



全国高等职业教育“十二五”规划教材
中国电子教育学会推荐教材
全国高职高专院校规划教材·精品与示范系列

项目化单片机技术 综合实训

◎ 刘成尧 编著

- 资料获取与信息查询
- 项目需求分析
- 项目资源及成本分析
- 项目系统测试方法
- 多种功能电子琴设计
- 多功能LED流水灯设计
- 创意型广告灯设计
- 电子万年历设计
- 直流电机、步进电机、舵机控制设计
- 有电压与温度显示的电压表设计
- 具备设置功能的温度报警器设计
- 简单频率计设计
- 信号发生器设计
- 波特率可调的通信系统设计等

- ◆ 结合作者多年的企业设计经验和多个教学成果进行编写，倡导开展项目化、开放式教学过程
- ◆ 以7个项目19个任务为主线，着重培养学生的单片机应用能力、程序设计能力、电子产品开发调试能力
- ◆ 提供有关的源程序、电路原理图、Proteus仿真电路图和演示视频，电路开发板可在指定网站购买
- ◆ 配有免费的电子教学课件等立体化的教学资源，详见前言



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

全国高等职业教育“十二五”规划教材
中国电子教育学会推荐教材
全国高职高专院校规划教材·精品与示范系列

项目化单片机技术 综合实训

刘成尧 编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书结合电子行业企业的岗位特点和产品设计技能要求,以培养学生的可持续发展的职业技能为目标,在作者多年的企业设计经验和多个职业教育教学成果的基础上,按照以工作过程为导向的方式编写而成。全书内容包括7个项目,每个项目细分为2~3个任务,内容涵盖单片机系统开发相关的知识与技能。通过学习这7个项目,希望读者能够借此进入单片机系统设计的大千世界,充分享受技术开发的乐趣。本书的教学理念先进,适应面广,技术针对性强,兼顾知识的完整性,重视对学生实践技能和综合素质的培养。

本书为高职高专院校电子信息类、自动化类、机电类、机械制造类专业单片机实践课程的教材,也可作为应用型本科、成人教育、自学考试、电视大学、中职学校和培训班的教材,以及电子工程技术人员参考工具书。

本书配有免费的电子教学课件、源程序、电路原理图、仿真电路图和演示视频,详见前言。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

项目化单片机技术综合实训/刘成尧编著. —北京:电子工业出版社,2013.7

全国高职高专院校规划教材·精品与示范系列

ISBN 978-7-121-20697-9

I. ①项… II. ①刘… III. ①单片微型计算机—高等职业教育—教材 IV. ①TP368.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第130799号

策划编辑:陈健德(chenjd@phei.com.cn)

责任编辑:谭丽莎

印 刷:涿州市京南印刷厂

装 订:涿州市京南印刷厂

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编100036

开 本:787×1092 1/16 印张:19.25 字数:493千字

印 次:2013年7月第1次印刷

定 价:39.50元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至zlt@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

职业教育 继往开来(序)

自我国经济在 21 世纪快速发展以来,各行各业都取得了前所未有的进步。随着我国工业生产规模的扩大和经济发展水平的提高,教育行业受到了各方面的重视。尤其对高等职业教育来说,近几年在教育部和财政部实施的国家示范性院校建设政策鼓舞下,高职院校以服务为宗旨、以就业为导向,开展工学结合与校企合作,进行了较大范围的专业建设和课程改革,涌现出一批示范专业和精品课程。高职教育在为区域经济建设服务的前提下,逐步加大校内生产性实训比例,引入企业参与教学过程和质量评价。在这种开放式人才培养模式下,教学以育人为目标,以掌握知识和技能为根本,克服了以学科体系进行教学的缺点和不足,为学生的顶岗实习和顺利就业创造了条件。

中国电子教育学会立足于电子行业企事业单位,为行业教育事业的改革和发展,为实施“科教兴国”战略做了许多工作。电子工业出版社作为职业教育教材出版大社,具有优秀的编辑人才队伍和丰富的职业教育教材出版经验,有义务和能力与广大的高职院校密切合作,参与创新职业教育的新方法,出版反映最新教学改革成果的新教材。中国电子教育学会经常与电子工业出版社开展交流与合作,在职业教育新的教学模式下,将共同为培养符合当今社会需要的、合格的职业技能人才而提供优质服务。

