如:

- 1) 路由器, IP 电话, DSL 调制解调器。
- 2) 无线网关, 接入设备。
- 3) ATM 交换机。
- 4) 光纤路由产品。
- 5) 蓝牙。
- 6) WiFi。
- 7) Zigbee。
- 8) RFID。
- 9) GSM + CDMA + 3G。

5. 在医用设备领域中的应用

单片机在医用设备中的用途亦相当广泛, 如心电监护器械, 检测、康复仪器, 医用呼吸机, 各种分析仪、监护仪, 超声诊断设备及病床呼叫系统等。

6. 在各种大型电器中的模块化应用

某些专用单片机设计用于实现特定功能, 从而在各种电路中进行模块化应用, 而不要求使用人员了解其内部结构。例如, 音乐集成单片机, 看似简单的功能, 微缩在纯电子芯片中(有别于磁带机的原理), 就需要复杂的类似于计算机的原理, 如音乐信号以数字的形式存放于存储器中(类似于 ROM), 由微控制器读出转化为模拟音乐电信号(类似于声卡)。

在大型电路中, 这种模块化应用极大地缩小了电器体积, 简化了电路, 降低了损坏、错误率, 也便于更换。

7. 在汽车设备领域中的应用

单片机在汽车电子中的应用非常广泛, 如下所述。

- 1) 车身电子产品: 接入与远程控制、车身控制、载荷控制、GPS 导航系统。
- 2) 安全系统: 气囊系统、ABS 防抱死系统、半主动悬挂系统、电子助力系统、轮胎压力监控系统、电动助力转向系统等。
- 3) 驾驶员信息系統: 音响、语音控制、DIS 系统等。
- 4) 车辆网络系统: LIN、CAN、蓝牙电话、声控系统等。

5) 传动控制系统: 发动机信息系统、传动控制系统、燃油喷射系统等。

此外, 单片机在工商、金融、科研、教育、国防航空航天等领域都有着十分广泛的用途。

1.3 单片机的发展历史

在20世纪最值得人们称道的成就中, 就有集成电路和电子计算机的发展。20世纪70年代出现的微型计算机, 在科学技术界引起了影响深远的变革。20世纪70年代中期, 微型计算机家族中又分裂出一个小小的派系——单片机。随着4位单片机出现之后, 又推出了8位单片机。MCS48系列、特别是MCS51系列单片机的出现, 确立了单片机作为微控制器(MCU)的地位, 引起了微型计算机领域新的变革。在当今世界上, 微处理器(MPU)和微控制器(MCU)形成了各具特色的两个分支, 它们互相区别, 但又互相融合、互相促进。与微处理器(MPU)以运算性能和速度为特征的飞速发展不同, 微控制器(MCU)则是以其控制功能的不断完善为发展标志。

一般是以8位单片机的推出作为起点, 将单片机的发展历史大致分为4个阶段。

第一阶段(1976—1978): 单片机的探索阶段。

以Intel公司的MCS—48为代表。MCS—48的推出是在工控领域的探索, 参与这一探索的公司还有Motorola、Zilog等, 都取得了满意的效果。这就是单片微型控制器(SMC)的诞生年代, “单片机”一词即由此而来。

第二阶段(1978—1982): 单片机的完善阶段。

在以下几个方面奠定了典型的通用总线型单片机体系结构。

1) 完善的外部总线。设置了经典的8位单片机的总线结构, 包括8位数据总线、16位地址总线、控制总线及具有多机通信功能的串行通信接口。

2) CPU外围功能单元的集中管理模式。

3) 体现工控特性的位地址空间及位操作方式。

4) 指令系统趋于丰富和完善, 并且增加了许多突出控制功能的指令。

第三阶段(1982—1990): 8位单片机的巩固发展及16位单片机的推出阶段。

这一阶段也是单片机向微控制器发展的阶段。将一些用于测控系统的A-D转换器、程序运行监视器、脉宽调制器等纳入片中, 体现了单片机的微控制器特征。将许多测控系统中使用的电路技术、接口技术、多通道A-D转换部件、可靠性技术等应用到单片机中, 增强了外围电路功能, 强化了智能控制的特征。

