

# 数字电路 典型实验范例剖析

● 王泽保 赵 博 编著 ●

本书由清华大学计算机系数字电路实验室的老师根据多年教学经验编写，范例选自清华大学优秀实验作品。

## 单元实验：

- ◆ TTL单元电路实验
- ◆ 通用阵列逻辑GAL实验

## 程设计：

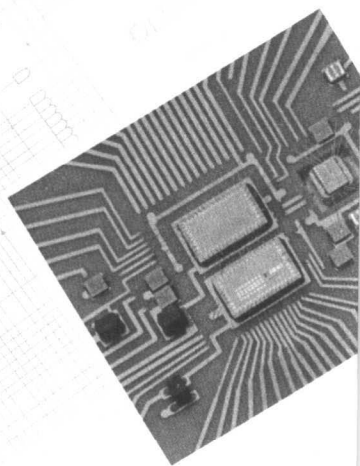
- ◆ TTL与GAL综合实验
- ◆ 高密度可编程器件CPLD实验
- ◆ 单片机实验
- ◆ DSP实验

TN79-33

5

# 数字电路 典型实验范例剖析

● 王泽保 赵 博 编著 ●



人民邮电出版社  
POSTS & TELECOM PRESS

## 图书在版编目 (CIP) 数据

数字电路典型实验范例剖析/王泽保, 赵博编著. —北京: 人民邮电出版社, 2004.7  
ISBN 7-115-12402-7

I. 数... II. ①王...②赵... III. 数字电路—实验—高等学校—教学参考资料 IV. TN79-33  
中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 067681 号

## 内 容 提 要

本书为配合数字电路课程的教学以及教学改革而编写, 目的在于强化动手能力、创新能力的培养和提高。

本书分为“基础知识”、“单元实验”和“课程设计”3 部分。第一部分基础知识简要介绍了数字电路设计的相关器件 (单片机、DSP、嵌入式系统、可编程器件), 使初学者对这些器件的开发有大致地了解。第二部分单元实验包括基本门特性分析、TTL 电路单元实验, 时序/组合逻辑实验。第三部分课程设计包括了 GAL 和 TTL 的综合实验、高密度可编程器件 CPLD 实验、单片机、DSP 实验等内容, 突出 EDA 技术的设计思想。

本书可作为高等学校计算机、电子、通信、自动化等专业的配套辅助教材, 亦可作为相关专业课教师及实验室技术人员的参考书。

### 数字电路典型实验范例剖析

- ◆ 编 著 王泽保 赵博  
责任编辑 王文娟
- ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号  
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn  
网址 <http://www.ptpress.com.cn>  
读者热线 010-67132692  
北京汉魂图文设计有限公司制作  
北京顺义振华印刷厂印刷  
新华书店总店北京发行所经销
- ◆ 开本: 787×1092 1/16  
印张: 10.5  
字数: 248 千字 2004 年 7 月第 1 版  
印数: 1-5 000 册 2004 年 7 月北京第 1 次印刷

ISBN7-115-12402-7/TP·4056

定价: 18.00 元

本书如有印装质量问题, 请与本社联系 电话: (010) 67129223

# 前 言

随着电子工程与计算机科学 (EECS) 的迅猛发展, 数字电路系统的发展也十分迅速。电子器件在最近几十年经历了从小规模集成电路到中、大规模以至超大规模集成电路的发展历程。从简单可编程器件到高密度可编程器件, 设计方法也在从根本上转变, 由原先的手工设计发展到现在的电子设计自动化 (EDA) 设计。

为了使教学与实践接轨, 各高校对数字电路的教学均非常重视。在开设相关理论课程的同时, 也越来越注重实际动手操作环节, 实验课程在不断加强和更新。本书的实验不仅包括用 TTL 设计电路, 而且重点体现 EDA 设计思想, 循序渐进, 由浅入深, 覆盖了大部分典型的数字电路实验。

本书分为“基础知识”、“单元实验”和“课程设计”3 部分。第一部分基础知识对数字电路系统的常用器件作了简单介绍。目的是使读者能对这些实际应用中经常会用到的器件有一个感性认识, 做到心中有数。第二部分是单元实验, 包括第 2 章门电路特性分析和用 TTL 设计组合/时序逻辑电路, 以及第 3 章可编程器件——通用阵列逻辑 GAL 实验。第三部分包括 4 章, 第 4 章是 TTL 与 GAL 的综合实验, 第 5 章以 ALTERA 公司的 EPM7128 为例设计了高密度可编程器件 CPLD 的实验, 第 6 章设计了 4 个单片机实验, 包括了 51 系列和义隆公司的单片机, 具有一定的代表性。第 7 章是用 DSP 芯片设计一个 MP3 播放器。