近期由电子工业出版社组织策划和编辑出版的“全国高职高专院校规划教材·精品与示范系列”,具有以下几个突出特点,特向全国的职业教育院校进行推荐。

(1) 本系列教材的课程研究专家和作者主要来自于教育部和各省市评审通过的多所示范院校。他们对教育部倡导的职业教育教学改革精神理解得透彻准确,并且具有多年的职业教育教学经验及工学结合、校企合作经验,能够准确地对职业教育相关专业的知识点和技能点进行横向与纵向设计,能够把握创新型教材的出版方向。

(2) 本系列教材的编写以多所示范院校的课程改革成果为基础,体现重点突出、实用为主、够用为度的原则,采用项目驱动的教学方式。学习任务主要以本行业工作岗位群中的典型实例提炼后进行设置,项目实例较多,应用范围较广,图片数量较大,还引入了一些经验性的公式、表格等,文字叙述浅显易懂。增强了教学过程的互动性与趣味性,对全国许多职业教育院校具有较大的适用性,同时对企业技术人员具有可参考性。

(3) 根据职业教育的特点,本系列教材在全国独创性地提出“职业导航、教学导航、知识分布网络、知识梳理与总结”及“封面重点知识”等内容,有利于老师选择合适的教材并有重点地开展教学过程,也有利于学生了解该教材相关的职业特点和对教材内容进行高效率的学习与总结。

(4) 根据每门课程的内容特点,为方便教学过程对教材配备相应的电子教学课件、习题答案与指导、教学素材资源、程序源代码、教学网站支持等立体化教学资源。

职业教育要不断进行改革,创新型教材建设是一项长期而艰巨的任务。为了使职业教育能够更好地为区域经济和企业服务,殷切希望高职高专院校的各位职教专家和老师提出建议和撰写精品教材(联系邮箱:chenjd@phei.com.cn,电话:010-88254585),共同为我国的职业教育发展尽自己的责任与义务!

前 言



单片机综合实践课程是高职高专院校电子类与电气类专业的核心课程之一，也是学校进行教学内容和方法改革的重点课程。编著者在进行多方面职业需求调研的基础上，结合电子行业企业的岗位特点和产品设计技能要求，以培养学生的可持续发展的职业技能为目标，对本课程进行了多次教学改革，建成了以工作过程为导向的项目化课程。

本课程的前导课程是单片机原理、C 语言编程及电子电路技术（模拟电子、数字电子、电子技术设计等），后续相关课程包括电子产品设计、毕业设计、嵌入式课程等。本课程的教学目的是基于前导课程的基础，通过项目化课程教学，培养和锻炼学生的单片机应用能力、程序设计能力、电子产品的基本开发和调试能力。在项目化驱动教学的同时，本课程更加注重学生的团队合作能力和自主学习能力的培养。

本书作为单片机综合实践课程的教材，是笔者结合多年的企业设计经验和多个教学成果编写而成的。本书既适合于教师按照开放式项目化教学形式开展教学，也适合于教师按照传统方式授课和学生自学使用。全书内容包括 7 个项目，每个项目细分为 2 ~ 3 个任务，内容涵盖单片机系统开发相关的知识与技能。通过学习这 7 个项目，希望读者能够借此进入单片机系统设计的大千世界，充分享受技术开发的乐趣。

本书的编写风格与传统教材不同，旨在采用轻松愉快的方式，让课程教学易于开展，并使学生掌握更多的单片机应用知识和技能。本书的内容按照作者提倡的“开放式项目化学习（教学）”理念进行编排，语言描述采用的是一种讨论和指导的方式，以便于与读者进行交流。为了更好地开展教学，作者尽最大能力进行全方位的单片机开发讲解，涉及与单片机设计相关的各方面知识点，并提供有关的源程序、电路原理图、Proteus 仿真电路图和演示视频，以及电路开发板（开发板可在指定网站购买），力争通过本书和配套的网络资源构建一个学习单片机的立体化平台。