第四阶段(1990—): 单片机的全面发展阶段。

随着芯片集成技术的发展, 单片机在各个领域全面深入地发展和应用, 出现了高速、大寻址范围、强运算能力的8位/16位/32位通用型单片机, 以及小型廉价的专用型单片机。

1.4 从门电路到单片机

单片机实质上是将1路数字电路的信号布尔运算, 发展成多路(8路、16路或32路)数字电路的信号并行布尔运算, 为了更好地理解单片机的原理, 这里对数字逻辑电路做简要介绍。

1.4.1 半导体晶体管的开关特性

半导体晶体管的开关特性如图1-1所示。对于NPN型晶体管, 当基极 b 加高电平时, 晶体管饱和导通, 相当于集电极 c 和发射极 e 之间的开关合上; 当基极 b 加低电平时, 晶体管截止, 相当于集电极 c 和发射极 e 之间的开关断开。这里晶体管相当于一个可控开关, 由基极 b 加上高、

低电平，来控制晶体管集电极 c 和发射极 e 之间的开和关。本书采用正逻辑，即高电平为“1”，低电平为“0”。输出 Y 则与 b 逻辑关系相反， $b=1$ 时， $Y=0$ ； $b=0$ 时， $Y=1$ 。相当于反相门（非门）， $Y=\bar{b}$ 。类似的原理，对于 N 型场效应晶体管， $Y=g$ ，相当于反相门；对于 P 型场效应晶体管， $Y=\bar{g}$ ，相当于同相门。

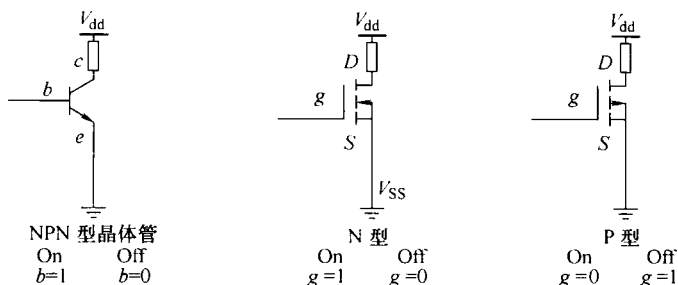


图 1-1 半导体晶体管的开关特性

选择合适的电路参数，就可以利用晶体管的开关特性组成基本的门电路。数字电子电路又称为逻辑电路，那是因为电路中的“1”和“0”还具有逻辑意义，如逻辑“1”和逻辑“0”可以分别表示电路的接通和断开、事件的是和否、逻辑推理的真和假等，电路的输出和输入之间是一种逻辑关系。这种电路除了能进行二进制算术运算外还能完成逻辑运算和具有逻辑推理能力，所以才把它叫做逻辑电路。

1.4.2 组合逻辑电路

组合逻辑电路的输出只和输入有关。

1. 门电路

几个基本的门电路如图 1-2 ~ 图 1-5 所示。对应的各图中，图 a 是硬件原理图，图 b 是输入输出关系的真值表，图 c 是逻辑符号。

(1) 非门

如图 1-2a 所示，当输入端 A 为高电平“1”时，上面的 P 型晶体管截止，下面的 N 型晶体管导通，输出 Y 为低电平“0”；当输入端 A 为低电平“0”时，上面的 P 型晶体管导通，下面的 N 型晶体管截止，输出 Y 为高电平“1”。则有 $Y=\bar{A}$ 。

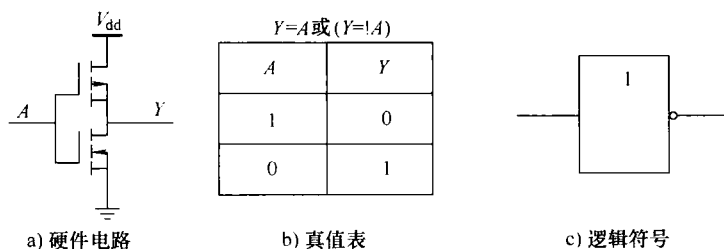


图 1-2 非门

(2) 与非门

如图 1-3a 所示，输入端 A 、 B 只要有一个为低电平“0”，就会使上边对应的 P 型晶体管导通，只要有一个 P 型晶体管导通，就会使输出 $Y=1$ ；当 A 和 B 同时为“1”时，则 P 型晶体管都截止，而下面的两个 N 型晶体管同时导通，输出 $Y=0$ 。则有 $Y=\overline{A \cdot B}$ 。