本书总结了数字电路教学的经验, 并结合国内教学的实际情况, 有针对性地设计了每个实验范例。书中的每个实验包括“基本知识点”、“实验器件”、“基本实验内容”、“实验过程及结果分析”和“实验小结”等内容。对一些实验中容易出错的地方都做了提示, 方便读者阅读使用。

本书由清华大学计算机系数字电路实验室的老师根据多年教学经验编写, 书中范例均以历年来清华大学计算机系学生的优秀实验作品为蓝本, 力求通过本书的学习进一步强化实际的动手能力, 通过实践, 对基础知识加深理解。并进一步接触当今前沿的先进技术, 缩短与实际应用的差距。

本书可作为高等学校计算机、电子、通信、自动化等专业的配套辅助教材, 亦可作为相关专业课教师及实验室技术人员的参考书。

由于作者水平有限, 书中纰漏之处在所难免, 希望广大同行不吝赐教。

如果您对本书有什么意见或者建议, 可与本书的责任编辑联系, 电子邮件地址为 wangwenjuan@ptpress.com.cn。

编者  
2004. 5

# 目 录

|                                   |    |
|-----------------------------------|----|
| 第一部分 基础知识.....                    | 1  |
| 第 1 章 数字电路主要硬件简介.....             | 2  |
| 1.1 单片机简介 .....                   | 2  |
| 1.1.1 单片机的历史、现状及未来.....           | 2  |
| 1.1.2 单片机的组成 .....                | 3  |
| 1.1.3 单片机的开发 .....                | 3  |
| 1.1.4 EM78P447 单片机简介.....         | 5  |
| 1.2 DSP 简介 .....                  | 10 |
| 1.2.1 DSP 芯片的特点 .....             | 11 |
| 1.2.2 DSP 在结构上的几大优势.....          | 11 |
| 1.2.3 DSP 芯片的发展现状及其应用 .....       | 12 |
| 1.2.4 DSP 程序开发 .....              | 13 |
| 1.3 嵌入式系统 (Embedded System) ..... | 14 |
| 1.3.1 嵌入式系统的定义 .....              | 14 |
| 1.3.2 嵌入式系统的历史 .....              | 15 |
| 1.3.3 嵌入式系统的特点 .....              | 15 |
| 1.3.4 嵌入式系统的分类 .....              | 16 |
| 1.4 可编程器件简介 .....                 | 20 |
| 1.4.1 可编程逻辑器件的概念 .....            | 20 |
| 1.4.2 可编程逻辑器件与专用集成电路.....         | 20 |
| 1.4.3 可编程逻辑器件的种类 .....            | 21 |
| 1.4.4 可编程逻辑器件的发展动态 .....          | 22 |
| 1.4.5 PLD 技术和其他技术的比较 .....        | 23 |
| 1.5 通用阵列逻辑 GAL 的结构与特点 .....       | 25 |
| 1.5.1 通用阵列逻辑 GAL 的特点.....         | 25 |
| 1.5.2 通用阵列逻辑的技术指标.....            | 25 |
| 1.5.3 通用阵列逻辑的结构和工作原理.....         | 26 |
| 1.5.4 输出逻辑宏单元 (OLMC) .....        | 28 |
| 1.6 可编程阵列逻辑器件 EPM7128 简介 .....    | 29 |
| 1.7 电路板制作工具 Protel 简介 .....       | 31 |
| 1.7.1 DXP 软件介绍 .....              | 32 |
| 1.7.2 Protel 软件的发展历史.....         | 32 |
| 1.7.3 PCB 板设计的工作流程 .....          | 33 |