在使用本书时，建议读者尽可能重现所关注的项目（任务），而不要拘泥于本书的代码示例（包括电路原理图、仿真电路图）。读者有可能会发现某个电路原理图、代码、流程图不是非常合理，也不是最好的，但是作者保证所有代码都已通过运行验证。同时，希望读者（学生）能够纠正设计的不足之处，这是因为只有带着疑问和探究的精神才能学到真正的知识。

本书的所有文字材料都由刘成尧撰写；本书的所有代码、电路开发板和演示视频由作者

所带的学生（黄海星、赵东杰）完成，他们在作者的指导下完成了电路原理图、仿真电路图、流程图和代码的开发，并尽可能按照华为公司的代码规范格式编写了代码。本书在编写过程中得到了创新实验班学生的大力支持，同时参考了许多专家的图书或网络文章，在此一并表示感谢。

电子世界是一个相对开放的世界，我们鼓励大家相互交流和沟通，对新的教学成果和设计经验开展探讨研究，同时要严格遵守相关的知识产权与法律法规。本书难免存在一些表述不完全准确或错误的地方，希望能够得到广大读者的批评指正。

为方便教师教学，本书配有免费的电子教学课件、源程序、电路原理图、仿真电路图和演示视频，请有此需要的教师登录华信教育资源网（<http://www.hxedu.com.cn>）免费注册后再进行下载，有问题时请在网站留言或与电子工业出版社联系（E-mail: hxedu@phei.com.cn）。

编著者



目 录



项目 1 电子琴设计	1
项目开发综合技能 1 资料获取与信息查询	2
任务 1.1 发出一种声音的电子琴设计	3
任务介绍 1.1	3
1.1.1 蜂鸣器的分类与驱动电路	3
1.1.2 蜂鸣器驱动电路的设计	4
1.1.3 单片机产生音乐的原理	5
1.1.4 单片机的延时程序设计	6
设计步骤 1.1	8
应用测试 1.1	11
项目开发综合技能 2 项目的需求分析	11
任务 1.2 能发出不同音阶声音的电子琴设计	13
任务介绍 1.2	13
1.2.1 单片机的定时器延时工作原理	13
1.2.2 单片机中断的应用	16
1.2.3 单片机系统的按键功能设计	19
设计步骤 1.2	29
应用测试 1.2	35
项目开发综合技能 3 项目的资源及成本分析	36
任务 1.3 具有多种功能的电子琴设计	38
任务介绍 1.3	38
设计步骤 1.3	38
应用测试 1.3	47
项目 2 LED 流水灯设计	48
任务 2.1 左右依次循环点亮的流水灯设计	49
任务介绍 2.1	49
2.1.1 发光二极管的类别与特性	49
2.1.2 C51 编程规范	51
2.1.3 Proteus 和 Keil 的联调	57
设计步骤 2.1	66
应用测试 2.1	69
任务 2.2 多种花样点亮的流水灯	70
任务介绍 2.2	70
设计步骤 2.2	70

应用测试 2.2	75
项目开发综合技能 4 项目的系统测试方法	75
任务 2.3 可调节型多功能亮灯的流水灯	77
任务介绍 2.3	77
设计步骤 2.3	77
应用测试 2.3	84
项目 3 单片机显示接口设计	85
任务 3.1 字符及字幕显示 (LCD1602、LED 点阵)	86
任务介绍 3.1	86
3.1.1 LCD1602 的功能与操作指令	86
3.1.2 LED 点阵显示	91
3.1.3 Keil 编译出错信息	94
设计步骤 3.1	99
应用测试 3.1	109
任务 3.2 创意型广告灯设计	110
任务介绍 3.2	110
3.2.1 单片机的编程风格	110
3.2.2 单片机应用程序模板	115
设计步骤 3.2	125
应用测试 3.2	131
任务 3.3 电子万年历设计	132
任务介绍 3.3	132
3.3.1 I ² C 总线及数据传输	132
3.3.2 SPI 总线及数据传输	135
3.3.3 单总线及数据传输	136
设计步骤 3.3	137
应用测试 3.3	139
项目 4 电机控制设计	141
任务 4.1 直流电机控制设计	142
任务介绍 4.1	142
4.1.1 直流电机的功能与主要参数	142
4.1.2 PWM 控制原理	142
4.1.3 电机驱动模块 (H 桥)	144
设计步骤 4.1	147
应用测试 4.1	153
任务 4.2 步进电机控制设计	154
任务介绍 4.2	154
4.2.1 步进电机的结构与工作原理	154
4.2.2 PID 闭环控制算法	156
设计步骤 4.2	163
应用测试 4.2	169