(3) 或非门

如图 1-4a 所示， A 和 B 只要有一个为高电平“1”，上面的 P 型晶体管截止，下面的 N 型晶体

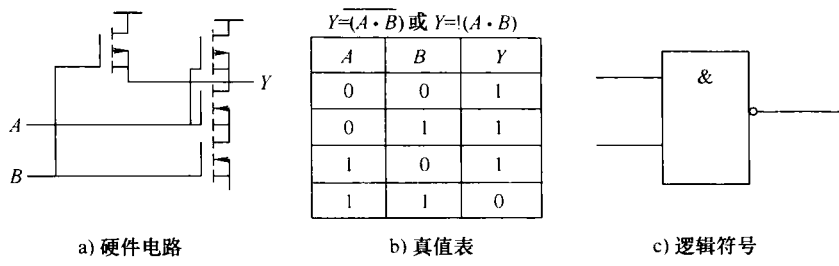


图 1-3 与非门

管则在高电平时导通，输出 $Y=0$ ；只有在 A 和 B 同时为低电平“0”时，上面的 P 型晶体管同时导通，此时下面的 N 型晶体管都截止，输出 $Y=1$ 。则有 $Y = A + B$ 。

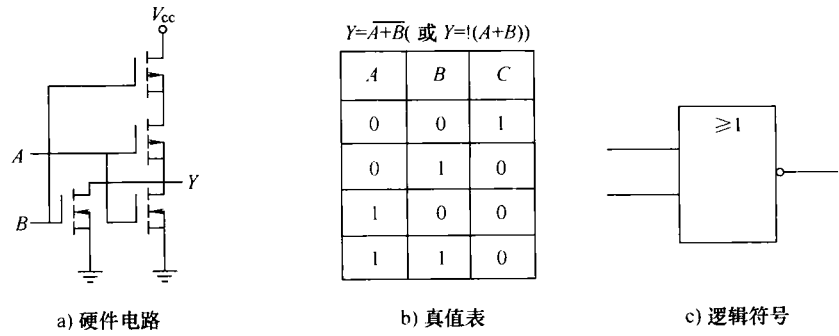


图 1-4 或非门

(4) 异或门

如图 1-5a 所示， A 、 B 逻辑相同，同时为“1”或同时为“0”，则输出 $Y=0$ ，否则 $Y=1$ ，简记为“相同为 0，不同为 1”。则有 $Y = A \oplus B$ 。

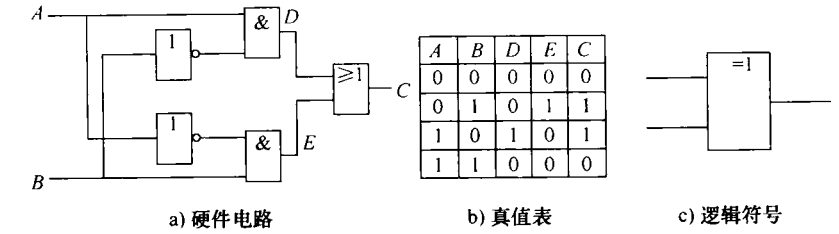


图 1-5 异或门

(5) 三态门

如图 1-6a 所示，当控制端 $EN=1$ 时，上面的 N 型晶体管导通，控制信号经反相器后，使下面的 P 型晶体管导通，输出端和输入端逻辑相同；当 $EN=0$ 时，上面的 N 型晶体管截止，控制