|                                     |            |
|-------------------------------------|------------|
| 1.8 MAX+plus II 软件介绍 .....          | 34         |
| 1.8.1 MAX+plus II 的功能特点 .....       | 34         |
| 1.8.2 MAX+plus II 的系统要求 .....       | 36         |
| 1.8.3 MAX+plus II 的设计流程 .....       | 36         |
| <b>第二部分 单元实验</b> .....              | <b>40</b>  |
| <b>第 2 章 TTL 单元电路实验</b> .....       | <b>41</b>  |
| 实验一 门电路的特性分析 .....                  | 41         |
| 实验二 特殊门电路的特性分析与设计 .....             | 43         |
| 实验三 可控码制转换器的设计与实现 .....             | 44         |
| 实验四 减法器 and 加法器的设计与实现 .....         | 47         |
| 实验五 可控五进制计数器的设计与实现 .....            | 50         |
| 实验六 1011 序列检测器的设计与实现 .....          | 57         |
| 实验七 流水灯的设计与实现 .....                 | 60         |
| <b>第 3 章 通用阵列逻辑 GAL 实验</b> .....    | <b>63</b>  |
| 实验八 门电路设计与实现 .....                  | 63         |
| 实验九 组合逻辑电路的设计与实现 (一) .....          | 64         |
| 实验十 组合逻辑电路的设计与实现 (二) .....          | 65         |
| 实验十一 可控计数器的设计与实现 .....              | 66         |
| <b>第三部分 课程设计</b> .....              | <b>70</b>  |
| <b>第 4 章 TTL 与 GAL 综合实验</b> .....   | <b>71</b>  |
| 实验一 密码锁的设计与实现 .....                 | 71         |
| 实验二 数字计时系统的设计与实现 .....              | 77         |
| 实验三 收款机的设计与实现 .....                 | 87         |
| 实验四 摇奖机的设计与实现 .....                 | 94         |
| <b>第 5 章 高密度可编程器件 CPLD 实验</b> ..... | <b>104</b> |
| 实验五 码制转换器的设计与实现 .....               | 104        |
| 实验六 双向移位寄存器的设计与实现 .....             | 106        |
| 实验七 序列发生器的设计与实现 .....               | 108        |
| 实验八 节拍发生器的设计与实现 .....               | 109        |
| 实验九 1011 序列发生及检测器的设计与实现 .....       | 111        |
| 实验十 数字频率计的设计与实现 .....               | 114        |
| 实验十一 汽车尾灯控制器的设计与实现 .....            | 122        |
| 实验十二 电梯控制器的设计与实现 .....              | 123        |
| 实验十三 数字钟的设计与实现 .....                | 126        |

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| <b>第 6 章 单片机实验</b> .....  | 132 |
| 实验十四 CPU 温控系统的设计与实现 ..... | 132 |
| 实验十五 输入输出使用实验 .....       | 145 |
| 实验十六 数码管显示增减计数实验 .....    | 147 |
| 实验十七 定时器实验 .....          | 148 |
| <b>第 7 章 DSP 实验</b> ..... | 151 |
| 实验十八 MP3 的设计与实现 .....     | 151 |

# 第一部分 基础知识

本部分包括:

## 第 1 章 数字电路主要硬件简介

- 1.1 单片机简介
- 1.2 DSP 简介
- 1.3 嵌入式系统
- 1.4 可编程器件简介
- 1.5 通用阵列逻辑 GAL 的结构与特点
- 1.6 可编程阵列逻辑器件 EPM7128 简介
- 1.7 电路板制作工具 Protel 简介
- 1.8 MAX+plus II 软件介绍

# 第 1 章 数字电路主要硬件简介

数字电路从上个世纪的 50 年代开始发展,到现在已经发生了翻天覆地的变化,从电子管发展到晶体管,随后出现的小规模集成电路,到今天的超大规模集成电路,都基本遵循摩尔定律,每一年半集成电路的集成密度就会提高一倍,而价格降低一半。数字电路的各种产品已经深入到我们生活中的方方面面,最常见的如手机、数字电视、智能洗衣机、冰箱、个人电脑、笔记本电脑、PDA 等,都会用到数字电路。数字电路是理工科学生重要的基础课程,数字电路设计也是各个高校着重发展的学科。本章对数字电路的软硬件做一简要介绍。具体可以参考各种器件和软件的相关资料。

## 1.1 单片机简介

电脑几乎是我们日常生活中必不可少的工具了,这种电脑通常是指个人计算机(PC)。它由主机、键盘、显示器等组成。除此之外,还有一类计算机,具备电脑的部分功能,叫作单片机,亦称微控制器(Microcontroller Unit)。顾名思义,这种计算机的最小系统只用了一片集成电路,即可进行一定规模的运算和控制。加上各种外设,就能够进行输入、输出等操作。因为它体积小,通常都内置在被控设备的内部。在整个装置中,起着有如人类头脑的作用。现在,单片机的使用领域已十分广泛,如智能仪表、实时工控、通信设备、家用电器等。

### 1.1.1 单片机的历史、现状及未来

单片机的发展大致可以分为 5 个阶段。

#### 1. 单片 4 位机阶段。

1971 年,Intel 公司首先推出第一款单片机 4004,标志着单片机的问世。这种单片机功能单一,现在已经淘汰。

#### 2. 低档 8 位机阶段(1974~1978)。

这类单片机不带有串行 I/O,寻址范围一般在 4KB 内,片内 ROM 和 RAM 也不大,只适合简易的工业控制,代表机型有 Mostek 的 3870 和 Intel 的 8048。

#### 3. 高档的 8 位机(1978~1982)。

这类单片机带有串行 I/O,寻址范围达 64Kbit,有多个 16 位定时/计数器、多级中断和较大的片内 ROM 和 RAM,有的有 A/D 转换,目前和 16 位机一起正得到广泛应用。