任务 4.3 直流电机、步进电机、舵机综合设计	169
任务介绍 4.3	169
4.3.1 舵机的工作原理	170
4.3.2 舵机的控制特点	170
设计步骤 4.3	170
应用测试 4.3	183
项目 5 A/D 转换模块设计	184
任务 5.1 简单数字电压表设计	185
任务介绍 5.1	185
5.1.1 A/D 转换原理	185
5.1.2 控制程序的优化	187
5.1.3 “地”的概念	191
设计步骤 5.1	192
应用测试 5.1	195
任务 5.2 带有电压与温度显示的电压表设计	196
任务介绍 5.2	196
设计步骤 5.2	196
应用测试 5.2	201
任务 5.3 具备设置功能的温度报警器设计	201
任务介绍 5.3	201
设计步骤 5.3	201
应用测试 5.3	210
项目 6 D/A 转换模块设计	211
任务 6.1 简单频率计设计	212
任务介绍 6.1	212
6.1.1 周期信号的概念	212
6.1.2 数模转换器	212
6.1.3 单片机系统的开发原则	215
设计步骤 6.1	219
应用测试 6.1	223
任务 6.2 信号发生器设计	223
任务介绍 6.2	223
设计步骤 6.2	223
应用测试 6.2	234
项目 7 单片机通信接口设计	235
任务 7.1 主、从机通信设计	236
任务介绍 7.1	236
7.1.1 波特率的概念	236
7.1.2 串口通信的相关概念	236
7.1.3 上、下位机	237

7.1.4 RS-232 238

7.1.5 RS-485 239

设计步骤 7.1 241

应用测试 7.1 251

任务 7.2 波特率可调的通信系统设计 251

任务介绍 7.2 251

设计步骤 7.2 251

应用测试 7.2 264

附录 A 配套开发板的使用说明 265

附录 B ASCII 码表 272

附录 C C51 学习要点指导 273



项目 1

电子琴设计

本项目以电子琴设计项目为起点，讲解单片机的基本编程概念和应用。在项目设计的过程中，将讨论如何在项目开发中获取必要的技术资料，如何进行项目需求的分析和资源及成本的分析等。

该项目涉及的技术点包括单片机如何产生声音，延时程序的设计，定时器与中断的原理，单片机人机接口的按键功能设计等。

本书的大多数项目包含了简单设计、复杂设计和创新设计三类，请读者根据需要选择阅读。



项目开发综合技能 1 资料获取与信息查询

查找资料的方法一般有通过网络和图书馆查找两个主要的途径，其中合理地使用网络资源能够达到事半功倍的效果，建议读者在项目开发前尽可能收集和整理所能获取的资料，这是做技术开发项目的必要工作。对收集的资料要能够进行整理和分析，并根据与项目开发的相关度进行分类。接下来的步骤是认真和耐心地分析资料和挖掘资料包含的信息，研究其电路图和程序设计思路，努力提取有用的内容进行加工，进而满足本项目的需求。资料的收集、整理、分析一般会集中在开发初期，但也会贯穿整个项目的开发过程。为了提高查找资料的效率，需要在平时多积累和保存相关资料，养成良好的资料保存与整理习惯。

本书之所以能够顺利完成，正是因为笔者把本书作为一个项目来看；正是笔者查询了大量的网上资料，在无数别人智慧的基础上，根据自己的“项目开发”需求，进行整理、分析和加工，再加上自己的创造，才最终形成了这本书。