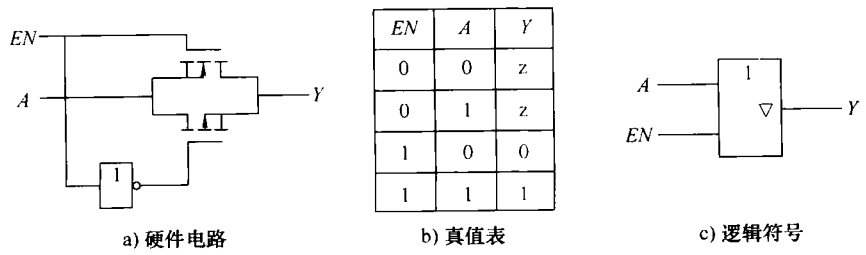


图 1-6 三态门

信号经反相器后,使下面的P型晶体管也截止,输出端呈现高阻状态。由于输出端有低电平、高电平和高阻三种状态,故称为三态门。

最基本的门电路组合起来可以得到各种复合门电路。

2. 编码器

能够把数字、字母变换成二进制数码的电路称为编码器。图1-7a是一个能把十进制数变成二进制码的编码器。一个十进制数被表示成二进制码必须为4位,常用的码是使从低到高的每一位二进制码相当于十进制数的1、2、4、8,这种码称为8421码或简称BCD码。所以这种编码器就称为“10线—4线编码器”或“DEC/BCD编码器”。

从图1-7a可以看到,编码器是由与非门组成的。它有10个输入端,用按键控制,平时按键悬空相当于接高电平1。它有A、B、C、D4个输出端,输出8421码。如果按下“1”键,与“1”键对应的线被接地,等于输入低电平0,于是门D输出为1,整个输出为0001。

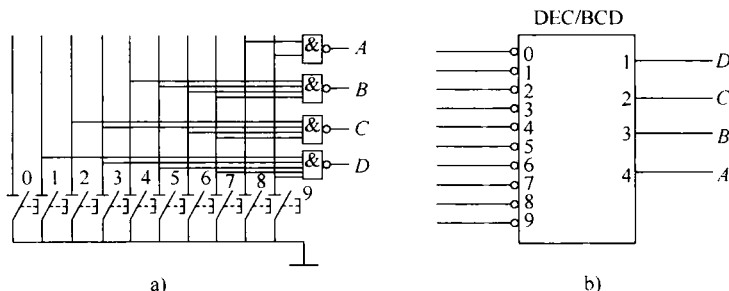


图1-7 编码器

如按下“7”键,则B门、C门、D门输出为1,整个输出为0111。如果把这些电路都做一个集成片内,便得到集成化的10线—4线编码器,它的逻辑符号如图1-7b所示。左侧有10个输入端,带小圆圈表示要用低电平,右侧有4个输出端,从上到下按从低到高排列,使用时可以直接选用。

3. 译码器

要把二进制码还原成十进制数就要用译码器,它也是由门电路组成的。如果要想把十进制数显示出来,就要使用数码管。现以共阳极发光二极管(LED)7段数码显示管为例,如图1-8所示。它有7段发光二极管,如每段都接低电平0,7段都被点亮,显示出数字“8”;如b、c段接低电平0,其余都接1,显示的是“1”。可见,要把十进制数用7段显示管显示出来还要经过一次译码。如果使用

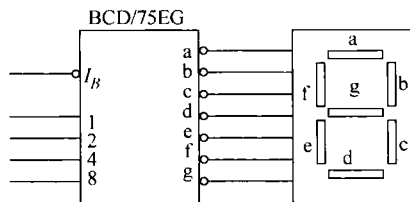


图1-8 译码电路

“4线—7线译码器”和显示管配合使用,就很简单了,输入二进制码可直接显示十进制数。译码器左侧有4个二进制码的输入端,右侧有7个输出可直接和数码管相连。左上侧另有一个灭灯控制端 I_B ,正常工作时应加高电平1,如不需要这位数字显示就在 I_B 上加低电平0,就可使这位数字熄灭了。

4. 加法电路

在数字电路中,常需要进行加、减、乘、除等算术运算,而乘、除和减法运算均可变换为加法运算,故加法运算电路应用十分广泛。

(1) 半加器

不考虑由低位来的进位,只有本位两个数相加,称为半加器。图1-9a分图是半加器的框图,b分图是其逻辑图,c分图是其图形符号。其中,A、B分别为被加数与加数,作为电路的输入;