#### 4. 16 位单片机和超 8 位单片机。

在高档的 8 位机基础上增加了运算字长,并支持 PMW 等多种接口,功能强大,价格较高。

#### 5. 由单片机衍生的 DSP 和嵌入式器件。

由于单片机自身的限制,在处理大量的数字信号时已经力不从心。继而在单片机的基础上延伸出来速度更快、功能更强的 DSP 芯片和嵌入式芯片,实际上这两类已经不属于单片机了。DSP 芯片在后文中有较详细的介绍。

目前世界上生产单片机的厂商超过数百家,产品功能齐全、种类繁多,如何选型是一个开发前必须要考虑的重要环节。如果面向低端应用,开发应该采用技术成熟、文档齐全、价格低廉的芯片,以达到快速开发、节约成本的目的,如果对性能要求较高,可以考虑采用 DSP 或嵌入式芯片。这就需要对数字系统有一个较为全面的了解。

### 1.1.2 单片机的组成

单片机是由中央处理器(即 CPU 中的运算器和控制器)、只读存储器(ROM)、读写存储器(RAM)、输入/输出(I/O)等组成。结构上采用了哈佛总线结构,如图 1.1 所示,也就是数据存储空间与程序存储空间相互分离开来的一种结构。目前的计算机采用的是冯·诺伊曼结构,数据与程序共用一个存储空间。

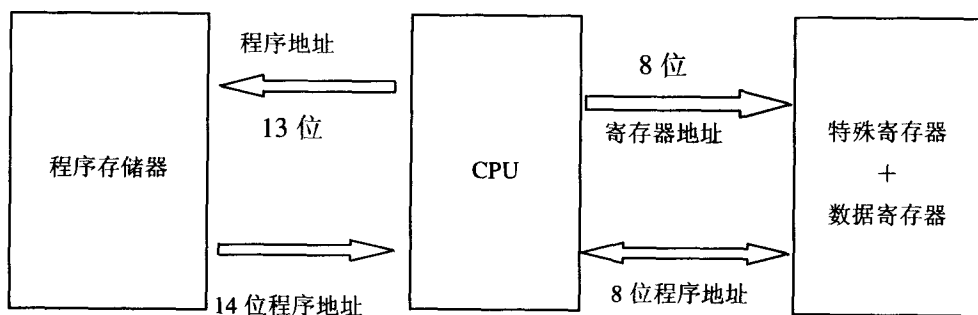


图 1.1 单片机哈佛总线结构

单片机内部置有一个时钟电路,使单片机在进行运算和控制时,都能有节奏地进行(有时候会使用外部晶振时钟)。另外,还有中断系统,当单片机控制对象的参数到达某个需要加以干预的状态时,就由中断系统通知 CPU,使 CPU 根据外部事态的优先级来采取适当的应对措施。而 CPU、ROM、RAM、I/O 接口、中断系统等各部件之间由总线联系起来,使各个部件有序工作。通过控制线进行控制,使器件分时工作,任何时候只能有一个器件发送数据(可以有多个器件同时接收)。器件的数据线也就被称为数据总线,所有器件的控制线被称为控制总线。在单片机内部或者外部存储器及其他器件中有存储单元,这些存储单元要被分配地址才能发挥作用,分配地址的总线称为地址总线。

单片机中的 RAM 是作为数据存储器,而不是作为高速缓存(Cache),这一点和 PC 是有区别的。

### 1.1.3 单片机的开发

单片机要真正地能进行计算和控制,必须有硬件和软件的配合。前面已经讲述了单片机的硬件。所谓硬件(Hardware)就是看得到、摸得到的实体。硬件部分是已经由生产厂家提供好的。但只有这样的硬件,仅具备实现计算和控制功能的可能性,还必须有软件(Software)的配合。这是需要我们开发的主要部分。软件主要指的是各种程序。只有将调试好的程序写入单片机,它才能有效地工作。单片机所以能自动地进行运算和控制,正是由于人把实现计算和控制的步骤一步一步地用命令的形式,即一条条指令(Instruction)预先输入到存储器中,单片机在 CPU 的控制下,将指令一条条地取出来,并加以翻译和执行。举一个两数相加的简单例子:首先分别把两个数从各自的存储单元中取出来,送至运算器,然后相加,最后把相

加的结果送至存储器中指定的单元。所有这些取数、送数、相加、存数等都是一操作 (Operation)，将这些操作写成命令的形式就是指令。一条指令，对应着一种基本操作；单片机所能执行的全部指令，就是该单片机的指令系统 (Instruction Set)，不同种类的单片机，其指令系统亦不同。