通过网络收集资料时不可避免会遇到搜索的使用技巧等问题，这些问题实际上在使用搜索工具时都会遇到，希望读者能够多总结搜索的技巧，间接提高项目开发效率。下面以本项目为背景来介绍笔者所推荐的资料收集、整理和分析思路。

在确定了要完成的单片机项目功能需求后，项目设计的第一步应该是通过各种途径查询和收集项目开发所必需的技术资料等（即信息获取），要查询的资料包括以下几类。

(1) 查找是否有相同或类似单片机开发的电子琴项目（答案：有很多）。

(2) 能否较容易地获取该项目的电路原理图和 C51 程序（答案：容易）。

(3) 能否较容易地获取 Proteus 仿真电路（答案：容易）。

上述资料信息可以通过上网查找，比较常用的网站包括：

(1) www.protues.com.cn/forum.php;

(2) iask.sina.com.cn;

(3) 百度文库;

(4) www.jdzj.com;

(5) bbs.ednchina.com。

笔者在实现该项目的过程中从网络上获取了近 100MB 关于用单片机开发电子琴方面的资料，包括文档、程序、Proteus 仿真图、原理图，甚至还包括视频。笔者对这些资料进行了分类、整理和初步的分析，并与本书的电子琴项目最相关的一些资料进行了详细的分析，以吸取别人的设计思路，帮助自己完成电子琴的设计。笔者（无论是在做技术人员期间，还是在担任老师期间）非常鼓励开发者借鉴和创新别人的设计思路和部分设计成果，只有站在别人的肩膀上进行创新，才能够创造出更好的产品和服务。



任务 1.1 发出一种声音的电子琴设计

任务介绍 1.1

本任务介绍如何完成一个由单片机和蜂鸣器构成的简单电子琴的项目设计，该电子琴能够连续循环地播放一个音符。在实际开发过程中，笔者不提倡初学者一定要通过该电子琴准确发出某种音阶的声音，建议先确保能产生一个声音（人耳能听见即可）。这个任务的本意是引导初学者理解单片机如何通过延时程序生成一定频率的方波，进而产生声音，其重点是理解延时程序设计 with 单片机产生方波的方法。

1.1.1 蜂鸣器的分类与驱动电路

单片机产生声音的主要途径是通过其 P 口控制外部的蜂鸣器发声，本节首先介绍蜂鸣器的知识，然后介绍单片机应如何控制 P 口来驱动蜂鸣器工作。

蜂鸣器是一种一体化结构的电子发声器件，有直流或交流两种类型，广泛用做计算机、打印机、复印机、报警器、电子玩具、汽车电子设备、电话机、定时器等电子产品中的发声器件。蜂鸣器在电路中用字母“H”或“HA”（旧标准用“FM”、“LB”、“JD”等）表示。蜂鸣器的外观如图 1.1 所示（产品实例）。

根据发声材料、结构和驱动方式的不同，蜂鸣器可以分为压电式、电磁式、有源、无源等，如表 1.1 和表 1.2 所示。

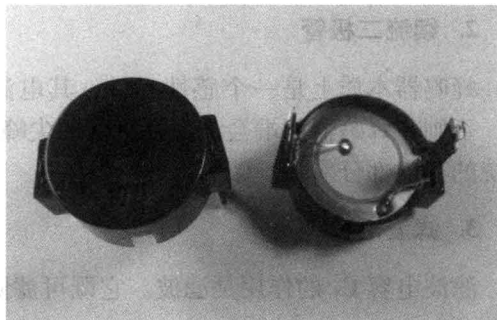


图 1.1 蜂鸣器的外观

表 1.1 蜂鸣器的分类 A（根据发声材料和结构分类）

分 类	特 点
压电式	由多谐振器、压电蜂鸣片、阻抗匹配器及共鸣箱、外壳等组成，具有工作电压高、可以大型化（大的直径）、声音分贝高等特点
电磁式	由振荡器、电磁线圈、磁铁、振动膜片及外壳等组成，具有工作电压较低、工艺简单等特点，不能做到很大的直径和分贝

