

高等学校教材

数字化测量技术

SHUZIHUA Celiang JISHU

主 编 沙占友 王晓君

副主编 睢丙东 王彦朋 于国庆 孟志永



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

TM932

14

高等学校教材

TM932

14

数字化测量技术

主 编 沙占友 王晓君
副主编 睢丙东 王彦朋 于国庆 孟志永



机械工业出版社

本书从实际应用角度出发,全面、系统、深入、精辟地阐述了数字化测量领域的新技术。全书共分12章,第一章为数字化测量概述。第二~第八章分别介绍了各种数字集成电路、数字显示与大屏幕智能显示技术、通用及特种集成电源、数据采集系统及语音处理技术的原理及应用。第九章介绍数字电位器的原理与应用。第十~十二章深入剖析了由大规模或超大规模集成电路构成的新型数字仪表、新颖检测电路及检测系统的电路设计原理,可帮助读者解决在科研、生产和实验中遇到的一些数字化测量领域的新课题。

本书题材新颖,内容丰富,深入浅出,图文并茂,既富有科学性和先进性,又具有很高的实用价值。可作为高等院校电子信息工程、检测技术及仪器、测控技术及仪器等专业的本科生教材兼作相关专业硕士研究生的教材,并可供电子技术人员和电子爱好者阅读。

图书在版编目(CIP)数据

数字化测量技术/沙占友,王晓君主编. —北京:机械工业出版社,2009.3
ISBN 978-7-111-26241-1

I. 数… II. ①沙…②王… III. 数字式测量仪器 IV. TM932

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第017480号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)
责任编辑:罗莉 版式设计:霍永明 责任校对:程俊巧
封面设计:王伟光 责任印制:邓博
北京京丰印刷厂印刷
2009年3月第1版·第1次印刷
184mm×260mm·17印张·415千字
0 001—3 000册
标准书号:ISBN 978-7-111-26241-1
定价:29.80元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
销售服务热线电话:(010) 68326294
购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643
编辑热线电话:(010) 88379762
封面无防伪标均为盗版

前 言

数字化是将各种信息转换成可以度量的数字或数据的过程。数字化是现代信息技术的基础。数字化测量是 21 世纪一项高新科学技术。其基本内容是将连续变化的被测模拟量转换成离散的数字量,再经过数据采集、计数、编码、数据传输与存储,最后完成数据处理、图像处理、显示及打印工作。它所涉及的内容广泛,既有智能传感器与检测电路,又有数字化仪表、智能仪器、智能传感器系统、数据采集系统和检测系统。目前,数字化测量技术已被广泛用于工业、交通、通信、军事、金融、文教、家庭各个领域,成为高精度、高速率、高抗扰、实时测量及自动控制的最佳选择和可靠保证。

鉴于国内专门介绍数字化测量技术与应用的书籍较少,作者编著的高等学校教材《实用数字化测量技术》、《新编实用数字化测量技术》,由国防工业出版社分别于 1991 年、1998 年出版。2004 年新编著的《数字化测量技术与应用》,由机械工业出版社出版。上述教材均多次重印,受到国内专家与许多读者的好评,并作为我校及兄弟院校的本科生及研究生教材。鉴于近几年来数字化测量领域又获得了飞速发展,许多新技术和新产品亟待推广应用,而广大读者迫切需要系统地掌握该领域的新技术。为此,在保留原教学体系(含实验和课程设计)不变的情况下,我们对内容做了大量精简、修改,并增加了对教学及科研有重要实用价值的内容,修改及新增内容约占原书的 40%,书名也改为《数字化测量技术》。

本书融科学性、先进性、系统性、实用性于一体,主要有以下特点:

第一,全面、系统、深入、多方位地阐述了国内外在数字化测量领域的新技术与新成果。

第二,结构严谨,条理清楚,逻辑性强。以第四章为例,首先介绍 LED、LCD 数字及点阵显示器,然后介绍数字仪器的动态扫描显示技术,再阐述大屏幕智能显示技术,最后讲述大屏幕 LED 智能显示屏的设计原理。内容由浅入深,循序渐进。全书贯穿着由器件到整机、由检测电路到测试系统、由原理到应用的体系,以硬件为主,做到软、硬件结合。所选用的集成电路、整机或系统,均具有代表性,既便于读者阅读,又能给读者以完整、清晰的概念。

