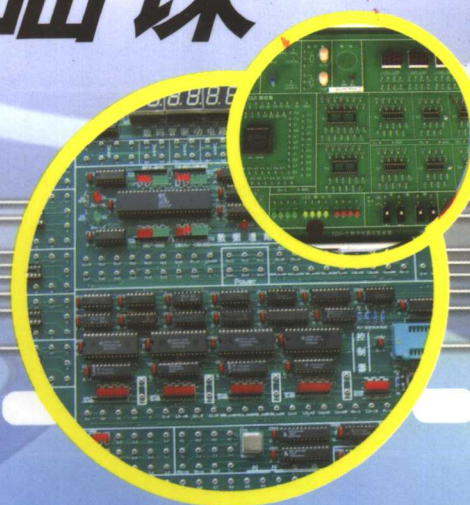


白中英 杨春武 冯一兵 主编

计算机 硬件基础课 实验教程



清华大学出版社

白中英 杨春武 冯一兵 主编

计算机 硬件基础课 实验教程

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书是配合计算机硬件基础课程实验教学的教材,内容包括实验教学的作用和目标;《数字逻辑与数字系统》实验;EDA工具入门;TEC—5 数字逻辑和计算机组成实验系统;TEC—4 计算机组成与体系结构实验系统;研究性实验课题。

本书以创新研制的三种型号教学仪器为背景,详细介绍了《数字逻辑与数字系统》《数字电子技术基础》《计算机组成原理》《计算机组织与体系结构》等课程的基本教学实验、综合性实验、研究性实验课题,由浅入深,由易到难,有很强的教学指导性,利于学生的创新能力培养。

本书适合于计算机、信息、自控、电子等专业的本科生及工程技术人员学习及参考阅读。

版权所有,翻印必究。举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

图书在版编目(CIP)数据

计算机硬件基础课实验教程/白中英等主编. —北京:清华大学出版社, 2005. 7

ISBN 7-302-11203-7

I. 计… II. 白… III. 硬件—高等学校—教材 IV. TP303

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 061889 号

出 版 者: 清华大学出版社 地 址: 北京清华大学学研大厦

<http://www.tup.com.cn> 邮 编: 100084

社 总 机: 010-62770175 客户服务: 010-62776969

责任编辑: 柴文强

印 刷 者: 北京市世界知识印刷厂

装 订 者: 北京市密云县京文制本装订厂

发 行 者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 185×260 印张: 11.5 字数: 253 千字

版 次: 2005 年 7 月第 1 版 2005 年 7 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-302-11203-7/TP·7397

印 数: 1~5000

定 价: 19.00 元

前 言

两千五百年前，中国伟大的教育家孔子说过一句名言：“学而时习之，不亦乐乎！”

传授知识、培养能力、提高素质是课程教学的三大目标。要实现培养目标的目标，必须具有实践环节。教育部高教司主持鉴定的《中国计算机学科教程 2002》，明确地将实践教学摆到了重要位置，并给予了系统的论述，体现学科的理论性与实践性相结合的特征。也正因为如此，国家级“精品课程”建设中把实验教学列为重要的考核指标。

世界现实证明，国家强盛靠人才，人才素质靠教育，教育水平看能力，能力培养靠实践！自己动手做实验，自己动手做设计，知识才能学活用活，才能提高分析问题和解决问题的能力，才能培养出“创造型”的人才。

《数字逻辑与数字系统》《数字电子技术基础》《计算机组成原理》《计算机组织与体系结构》等课程是信息类专业的技术基础课或学科专业基础课的教材，这些都是实践性很强的课程，仅从书本上学习，学生会感到有不同程度的困难。为使理论教学与实践教学紧密结合，注重学生的智力开发和创新能力的培养，我们总结多年实践教学的经验，并以清华大学科教仪器厂开发研制的 TDS—2 数字电路实验系统、TEC—5 数字逻辑和计算机组成实验系统、TEC—4 计算机组成与体系结构实验系统三种型号的教学仪器为背景，编写了这本《计算机硬件基础课程实验教程》，它不仅适用于计算机学科，也可适用于电子、自动化、通信等其他信息类学科的学生。