S 为两数相加产生的本位和，它和两数相加产生的向高位的进位 C 一起作为电路的输出。

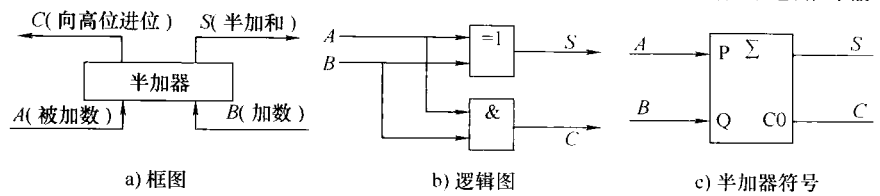


图 1-9 半加器框图、逻辑图和符号

根据二进制数相加的原则，得到半加器的真值表如表 1-1 所示。

表 1-1 半加器的真值表

信号输入		信号输出		信号输入		信号输出	
A	B	S	C	A	B	S	C
0	0	0	0	1	0	1	0
0	1	1	0	1	1	0	1

由真值表可分别写出和数 S 、进位数 C 的逻辑函数表达式为

$$S = \overline{A}B + A\overline{B} = A \oplus B$$
$$C = AB$$

由此可见， A 、 B 的和是一个异或逻辑关系，可用一个异或门来实现；进位逻辑可用一个与门实现。其逻辑电路如图 1-9b 所示。

(2) 全加器

除本位两个数相加外，还要加上从低位来的进位数，称为全加器。图 1-10 是全加器的框图。被加数 A_i 、加数 B_i 和从低位向本位的进位 C_{i-1} 作为电路的输入，全加和 S_i 与向高位的进位 C_i 作为电路的输出。能实现全加运算功能的电路称为全加电路。全加器的逻辑功能真值表如表 1-2 所示。

表 1-2 全加器逻辑功能真值表

信号输入端			信号输出端		信号输入端			信号输出端	
A_i	B_i	C_i	S_i	C_i	A_i	B_i	C_i	S_i	C_i
0	0	0	0	0	1	0	0	1	0
0	0	1	1	0	1	0	1	0	1
0	1	0	1	0	1	1	0	0	1
0	1	1	0	1	1	1	1	1	1

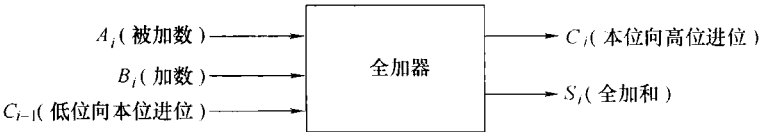


图 1-10 全加器框图

根据表 1-2 可以写出 S_i 和 C_i 的表达式，经过化简得到最简式为

$$\begin{aligned} S_i &= \overline{A_i}\overline{B_i}C_{i-1} + \overline{A_i}B_i\overline{C_{i-1}} + A_i\overline{B_i}\overline{C_{i-1}} + A_iB_iC_{i-1} \\ &= \overline{A_i}(B_i\overline{C_{i-1}} + \overline{B_i}C_{i-1}) + A_i(\overline{B_i}\overline{C_{i-1}} + B_iC_{i-1}) \\ &= \overline{A_i}(B_i \oplus C_{i-1}) + A_i\overline{(B_i \oplus C_{i-1})} \\ &= A_i \oplus B_i \oplus C_{i-1} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_i &= \overline{A_i} \overline{B_i} C_{i-1} + A_i \overline{B_i} C_{i-1} + A_i \overline{B_i} \overline{C_{i-1}} + A_i B_i \overline{C_{i-1}} + A_i B_i C_{i-1} \\
 &= C_{i-1} (A_i \overline{B_i} + A_i B_i) + A_i B_i (\overline{C_{i-1}} + C_{i-1}) \\
 &= C_{i-1} (A_i \oplus B_i) + A_i B_i
 \end{aligned}$$

由异或门和与非门组成的一位全加器的逻辑图如图 1-11a 所示, 其逻辑符号如图 1-11b 所示。

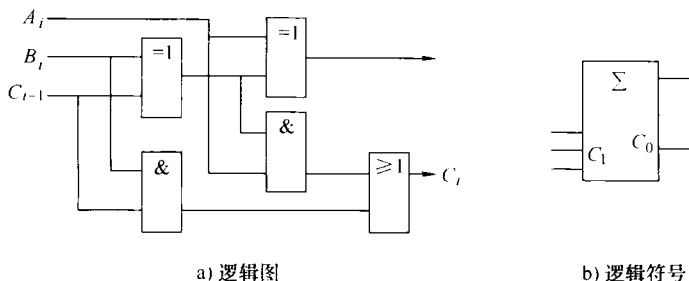


图 1-11 全加器逻辑图和符号

1.4.3 时序逻辑电路

时序逻辑在硬件上是由门电路和时钟信号组合而成的, 时序逻辑电路的特点是输出不仅和输入有关, 而且还和上一时刻的状态有关。

1. 触发器

(1) D 触发器

触发器内部结构是由基本门电路和时钟信号组合而成的, 它的电路和功能都比门电路复杂, 它也可看成是数字逻辑电路中的元件。常用的触发器有 D 触发器和 JK 触发器。