由于指令不便记忆，不易理解。因而人们就用一些助记符 (Memonic) ——通常是用指令功能的英文缩写来代替操作码，如大部分单片机常用 MOV (Move 的缩写)、ADD (Addition 的缩写，加法) 来作为助记符。这样，每条指令有明显的动作特征，易于记忆和理解，也不容易出错。用助记符来编写的程序称为汇编语言程序。但是，助记符编写的程序便于人理解，单片机却只认识二进制机器代码，因此，为了让单片机能“读懂”汇编语言程序，必须再转换成由二进制机器码构成的程序，这种转换过程称为“编译”。编译可借助 PC 机通过交叉汇编程序来完成。由机器码构成的用户程序一旦“进入”了单片机，再“启动”单片机，就可执行输入程序所规定的任务。

单片机的开发大都采用汇编语言，以提高执行效率，也有一部分采用了高级语言 PL/M 或 C，同时也通过微机上的交叉汇编来实现。

理解了上述概念后，就可以进行一个完整的软件开发了。单片机的开发过程一般是从任务分析开始的，这部分工作完成后，接着就是编写软件的工作。首先要学习单片机的指令，然后在集成环境下 (或文本编辑器) 编写软件，再用编译器对源程序文件编译、查错，直到没有语法错误，然后用仿真器对软件进行调试，直到程序运行正确为止。将源程序编译后，生成了扩展名为 HEX 的二进制目标文件，就可以通过编程器写入芯片了 (将程序固化在 EEPROM 中)。图 1.2 所示为用单片机开发的数字显示及控制系统。

初学者对单片机中的很多概念可能不容易理解，为了快速入门，可以对现有的程序进行修改。调试程序也是一个很繁琐的过程，有时会遇到莫名其妙的故障，需要开发者保持耐心，逐步排错，最终提高分析问题和解决问题的能力。单片机开发的一般流程如图 1.3 所示。

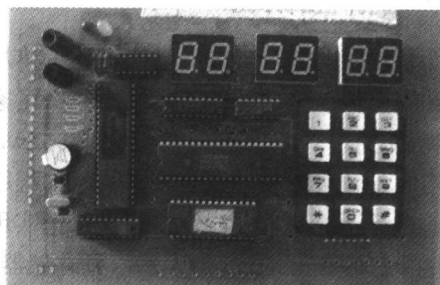


图 1.2 基于单片机的数字显示及控制系统

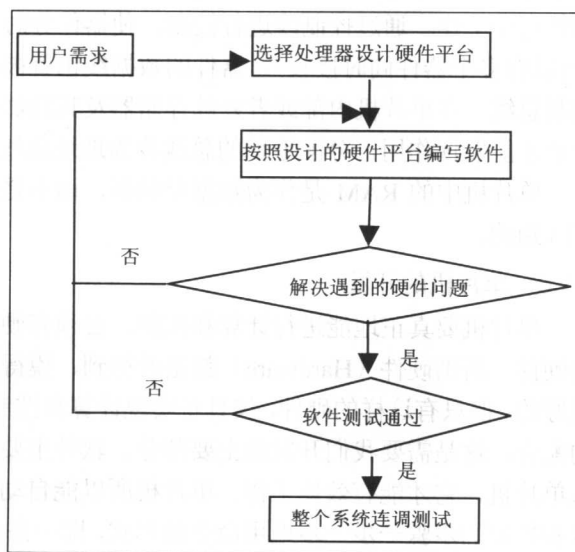


图 1.3 单片机系统一般开发流程



续表

| 管脚名称                    | I/O | 功能                                                                           |
|-------------------------|-----|------------------------------------------------------------------------------|
| P60~P67                 | I/O | P60~P67 为双向 I/O 口, 可通过软件设置为内部上拉                                              |
| P70~P77                 | I/O | P70~P77 为双向 I/O 口。P74、P75 可通过软件设为上拉。P76、P77 可设为开路输出, P70、P71 具有 R-option 的功能 |
| $\overline{\text{INT}}$ | I/O | 外部中断输入脚, 下降沿触发中断                                                             |
| OSCI                    | I   | XTAL 型: 晶体振荡器或外部时钟输入脚<br>RC 型: RC 振荡器输入脚                                     |
| OSCO                    | I/O | XTAL 型: 晶体振荡器输出脚或外部时钟输入脚<br>RC 型: 输出一个指令周期的时钟信号                              |
| RESET                   | I   | 施密特触发输入脚, 当该脚保持低电平时, 单片机复位                                                   |
| TCC                     | I   | 实时时钟/计数器输入脚, 施密特触发, 当该脚不用时, 必须接地或 VCC                                        |
| VDD                     | —   | 电源                                                                           |
| VSS                     | —   | 地                                                                            |
| NC                      | —   | 未使用                                                                          |