为便于教师备课和实施教学，三种型号的教学仪器均配有不同版本的《教师用实验指导书》和《辅助实验软件光盘》，随同教学仪器一起提供给各个学校。

参加本书编写、教学仪器研制、辅助实验软件研制的有覃键诚、王军德、李耀、许嘉林、于艳丽、冯堃、金丽霞、张杰、靳秀国、李颖、李龙、许裕宁、戴时装、刘红玉、杨蕾等同志，限于幅画，未能在封面上——列名。

在仪器研制和成书过程中，得到了清华大学科教仪器厂李鸿儒厂长的鼎力支持，美国 Lattice 公司上海分公司陈恒先生、乐峰先生也给了很大的帮助，无偿提供了先进的 ISP 芯片和软件工具。在此一并向各位先生表示衷心的感谢！

作 者

2005 年 5 月于北京

目 录

第1章	实验教学的作用和目标	1
1.1	实验教学的作用	1
1.2	实验教学的内容和水平	1
1.3	教学实验的目标	2
第2章	《数字逻辑与数字系统》实验	5
2.1	TDS—2 数字电路实验系统	5
2.1.1	TDS—2 实验系统的性能特点	5
2.1.2	TDS—2 实验系统的基本组成	6
2.2	数字逻辑实验基本知识	11
2.2.1	数字集成电路	11
2.2.2	数字波形	12
2.2.3	数字电路测试及故障查找、排除	14
2.3	基本逻辑门实验	15
2.3.1	实验目的	15
2.3.2	实验所用器件和设备	15
2.3.3	实验内容	16
2.3.4	实验提示	16
2.3.5	实验报告要求	16
2.4	三态门实验	16
2.4.1	实验目的	16
2.4.2	实验所用器件和设备	17
2.4.3	实验内容	17
2.4.4	实验提示	17
2.4.5	实验报告要求	17
2.5	数据选择器和译码器实验	18
2.5.1	实验目的	18
2.5.2	实验所用器件和设备	18
2.5.3	实验内容	18
2.5.4	实验报告要求	18

2.6	全加器实验	19
2.6.1	实验目的	19
2.6.2	实验所用器件和设备	19
2.6.3	实验内容	19
2.6.4	实验提示	20
2.6.5	实验报告要求	20
2.7	组合逻辑中的冒险现象实验*	20
2.7.1	实验目的	20
2.7.2	实验所用器件和设备	20
2.7.3	实验内容	20
2.7.4	实验报告要求	21
2.8	触发器实验	21
2.8.1	实验目的	21
2.8.2	实验所用器件和设备	21
2.8.3	实验内容	21
2.8.4	实验提示	22
2.8.5	实验报告要求	22
2.9	简单时序电路实验	22
2.9.1	实验目的	22
2.9.2	实验所用器件和设备	22
2.9.3	实验内容	23
2.9.4	实验提示	24
2.9.5	实验报告要求	24
2.10	计数器实验	24
2.10.1	实验目的	24
2.10.2	实验说明	25
2.10.3	实验所用器件和设备	25
2.10.4	实验内容	25
2.10.5	实验报告要求	25
2.11	四相时钟分配器*	26
2.11.1	实验目的	26
2.11.2	实验所用器件和设备	26
2.11.3	实验内容	26
2.11.4	实验提示	27
2.11.5	实验报告要求	27

2.12 通用逻辑阵列(GAL)实验	27
2.12.1 实验目的	27
2.12.2 实验所用器件和设备	28
2.12.3 实验内容	28
2.12.4 实验报告要求	28
2.13 在系统编程实验(1)	29
2.13.1 实验目的	29
2.13.2 实验所用的器件和设备	29
2.13.3 实验内容	30
2.3.13 实验报告要求	30
2.14 在系统编程实验(2)	30
2.14.1 实验目的	30
2.14.2 实验所用的器件和设备	30
2.14.3 实验内容	31
2.14.4 实验报告要求	31
2.15 课题一 简易电子琴	32
2.15.1 实验目的	32
2.15.2 实验所用器件和仪表	32
2.15.3 实验内容	32
2.15.4 实验提示	32
2.15.5 实验报告要求	33
2.16 课题二 简易频率计	33
2.16.1 实验目的	33
2.16.2 实验所用器件和设备	33
2.16.3 实验内容	33
2.16.4 实验提示	34
2.16.5 实验报告要求	34
2.17 课题三 交通控制灯	34
2.17.1 实验目的	34
2.17.2 实验所用器件和设备	34
2.17.3 实验内容	35
2.17.4 实验提示	35
2.17.5 实验报告要求	35
2.18 课题四 电子钟	36
2.18.1 实验目的	36