表 1.2 蜂鸣器的分类 B（根据驱动方式分类）

分 类	特 点
有源 (源：振荡源)	有源蜂鸣器又称为直流蜂鸣器，其内部已经包含了一个多谐振器，只要在其两端施加额定直流电压即可发声。它具有驱动、控制简单的特点，但价格略高
无源	无源蜂鸣器又称为交流蜂鸣器，其内部没有振荡器，需要在其两端施加特定频率的方波电压（注意并不是交流，即没有负极性电压）才能发声。它具有可靠、成本低、发生频率可调整等特点

蜂鸣器驱动电路一般包含以下几个部分：一个三极管、一个蜂鸣器、一个续流二极管和一个电源滤波电容。蜂鸣器驱动电路的原理如图 1.2 所示。

蜂鸣器驱动电路分析如下。

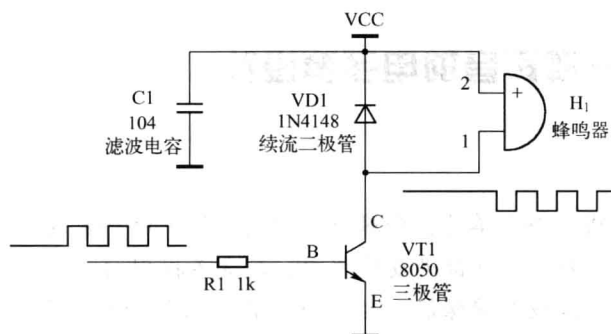


图 1.2 蜂鸣器驱动电路的原理

1. 蜂鸣器

蜂鸣器是发声元件，在其两端施加直流电压（有源蜂鸣器）或方波（无源蜂鸣器）就可发声，其主要参数是外形尺寸、发声方向、工作电压、工作频率、工作电流、驱动方式（直流/方波）等，这些都可以根据需要来选择。

2. 续流二极管

蜂鸣器本质上是一个感性元件，其电流不能瞬变，因此必须有一个续流二极管提供续流，否则在蜂鸣器两端会产生几十伏的尖峰电压，这可能损坏驱动三极管，并干扰整个电路系统的其他部分。

3. 滤波电容

滤波电容 C_1 的作用是滤波。它既可滤除蜂鸣器电流对其他部分的影响，也可改善电源的交流阻抗。

4. 三极管

三极管 VT1 起开关作用（工作在饱和与截止两个区），基极的高电平会使其饱和导通，进而使蜂鸣器发声；而基极的低电平则会使其截止，进而使蜂鸣器停止发声。

1.1.2 蜂鸣器驱动电路的设计

1. 有源蜂鸣器的驱动

有源蜂鸣器的驱动较为简单，只要在其两端施加额定工作电压就能发声。以 NPN 型三极管驱动有源蜂鸣器为例，只要在三极管的基极接入高电平，蜂鸣器就能发声。例如，当蜂鸣器每秒钟发声 100ms 时，三极管基极的驱动波形如图 1.3 所示。

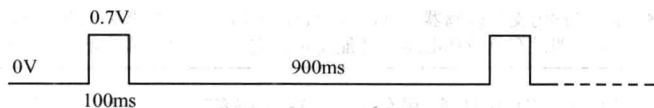


图 1.3 驱动有源蜂鸣器的波形图



2. 无源蜂鸣器的驱动

交流蜂鸣器的驱动相对复杂一点，需要在蜂鸣器两端施加额定电压的方波。有源蜂鸣器的工作频率范围通常是很窄的，这意味着一个有源蜂鸣器通常只有工作在其额定频率下才会有良好的发声效果（包括声压和音色等）。有些有源蜂鸣器的工作频率范围是比较宽的，这样就可以通过调整驱动方波的频率而使有源蜂鸣器发出声音，演奏歌曲。例如，当有源蜂鸣器每秒发声 100ms 时，三极管基极的驱动波形如图 1.4 所示（方波的频率没有明确标示，需要根据实际情况进行设置）。