### 3. EM78447A/B 内部结构。

EM78P447 在片内集成了一个 8 位算术运算单元 ALU 和工作寄存器 ACC、4KROM、148 个 RAM, 20~24 个 I/O 口, 8 位预置器 (PRESCALER) 及 8 位计数器 (TCC)、振荡器、看门狗、5 级堆栈、中断控制器、指令寄存器、译码器和其他一些寄存器等, 内部框图如图 1.5 所示。

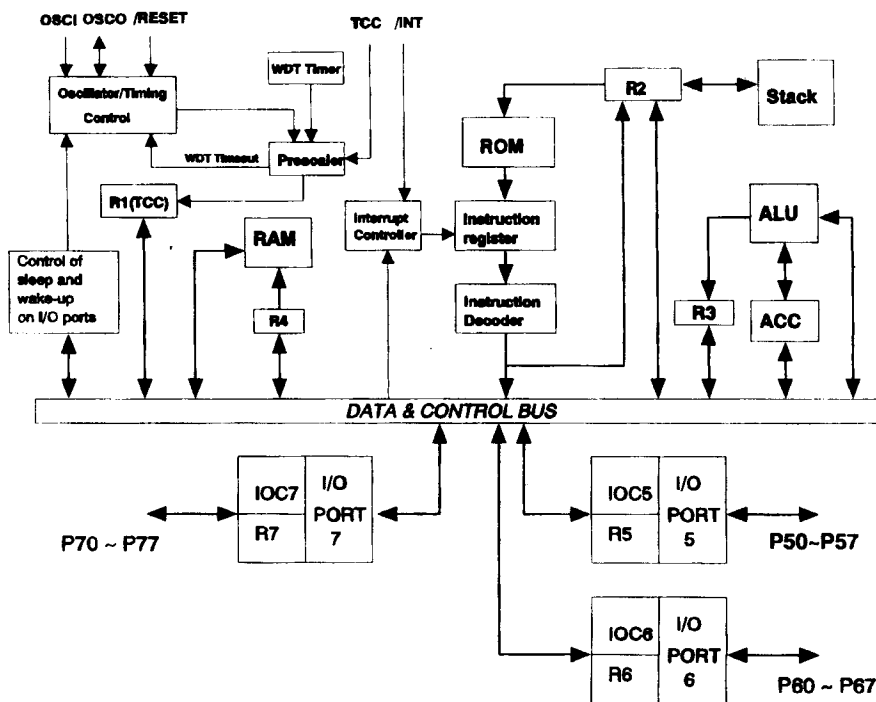


图 1.5 EM78447A/B 内部结构框图

#### 4. 程序存储器和堆栈。

##### (1) 程序存储器

EM78P447 内部程序存储器和堆栈示意图如图 1.6 所示。

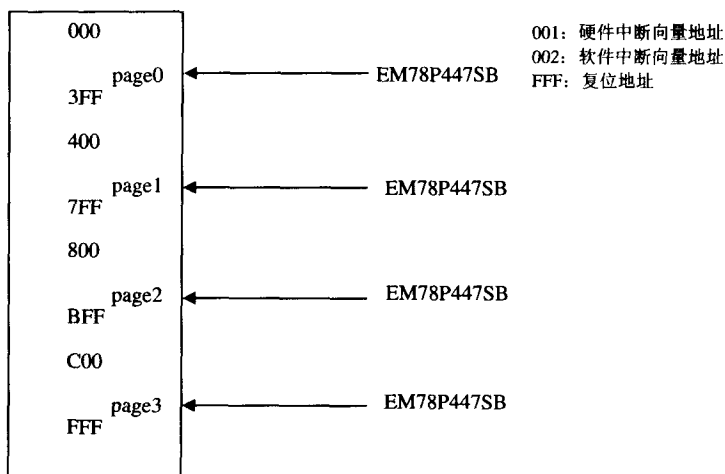


图 1.6 EM78P447 内部程序存储器和堆栈示意图

PC 指针（寄存器 R2）和堆栈的位数是 12 位，即寻址空间分别为 4KB，一个程序页面为 1KB。页面选择通过设定状态寄存器 R3 的 Bit6（PS1）、Bit5（PS0）来完成，内容如表 1-2 所示。

表 1-2

状态寄存器的内容

| PS1 ( R3.6 ) | PS0 ( R3.5 ) | 程序页面地址       |
|--------------|--------------|--------------|
| 0            | 0            | 0 页[000-3FF] |
| 0            | 1            | 1 页[400-7FF] |
| 1            | 0            | 2 页[800-BFF] |
| 1            | 1            | 3 页[C00-FFF] |

EM78P447 可在同一页面内直接跳转（JMP）和调用子程序（CALL），即 JMP 时装入目标地址至 PC 的低 10 位，CALL 时装入目标地址至 PC 的低 10 位，且 PC+1 压线，调用同 1KB 页面内的任何程序。