2.18.2	实验所用器件和设备	36
2.18.3	实验内容	36
2.18.4	实验报告要求	36
2.19	课题五 自动打铃系统*	37
2.19.1	设计任务	37
2.19.2	设计要求	37
2.19.3	评分标准	38
2.19.4	说明	38
2.20	TEC—5 数字逻辑与计算机组成实验系统	38
2.20.1	《数字逻辑与数字系统》实验区	39
2.20.2	《数字逻辑与数字系统》实验教学内容	40
第3章	EDA 工具入门	41
3.1	ispEXPERT 使用概述	41
3.1.1	项目导航器	41
3.1.2	可编程器件设计步骤	43
3.2	建立由 ABEL-HDL 源文件组成的设计	44
3.3	建立由原理图源文件组成的设计	48
3.3.1	进入原理图设计环境	48
3.3.2	安放元件	49
3.3.3	连线	50
3.3.4	自定义元件模块	53
3.4	混合设计及层次导航	55
3.4.1	选择自定义元件的源文件形式	55
3.4.2	层次导航	56
3.5	编译、模拟与器件适配	56
3.5.1	文件编译	56
3.5.2	连接和器件适配	57
3.5.3	模拟	57
3.6	下载	60
第4章	TEC—5 数字逻辑和计算机组成实验系统	63
4.1	TEC—5 实验系统的特点和组成	63
4.1.1	TEC—5 实验系统的特点	63
4.1.2	TEC—5 实验系统的组成	64
4.2	运算器组成实验	74

4.2.1	实验目的	74
4.2.2	实验电路	74
4.2.3	实验设备	75
4.2.4	实验任务	76
4.2.5	实验要求	76
4.2.6	实验步骤和实验结果	76
4.3	双端口存储器原理实验	78
4.3.1	实验目的	78
4.3.2	实验电路	79
4.3.3	实验设备	80
4.3.4	实验任务	80
4.3.5	实验要求	81
4.3.6	实验步骤及结果	81
4.4	数据通路组成实验	82
4.4.1	实验目的	82
4.4.2	实验电路	83
4.4.3	实验设备	84
4.4.4	故障的分析与排除	84
4.4.5	实验任务	85
4.4.6	实验要求	85
4.4.7	实验步骤及结果	86
4.5	微程序控制器组成实验	87
4.5.1	实验目的	87
4.5.2	实验电路	88
4.5.3	机器指令与微程序	91
4.5.4	实验设备	95
4.5.5	实验任务	96
4.5.6	实验要求	96
4.5.7	实验步骤和实验结果	96
4.6	CPU 组成与指令周期实验	101
4.6.1	实验目的	101
4.6.2	实验电路	101
4.6.3	实验设备	101
4.6.4	实验任务	101
4.6.5	实验要求	103

4.6.6	实验步骤和实验结果	103
4.7	采用硬连线控制器的顺序模型计算机设计与调试 (课程设计)	107
4.7.1	教学目的、任务与实验设备	107
4.7.2	数据格式和指令系统	108
4.7.3	总体设计	109
4.7.4	硬连线控制器的设计特点	109
4.7.5	组装与调试	111
4.7.6	参考设计方案	112
第 5 章	TEC—4 计算机组成与体系结构实验系统	117
5.1	TEC—4 实验系统的特点和组成	117
5.1.1	TEC—4 实验系统特点	117
5.1.2	TEC—4 实验系统的组成	118
5.2	运算器组成实验	128
5.2.1	实验目的	128
5.2.2	实验电路	128
5.2.3	实验设备	130
5.2.4	实验任务	130
5.2.5	实验要求	131
5.3	双端口存储器原理实验	131
5.3.1	实验目的	131
5.3.2	实验电路	131
5.3.3	实验设备	133
5.3.4	实验任务	133
5.3.5	实验要求	134
5.4	数据通路组成实验	134
5.4.1	实验目的	134
5.4.2	实验电路	135
5.4.3	实验设备	135
5.4.4	实验任务	137
5.4.5	实验要求	137
5.5	微程序控制器组成实验	138
5.5.1	实验目的	138
5.5.2	实验电路	138
5.5.3	机器指令与微程序	141