D 触发器有一个输入端 D 和一个时钟信号输入端 CP, 为了区别在 CP 端加有箭头。它有两个输出端, 一个是 Q, 一个是 $\overline{Q}$, 加有小圈的输出端是 $\overline{Q}$ 端。另外, 它还有两个预置端 R_D 和 S_D , 平时正常工作时 R_D 和 S_D 端都要加高电平 1。如果使 $R_D = 0$ ($S_D = 1$), 则触发器被置成 $Q = 0$; 如果使 $S_D = 0$ ($R_D = 1$), 则触发器被置成 $Q = 1$, 因此, R_D 端称为置 0 端, S_D 端称为置 1 端。D 触发器的逻辑符号如图 1-12 所示。图中, Q、D、 S_D 端画在同一侧, $\overline{Q}$ 、 R_D 端画在另一侧; R_D 和 S_D 都带小圆圈, 表示要加上低电平才有效。

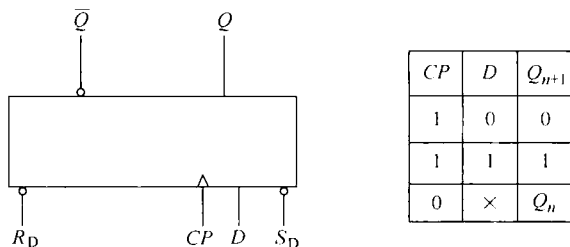


图 1-12 D 触发器

图中, Q、D、 S_D 端画在同一侧, $\overline{Q}$ 、 R_D 端画在另一侧; R_D 和 S_D 都带小圆圈, 表示要加上低电平才有效。

D 触发器是受 CP 和 D 端双重控制的, CP 加高电平 1 时, 它的输出和 D 的状态相同。如果 $D = 0$, CP 来到后, $Q = 0$; 如果 $D = 1$, CP 来到后, $Q = 1$ 。CP 脉冲起控制开门的作用, 如果 $CP = 0$, 则不管 D 是什么状态, 触发器都维持原来状态不变。这样的逻辑功能画成表格就称为功能表或特性表, 如图 1-12 所示, 表中 Q_{n+1} 表示加上触发信号后变成的状态, Q_n 是原来的状态, “×”表示是 0 或 1 的任意状态。

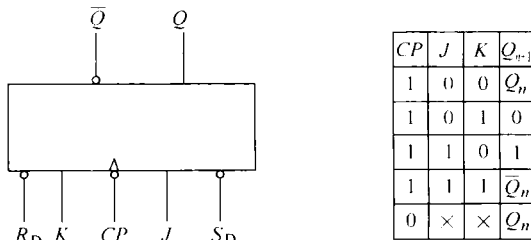


图 1-13 JK 触发器

(2) JK 触发器

另一种性能更完善的触发器称为 JK 触发器。它有两个输入端: J 端和 K 端, 一个 CP 端, 两个预置端 R_D 端和 S_D 端, 以及两个输出端: Q 端和 $\overline{Q}$ 端。它的逻辑符号如图 1-13

所示。 JK 触发器是在 CP 脉冲的下降沿触发翻转的,所以在 CP 端画一个小圆圈以示区别。图中, J 、 S_0 、 Q 画在同一侧(右侧), K 、 R_0 、 $\bar{Q}$ 画在另一侧(左侧)。