在 EM78P447 中，当需要跳转或调用不同页面的子程序时，则须在调用前将修改 R3 的 PS0/PS1、PS0，执行 JMP 或 CALL 会将状态寄存器 R3 的 PS0/PS1、PS0 载入 PC 的 A10/A11、A10。

对 PC（R2）进行直接操作指令如“MOV R2, A”、“ADD R2, A”、“BC R2, 0”都将导致 PC 之第 9 及第 10 位（A9、A8）被清零，因此此类情况产生的任何跳转都限定在同一页面的前 256 个地址。

TBL 指令把存在 A 中的相对地址加至 R<sub>2</sub>（R<sub>2</sub>+A→R<sub>2</sub>），且 R2 的第 9、10 位（A9、A8）不变，因此所产生的跳转可至整个页面。

##### (2) 堆栈

EM78P447 有 5 级堆栈，遵循“后入先出”的原则实现程序多至 5 级嵌套调用。通常堆

栈使用如下。

当 CALL 和中断响应时 PC+1 压栈；

当子程序或中断返回，执行 RET、RETL（带参数返回）、RETI（中断返回），将栈顶值（栈 1）弹回程序计数器 PC、同时将堆栈 2 的值拷贝到堆栈 1，堆栈 3 的值拷贝到堆栈 2，以此类推。

要注意的是，RET、RETL、RETI 指令并没有改变 R3 中的 PS0~PS1 位便返回到原来调程序的页面，所以当从一次跨页的子程序调用返回时，一定要用指令恢复 R3 中原先的 PS0、PS1 值。

#### 5. 数据存储器 RAM 结构。

EM78P447 的数据存储器分工作寄存器和特殊功能寄存器两大类，功能图可参考相关资料。

##### (1) 工作寄存器

##### ① R0 间接寻址寄存器

R0 并非一个实际工作的寄存器，只作为间接寻址用。任何对 R0 进行操作的指令，实际上是存取由 RAM 选择寄存器 R4 所指定的 RAM 内容。

##### ② R1 (TCC)

此寄存器为 8 位定时/计数器，可由程序进行读/写操作。它用于对外加在 TCC 脚上的脉冲进行计数，或对内部时钟计数。

##### ③ R2 (程序计数器 PC) 和堆栈

- 在复位情况下，R2 每位均被置“1”，地址指向 FFFH。
- 对 R2 进行写操作的指令一定需要二个指令周期。

##### ④ R3 状态寄存器 (STATUS)

如表 1-3 所示，R3 包括 ALU 运算标志、页面标志、复位状态等。

表 1-3

R3 状态寄存器标志位

| 7  | 6   | 5   | 4 | 3 | 2 | 1  | 0 |
|----|-----|-----|---|---|---|----|---|
| GP | PS1 | PS0 | T | P | Z | DC | C |

##### ⑤ R4、RAM 选择寄存器 (RSR)

在间接寻址模式里，Bit0~5 用来选择寄存器（地址：00~3F）

- Bit6~7 两位用来确定 4 个 RAM 页面中的那一个，每个 RAM 页面为 31 个字，地址为 20~3E。

未作间接寻址时，R4 可作 8 位宽度的可读/写通用寄存器。

##### ⑥ R5 为口 5 的双向 I/O 口寄存器

- EM78447A：仅使用 R5 的低 4 位，其余高 4 位读为“0”
- EM78447B：8 位双向 I/O 口。

##### ⑦ P6~P7 (口 6~7) 是两个双向三态 8 位 I/O 口寄存器。

##### ⑧ R8~R1F、R20~F3E

- R8~R1F：通用寄存器。
- R20~R3E：31 个通用寄存器地址。它包含 4 个页面，即每个页面都有 31 个寄存器且地址为 20H~3EH，具体页面由 R4 的 Bit6~7 决定。

### ⑨ R3F 中断标志寄存器

R3F 中断标志寄存器标志位如表 1-4 所示。

表 1-4 R3F 中断标志寄存器标志位

| 7 | 6 | 5 | 4 | 3    | 2 | 1 | 0    |
|---|---|---|---|------|---|---|------|
| — | — | — | — | EXIF | — | — | TCIF |

- “1”表明有中断请求，“0”表明没有中断请求。
- Bit0 (TCIF): TCC 计数器 1 溢出中断标志位。当 TCC 计数器溢出时置“1”，可由软件清零。
- Bit1~2: 未使用。
- Bit3 (EXIF): 外部中断标志位。当 INT 脚有下降沿触发时置“1”，可用软件清零。
- Bit4~7: 未使用。
- R3F 可用软件清零，但不能被置“1”。
- IOCF 为中断屏蔽寄存器，通过指令读取 R3F 值，此时结果值为 R3F 和 IOCF 相与的结果。