5.5.4 实验设备	144
5.5.5 实验任务	144
5.5.6 实验要求	145
5.6 CPU 组成与指令周期实验	145
5.6.1 实验目的	145
5.6.2 实验电路	146
5.6.3 实验设备	146
5.6.4 实验任务	146
5.6.5 实验要求	147
5.7 中断原理实验	148
5.7.1 实验目的	148
5.7.2 实验电路	148
5.7.3 中断的检测、执行和返回过程	149
5.7.4 实验设备	149
5.7.5 实验任务	150
5.7.6 实验要求	150
5.8 采用硬连线控制器的顺序模型计算机设计与调试	151
5.8.1 教学目的、任务与实验设备	151
5.8.2 数据格式和指令系统	152
5.8.3 总体设计	152
5.8.4 硬连线控制器的设计特点	152
5.8.5 组装与调试	155
第 6 章 研究性实验课题	157
6.1 阵列乘法器设计实验	157
6.1.1 教学目的	157
6.1.2 设计与调试任务	157
6.1.3 实验设备	157
6.2 多功能 ALU 设计实验	159
6.2.1 教学目的	159
6.2.2 设计与调试任务	159
6.2.3 实验设备	159
6.3 采用微程序控制器的流水模型计算机设计	161
6.3.1 教学目的	161
6.3.2 时间安排	161

6.3.3	设计与调试任务	161
6.4.4	实验设备	162
6.4	采用硬连线控制器的流水模型计算机设计	165
6.4.1	教学目的	165
6.4.2	时间安排	166
6.4.3	设计与调试任务	166
6.4.4	实验设备	166
参考文献		168

第1章 实验教学的作用和目标

1.1 实验教学的作用

教育部高等教育司于2002年4月在北京主持召开了《中国计算机科学与技术学科教程2002》(简称CCC2002)项目评审会。“评审意见”第4条强调:“注重了课程体系的组织与学生能力培养和素质提高的密切配合,明确地将实践教学摆到了重要位置,并给予了系统的论述,体现了学科的理论性与实践性相结合的特征。”

按CCC2002推荐的课程体系,目前国内计算机科学与技术学科硬件核心基础课程的设置有以下三种模式:

第一种模式是**数字逻辑与数字系统**(技术基础课)→**计算机组成原理**(专业基础课)→**计算机体系结构**(专业课)。三门课程总学时为理论+实验。这种模式有利于加强计算机硬件人才的培养。大部分重点院校采用这种模式。

第二种模式是**数字逻辑与数字系统**(技术基础课)→**计算机组织与体系结构**(专业基础课)。这种模式将第一种模式中的后两门课程合并且压缩学时。计算机学科偏软的大部分院校采用这种模式。

第三种模式是将第一种模式中的3门课程合并为一门课程——**计算机组织与体系结构**(专业基础课)。学时数缩减一半(理论+实验)。部分院校的软件学院采用这种模式。

实验教学在计算机学科中的作用无法用其他手段来取代,它是教学活动的不可缺少的环节。概括起来,实验教学的作用有以下4点:

- (1) 实验教学与课堂教学相辅相成,以达到理论联系实际的良好效果。
- (2) 实验教学对软/硬件的设计、实现、测试原理和方法起示范作用。
- (3) 实验教学不仅仅是对理论的验证,更重要的在于技术训练和能力培养,包括动手能力、分析解决问题能力、书写表达能力、协作能力等。
- (4) 实验教学是实验教师和学生交流的最好桥梁,是引导学生深入思考、探索未知、敢于创新的最好环境。

1.2 实验教学的内容和水平

随着计算机科学技术的飞速发展,教学实验的内容应不断更新,实验水平应不断提高。要不断地追踪新原理、新技术、新方法和新器件,并及时地反映到实验教学中。在每门课

程的实验中,可能会通过多种不同的实验类型来培养学生各方面的能力。

基本实验是计算机学科教学实验的基本要求,用以配合课程的理论教学,达到对学生的基本要求。具有提高作用的**开放实验**可以根据各个学校自身的情况开设,目的是进一步提高教学水平,培养学生的实验技能,并使学生较深入和全面地了解现代计算机的先进技术。

按方式区分,教学实验分为**闭实验**和**开实验**。闭实验有老师指导,有软/硬件和仪器设备的支持,按照实验指导书的要求,完成特定的实验内容;开实验则没有教师指导,学生在方便的时候自行进行实验,充分发挥学生的主观能动性,进行创新设计实验或科学研究实验。实验室要提供设备、仪器、器件等保障条件。