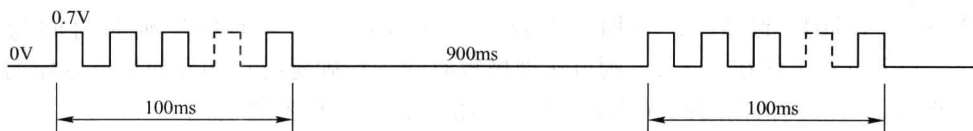


图 1.4 驱动交流蜂鸣器的波形图

1.1.3 单片机产生音乐的原理

一首音乐由许多不同的音阶组成，每个音阶对应不同的频率，这样就可以利用不同频率的组合构成所想要的音乐。要想使用单片机产生不同的频率还是比较方便的，可以利用单片机的定时器/计数器 T0 来产生方波频率信号，将该信号送入前面所说的蜂鸣器驱动电路，即可将方波的频率转变为对应的音阶。在使用定时器产生声音时，只要把一首歌曲的音阶与频率的对应关系与定时器的设置值弄清楚即可。以单片机接入 12MHz 晶振为例，高、中、低音阶与单片机定时器/计数器 T0 相关的计数值如图 1.5 所示。

按晶体频率为 12MHz 计算得到的 T 值，即为时间常数。

音符	频率 (Hz)	简谱码 (T 值)	HEX	音符	频率 (Hz)	简谱码 (T 值)	HEX
低 1 DO	262	63628	F88C	#4 FA#	740	64860	FD5C
#1 DO#	277	63731	F8F3	中 5 SO	784	64898	FD82
低 2 RE	294	63835	F95B	# 5 SO#	831	64934	FDA6
#2 RE#	311	63928	F9B8	中 6 LA	880	64968	FDC8
低 3 M	330	64021	FA15	# 6	932	64994	FDE2
低 4 FA	349	64103	FA67	中 7 SI	988	65030	FE06
# 4 FA#	370	64185	FAB9	高 1 DO	1046	65058	FE22
低 5 SO	392	64260	FB04	# 1 DO#	1109	65085	FE3D
# 5 SO#	415	64331	FB4B	高 2 RE	1175	65110	FE56
低 6 LA	440	64400	FB90	# 2 RE#	1245	65134	FE6E
# 6	466	64463	FBCF	高 3 M	1318	65157	FE85
低 7 SI	494	64524	FC0C	高 4 FA	1397	65178	FE9A
中 1 DO	523	64580	FC44	# 4 FA#	1480	65198	FEAE
# 1 DO#	554	64633	FC79	高 5 SO	1568	65217	FEC1
中 2 RE	587	64684	FCAC	# 5 SO#	1661	65235	FED3
# 2 RE#	622	64732	FCDC	高 6 LA	1760	65252	FEE4
中 3 M	659	64777	FD09	# 6	1865	65268	FEF4
中 4 FA	698	64820	FD34	高 7 SI	1976	65283	FF03

图 1.5 音阶与定时器的初始值关系图



1.1.4 单片机的延时程序设计

延时通常有两种方法：一种是硬件延时，需要用到定时器/计数器，这种方法可以提高 CPU 的工作效率，也能做到精确延时；另一种是软件延时，这种方法主要采用循环体进行。

1. 使用定时器/计数器实现精确延时

51 单片机系统一般常选用 11.0592MHz、12MHz 或 6MHz 晶振。第一种晶振常用于产生各种标准的波特率，后两种晶振对应的一个机器周期分别为 $1\mu\text{s}$ 和 $2\mu\text{s}$ ，便于精确延时。假设使用频率为 12MHz 的晶振，采用定时器（方式 1）可产生的最长延时时间为 $2^{16} = 65\,536\mu\text{s}$ ；若定时器工作在方式 2，则可实现极短时间的精确延时；如果使用其他定时方式，则要考虑重装定时器初值的时间（重装定时器初值占用 2 个机器周期）。