### (2) 特殊功能寄存器

EM78P447SB 的特殊功能寄存器主要包括累加器、控制寄存器和 WDT 预分频器。

#### ① 累加器 A

内部数据传输或指令运算单元，属不可寻址单元。

#### ② 控制寄存器

控制寄存器是用来控制 I/O 的工作状态、中断控制、看门狗控制等，其读写只能采用指令 IOR R 或 IOW R 来完成。

- CONT (控制寄存器)

控制寄存器的标志位如表 1-5 所示。

表 1-5 控制寄存器标志位

| 7     | 6   | 5  | 4  | 3   | 2    | 1    | 0    |
|-------|-----|----|----|-----|------|------|------|
| /PHEN | INT | TS | TE | PAB | PSR2 | PSR1 | PRR0 |

寄存器与 EM78X56 的 CONT 相比仅增加了 Bit7 (/PHEN)，其他完全一样。

/PHEN: I/O 上拉使能标志位。

0: P60~P67 和 P74~P75 内部上拉电阻使能。

1: 上拉电阻关闭。

- IOC5~IOC7 (I/O 口控制寄存器)

IOC5~IOC7 分别为口 5~口 7 控制寄存器，按位将 IOC5、IOC6、IOC7 设为“1”时表示该脚设为输入（高阻抗），设为“0”时表示该脚为输出。在 EM78447A 中，IOC7 使用 IOC5 的低 4 位和 IOC6 和 IOC7。

- IOCE WTD 控制寄存器（略）

- IOCF (中断屏蔽寄存器)

中断屏蔽寄存器的标志位如表 1-6 所示。

表 1-6 中断屏蔽寄存器的标志位

| 7 | 6 | 5 | 4 | 3    | 2 | 1 | 0    |
|---|---|---|---|------|---|---|------|
| — | — | — | — | EXIE | — | — | TCIE |

• Bit0 (TCIE) TCIF 中断屏蔽位 (TCC 溢出中断)

0: 屏蔽 TCIF 中断。1: 允许 TCIF 中断。

• Bit3 (EXIE) EXIF 中断屏蔽位 (外部中断 INT)

0: 屏蔽 EXIF 中断。1: 允许 EXIF 中断。

• Bit1~2、Bit4~7 未使用

当将 IOCF 相应的控制位置“1”，则相应的中断允许，使用“ENI”指令时所有中断被开放，而使用“DISI”指令，则所有指令被关闭。IOCF 为可读写寄存器。

6. I/O 口 (PROT5、PROT6、PORT7)。

EM78P447 把 I/O (口 5、口 6、口 7) 作为一般工作寄存器 R5、R6、R7 来操作，它们为双向、三态输入/输出口，可通过控制寄存器来设置以下功能，如表 1-7 所示。

表 1-7 I/O 控制功能分类表

| 功 能        | 控制寄存器          | I/O 脚                   |
|------------|----------------|-------------------------|
| I/O 输入输出方向 | IOC5、IOC6、IOC7 | P50~P57、P60~P67、P70~P77 |
| 内部上拉电阻     | CONT(/PHEN)    | P60~P67、P74~P75         |
| 集电极开路      | IOCE(ODE)      | P76~P77                 |
| R-PTION    | IOCE (ROC)     | P70、P71                 |
| 休眠状态唤醒     | IOCF (ICIE)    | P60~P67、P74~P75         |

7. 振荡器。

EM78P447 可以在 RC 振荡、晶振低频、晶振高频下工作，通过寄存器 CODE OPTION 中的 (MS、HLF、HLP) 来选择。

(1) MS=0、HLF=0 为 RC 振荡形式，振荡频率按 Rext、Cext 值所确定。

(2) MS=1、HLF=0、HLP=0 为低频晶振方式，这种方式振荡器处于低频、低电压工作条件下，最大频率不超过 4MHz，单片机工件在低功耗下。

(3) MS=1、HLF=1、HLP=1 为高频晶振方式，振荡器处在高速工作条件下，所以最小振荡频率高于 1MHz。这种模式下，功耗将大于低频振荡方式。晶振振荡电路如图 1.7 所示。

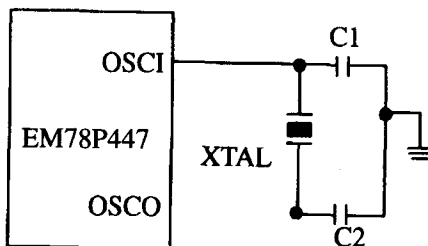


图 1.7 晶振振荡电路

## 1.2 DSP 简介

过去的几十年里，单片机的广泛应用实现了简单的智能控制功能。随着信息化的进程和