按性质区分,教学实验的不同类型包括:

(1) 观察性实验:培养学生的注意力、观察力、辨识力,同时增强学生的学习兴趣。这类实验一般是教师进行的演示性实验。

(2) 验证性实验:培养学生对仪器设备的操作能力,加强对理论的理解。实际上,与课程相关的大部分实验都是验证性实验。

(3) 设计性实验:培养学生的设计能力和独立工作能力。这类实验是课程中较大的实验,如《数字逻辑与数字系统》中的电子琴、交通控制灯、数字闹钟等。

(4) 综合性实验:培养学生分析问题和解决问题的能力。这类实验是常说的“大作业”实验或“课程设计”,如《计算机组成原理》课程设计、《计算机体系结构》课程设计等。

(5) 研究性实验:培养学生的推理抽象能力和研究能力。一般情况下,毕业设计属于这一类实验的范畴。

1.3 教学实验的目标

传授知识、发展智力和培养能力,这三者是相互联系,相辅相成的。

传授知识,这是对教学的起码要求。“知识就是力量”这句名言,充分说明了知识的作用和价值。但是我们培养的学生,不仅是人类科学文化的继承者,而且是人类科学文化的创造者。而要创造,要发展,就要依靠知识、智力和能力,三者缺一不可。如果说人对社会最终的报答是贡献,那么智力和能力将起决定性的作用。因此,我们必须转变教学思想,从只重视传授知识转变到重视发展智力和培养能力方面来,这既是教育的任务,也是时代的要求。

智力是由观察力、注意力、记忆力、想象力、思考力等一般能力要素所构成的具有一定结构的系统。用数学语言描述,就是智力因数 I 是一般能力要素 C 的函数,即

$$I = f(C_O, C_N, C_R, C_I, C_T) \quad (1)$$

式中:

- I ——智力因数,它综合反映一个人的智力品质;
- C_O ——观察力,它是个体精细感知事物的特性,辨别相似现象和新异现象的能力;
- C_N ——注意力,它是个体组织自己心理活动,使之有效地指向和集中于某个认识对象的能力;
- C_R ——记忆力,它是个体保持和再现、再认识以往对客观事物的反映内容和主观体验的能力;
- C_I ——想象力,它是个体根据已有知识经验创造性地形成新事物的形象,推测其结构、特性及其变化的能力;
- C_T ——思考力,它是个体合乎逻辑地对客观事物形成概念,作出判断,进行推理思维的能力,它进一步又可分为分析能力、综合能力、比较能力、概括能力和抽象能力。

智力是通过对知识的掌握过程而形成的。但是不能认为知识就是能力。知识是能力的基础,能力是知识的集中体现。“无知必然无能,无能很难有知”,足以说明知识与能力之间的辩证关系。能力是要经过专门训练的,要靠培养,要靠发展。能力总是与成功地完成某个项目或任务相联系,是在实践活动中发展的。“实践出智慧,实践长才干”,就是这个道理。

我们从表达式(1)可知,智力因数 I 是能力要素 C_I 的函数,要发展智力,必须重视培养能力。而能力总是同成功地完成某种活动相联系,要培养能力,必须重视实践性教学环节。我们不能因为能力的发展与知识的获得有联系,就认为学生的能力培养可以在教学过程中自发地实现。有鉴于此,在教学中应该明确地提出培养能力的要求和目标,并且有计划地自觉地去实现这个目标。

本书实验内容正是为了这样的要求和目标而设计的。实践表明,这是现有条件下能够办得到,而且是行之有效的一种方法。

本书教学内容所要达到的目标是:

(1) 进一步融会贯通教材内容,掌握数字系统或计算机各功能模块的工作原理、相互联系和来龙去脉,完整地建立数字系统或计算机的整机概念。

(2) 激发学生的学习热情和主动性,培养学生的独立工作能力,在实践活动中,将所学知识综合运用,增长才干,并积累经验。

(3) 培养严谨的科研作风,使学生利用数字逻辑与数字系统、计算机组成原理、计算机组织与体系结构课程的理论知识和实验技能,在该课程所涉及的工程技术范围内,创造性地完成部件及系统的分析、设计、组装和调试,进一步加强实验技能的训练。