在实际应用中，定时器常采用中断方式工作，如果进行适当的循环可实现几秒甚至更长时间的延时。使用定时器/计数器延时从程序的执行效率和稳定性两方面来考虑都是最佳的方案。但应该注意，用 C51 程序编写的中断服务程序在编译后会自动加上 PUSH ACC、PUSH PSW、POP PSW 和 POP ACC 语句，执行时它们占用了 4 个机器周期；如果程序中还有计数值加 1 语句，则又会占用 1 个机器周期。这些语句所消耗的时间在计算定时器初值时要考虑进去，应从初值中减去这些时间以达到误差最小的目的。

下面以 12MHz 晶振为例，设计了几个延时程序（采用定时器 0 的工作模式 1）。

1) 延时 0.9 ms

```
void delay_0_9ms(void)
{
    TMOD = 0x01;    /* 定时器 0 工作在模式 1 下 (16 位计数器) */
    TH0 = 0xFC;
    TL0 = 0x7C;
    TR0 = 1;        /* 启动定时器 */
    while(TF0 == 0);
    TR0 = 0;
}
```

2) 延时 1 ms

```
void delay_1ms(void)
{
    TMOD = 0x01;    /* 定时器 0 工作在模式 1 下 (16 位计数器) */
    TH0 = 0xFC;
    TL0 = 0x18;
    TR0 = 1;        /* 启动定时器 */
    while(TF0 == 0);
    TR0 = 0;
}
```



3) 延时 4.5 ms

```
void delay_4_5ms(void)
{
    TMOD=0x01;    /* 定时器0 工作在模式1 下 (16 位计数器) */
    TH0 = 0xEE;
    TL0 = 0x6C;
    TR0 = 1;       /* 启动定时器 */
    while(TF0 == 0);
    TR0 = 0;
}
```

网上也提供了一些免费使用的专用于 51 单片机定时器初值计算的软件,可以大大方便定时器初值的计算,读者可自行搜索。

2. 软件延时与时间的计算

在很多情况下,定时器/计数器经常被用于其他用途,这时就只能采用软件方法延时了。下面介绍几种软件延时的方法。

可以在 C 文件中通过使用带 `_NOP_()` 语句的函数设计出各种延时函数,如 `Delay10us()`、`Delay25us()`、`Delay40us()` 等,将它们存放在一个自定义的 C 文件中,需要时在主程序中直接调用。例如,延时 $10\mu\text{s}$ 的延时函数(以 12MHz 晶振为例)可编写如下:

```
void Delay10us()
{
    _NOP_();
    _NOP_();
    _NOP_();
    _NOP_();
    _NOP_();
    _NOP_();
}
```

`Delay10us()` 函数中共用了 6 个 `_NOP_()` 语句,每个语句的执行时间为 $1\mu\text{s}$ 。当主函数调用 `Delay10us()` 时,先执行一个 `LCALL` 指令 ($2\mu\text{s}$),然后执行 6 个 `_NOP_()` 语句 ($6\mu\text{s}$),最后执行一个 `RET` 指令 ($2\mu\text{s}$),因此执行上述函数共需要 $10\mu\text{s}$ 。

可以把这一函数当做基本延时函数在其他函数中调用,即嵌套调用,以实现较长时间的延时。但是需要注意,如果在 `Delay40us()` 中直接调用 4 次 `Delay10us()` 函数,得到的延时时间将是 $42\mu\text{s}$,而不是 $40\mu\text{s}$ 。这是因为执行 `Delay40us()` 时,先执行了一次 `LCALL` 指令 ($2\mu\text{s}$),然后开始执行第一个 `Delay10us()`,执行完最后一个 `Delay10us()` 时,直接返回到主程序。以此类推,如果是两层嵌套调用,如在 `Delay80us()` 中两次调用 `Delay40us()`,则也要先执行一次 `LCALL` 指令 ($2\mu\text{s}$),然后执行两次 `Delay40us()` 函数 ($84\mu\text{s}$),因此实际延时时间为 $86\mu\text{s}$ 。该指令直接返回到上级函数或主函数。如在 `Delay80us()` 中直接调用 8 次 `De-`