JK 触发器的逻辑功能如图1-13所示。有 CP 脉冲(即 $CP=1$)时, J 、 K 都为0,触发器状态不变,即 $Q_{n+1}=Q_n$; $J=0$ 、 $K=1$,触发器被置0, $Q_{n+1}=0$; $J=1$ 、 $K=0$, $Q_{n+1}=1$; $J=1$ 、 $K=1$,触发器翻转一下, $Q_{n+1}=\bar{Q}_n$ 。如果不加时钟脉冲,即 $CP=0$ 时,不管 J 、 K 端是什么状态,触发器都维持原来状态不变,即 $Q_{n+1}=Q_n$ 。

2. 寄存器

能够把二进制数码存储起来的部件称为数码寄存器,简称寄存器。图1-14是用4个 D 触发器组成的寄存器,它能存储4位二进制数。4个 CP 端连在一起作为控制端,只有 $CP=1$ 时它才接收和存储数码。4个 R_0 端连在一起成为整个寄存器的清零端。如果要存储二进制码1001,只要把它们分别加到触发器 D 端,当 CP 来到后4个触发器从高到低分别被置成1、0、0、1,并一直保持到下一次输入数据之前。要想取出这串数码可以从触发器的 Q 端取出。

3. 移位寄存器

有移位功能的寄存器称为移位寄存器,它可以是左移的、右移的,也可以是双向移位的。

图1-15是一个能把数码逐位左移的寄存器。它和一般寄存器不同的是,数码是逐位串行输入并加在最低位的 D 端,然后把低位的 Q 端连到高一位的 D 端。这时 CP 称为移位脉冲。

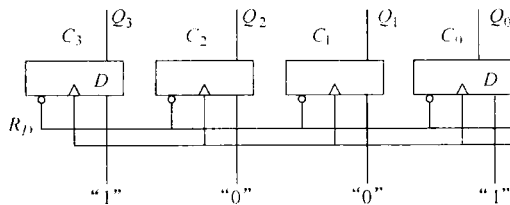


图 1-14 寄存器

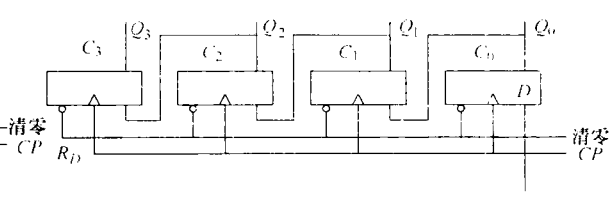


图 1-15 移位寄存器

先从 R_0 端送低电平清零,使寄存器成为0000状态。假定要输入的数码是1001,输入的次序是先高后低逐位输入。第1个 CP 后,“1”被打入第1个触发器,寄存器成为0001;第2个 CP 后, Q_0 的“1”被移入 Q_1 ,新的“0”打入 D_1 ,成为0010;第3个 CP 后,成为0100;第4个 CP 后,成为1001。可见经过4个 CP ,寄存器就寄存了4位二进制码1001。

1.4.4 单片机的硬件构成

由数字逻辑电路可以实现算术逻辑运算,如四位算术逻辑单元ALU集成芯片74LS181。

单片机的硬件基础是晶体管,正是有了晶体管组成的数字逻辑电路所提供的逻辑与算术运算,CPU的数据处理能力才大大增强,从给出指令地址开始,取出指令,送到指令寄存器,进行指令译码,到数据运算,结果输出,都是由数字电路按一定的规则自动完成的,它能够完成8路、16路或32路数字电路的并行处理。

也正是由于数字电路提供了信息存储、定时、计数、A-D转换和D-A转换等功能,使得单片机能够将CPU、存储器和I/O口集成在一块芯片上,大部分单片机还能够将定时器、计数器、A-D转换器和D-A转换器等也都集成在一

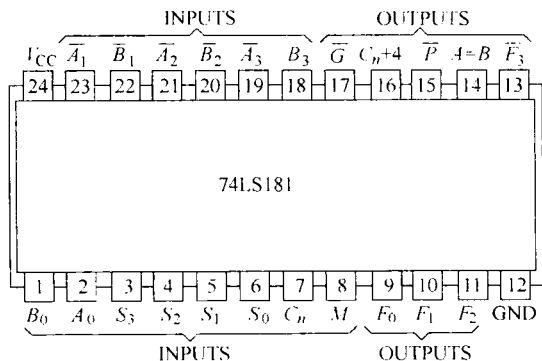


图 1-16 74LS181 引脚图