根据不同阶段的教学需要和实施经验,实践性教学环节分为以下两个过程进行:

1. 教学实验

教学目的侧重于学习知识。实验内容与理论教学内容紧密配合,同步进行,成为课程

教学计划总学时的一部分。

例如数字逻辑与数字系统安排如下基本实验：①基本逻辑门（与非门、或非门、异或门、三态门）；②数据选择器、译码器；③全加器；④触发器；⑤简单时序电路；⑥计数器；⑦通用逻辑阵列（GAL）；⑧E²PROM；⑨在系统编程。

计算机组织与体系结构（或计算机组成原理）共安排 5 个基本实验：①运算器组成；②双端口存储器原理；③数据通路组成；④微程序控制器；⑤CPU 组成与机器指令执行。上述实验设计采用模块结构，由易到难，由简到繁。事实上，第五个实验是运算器模块、存储器模块、控制器模块的完整组合，形成了一个模型计算机。这些实验提供了学生的动手条件，能够加深学生对计算机组织与体系结构或计算机组成原理课程内容的理解和掌握整机概念。

2. 课程设计

教学目的侧重于能力的培养。课程设计是数字逻辑与数字系统、计算机组织与体系结构（或计算机组成原理）课程结束后安排的一次时间相对集中的实践性教学活动（2~3 周）。在这个教学环节上，可以充分发挥学生的自主性和创造性，加强学生的创新能力培养。教学目标是培养学生综合运用知识的能力，分析问题、解决问题的能力，硬件动手能力和基本的科研能力。

数字逻辑与数字系统课程安排了 5 个综合性课题实验，均采用先进的 ISP（在系统编程）技术进行，用软件方法来设计和调试硬件。计算机组织与体系结构（或计算机组成原理）课程安排了一个大型的综合性实验，既采用硬连线控制器的模型计算机设计，也采用先进的 ISP 技术进行。此外，第 6 章还安排了 4 个规模不同的研究性实验课题，各校可以根据不同情况进行选做。

第2章 《数字逻辑与数字系统》实验

2.1 TDS—2 数字电路实验系统

《数字逻辑与数字系统》是计算机、自动控制、电子、通信类专业的一门技术基础课程。

可编程逻辑器件 PLD 的问世使同一个器件完成不同逻辑功能成为现实,它们将采用中小规模标准器件设计和制作印制板的工作变成了对可编程器件的设计和编程。20 世纪 90 年代发明的在系统编程 (ISP) 技术则进一步突破了 PLD 器件必须先编程,后安装到印制电路板上的限制。ISP 器件能够先安装后编程,在系统中还可对设计进行修改和升级。这些技术对数字系统设计带来了革命性的变化。

为了使教学设备与教材跟上新技术的发展,清华大学科教仪器厂研制开发了 TDS—2 数字电路实验系统(简称 TDS-2 实验系统)。它专为《数字逻辑与数字系统》或《数字电子技术基础》课程的教学实验设计,是一种通用的实验设备。在这个实验设备上,既可以使用中小规模器件做数字逻辑的基础性实验,又可以用 ISP 器件做复杂的数字系统实验,学习国际上先进的设计技术。

2.1.1 TDS—2 实验系统的性能特点

TDS—2 数字电路实验系统主要性能如下:

(1) 在 PC Windows 下运行的 EDA 编程软件,是 Lattice 公司设计的一个优秀通用电子设计工具软件,它提供了 ABEL-HDL 设计、原理图设计、ABEL-HDL 和原理图混合设计等三种设计方式,使数字电路的设计变得十分灵活方便。ABEL 语言适合于教学。

(2) TDS—2 有 1 个 84 芯 PLCC 方形插座、Lattice 下载电缆及插座,供 ISP 器件实验使用。

(3) 时钟电路。提供 10MHz、1MHz、500kHz、100kHz 固定时钟和 1kHz~100kHz 可调时钟。

(4) 4 路单脉冲电路。每路产生一个宽单脉冲和一个窄单脉冲。宽单脉冲与按下按键的时间一致,窄单脉冲脉宽与输入的时钟周期相等。按下一个按键,能够在 4 个输出上各产生一个窄单脉冲,4 个单脉冲依次相差一个时钟周期。

(5) EPROM、GAL 编程器。提供对 EPROM、EEPROM 和 GAL 器件的编程手段。