第三,具有很高的实用价值。本书以基本原理和设计思想为基础,把集成电路应用和新型数字仪表、智能仪器和测试系统的设计作为全书的重点。在阐述大规模或超大规模集成电路时,还详细介绍其电路设计要点、应用技巧及注意事项。本书内容对研制具有高性价比的通用及专用数字仪表、开发新型智能仪器和检测系统的新产品,具有重要的参考价值,可帮助读者解决在科研、生产、教学实验中遇到的一些数字化测量领域的新课题。

第四,信息量大,知识面宽。本书反映了数字化测量中的多项新技术、新器件和新产品。在介绍新型集成电路典型产品的同时,还与其他同类产品做了比较,所涉及的集

成电路达数百种，便于读者触类旁通，灵活运用。

第五，每章后面都附有习题，既有复习题，也有综合性练习题，还增加了一些能扩展知识面的实用性题目。我们还向读者免费提供该课程的教学大纲、实验指导书、课程设计指导书和教学课件，可登陆 <http://depart.hebust.edu.cn/jpk/shzhcl.htm> 下载。

沙占友教授、王晓君副教授(在读博士后)任本书主编，睢丙东教授、王彦朋教授、于国庆、孟志永老师任副主编。沙占友撰写了第一章、第四章、第六章、第九章、第十章和第十一章，并完成了全书的审阅及统稿工作。孟志永撰写了第二章，睢丙东撰写了第三章，王晓君撰写了第五章和第七章，于国庆撰写了第八章，王彦朋撰写了第十二章。

在本书撰写过程中，李学芝、沙江、韩振廷、张文清、宋怀文、陈庆华、王志刚、刘立新、张启明、刘东明、赵伟刚、宋廉波、刘建民、李志清、郑国辉、王金和、赵仁明、李新华同志也参加了一定的编写工作，在此一并致谢。

由于作者水平有限，书中难免存在缺点和不足之处，敬请广大读者指正。

作 者

2008 年 12 月于河北科技大学

目 录

前言

第一章 数字化测量概述 1

第一节 集成电路发展的新趋势 1

一、集成电路发展概况 1

二、集成电路发展的新趋势 1

第二节 数字集成电路的型号命名法和分类 4

一、我国集成电路型号命名法 4

二、数字集成电路的分类 4

第三节 数字 IC 的接口电路 7

一、TTL/CMOS 单向电平转换接口 7

二、具有三态输出的双向总线电平转换接口 7

三、CMOS 电路与晶体管的接口 8

四、利用驱动器阵列作接口 9

五、利用施密特触发器作接口 9

六、利用固态继电器作接口 10

第四节 智能传感器及传感器系统 11

一、智能传感器的定义及特点 11

二、智能传感器的发展趋势及应用 13

第五节 新型数字仪表的发展趋向 16

一、广泛采用新技术开发新产品 16

二、不断改进工艺设计 16

三、多重显示仪表 17

四、安全性及操作简单化 17

第六节 电子测量仪器的标准条件与标准源 18

一、标准条件与额定工作条件 18

二、标准源与量值传递 19

习题一 20

第二章 CMOS 门电路的特殊应用 21

第一节 方波发生器 21

一、两级反相式阻容振荡器 21

二、三级反相频率可调式阻容振荡器 22

三、方波信号发生器的特殊应用 22

第二节 占空比可调的矩形波发生器 24

一、由门电路构成的矩形波发生器 24

二、由定时器构成的矩形波发生器 24

第三节 石英晶体振荡器及秒基准信号发生器 25

一、石英晶体振荡器 25

二、几种秒基准信号发生器 27

第四节 CMOS 门电路的使用技巧 29

一、电压放大器 29

二、门控振荡器 30

三、声光报警电路 30

四、开机自动复位电路 31

五、负电源发生器 31

习题二 32

第三章 一位及多位计数/锁存/译码/驱动器 33

第一节 典型产品分类 33

第二节 双 BCD 同步加法计数器 34

一、CD4518 的工作原理 34

二、CD4518 的应用 34

第三节 可编程计数器 35

一、MC14522 的工作原理 35

二、可编程分频器的电路设计 36

第四节 锁存/译码/驱动器与无效零自动消隐电路 38

一、BCD 码锁存/译码/驱动器 38

二、无效零消隐电路的设计 39

第五节 单片多位计数/锁存/译码/驱动器 41

一、ICM7217A 的性能特点 41

二、ICM7217A 的工作原理 41

三、ICM7217A 的典型应用 43

第六节 单片 10MHz 数字频率计 45

一、产品分类及性能特点	45	三、频率合成器	81
二、ICM7216D 的工作原理	46	第四节 锁相技术在电子测量领域的 应用	83
三、由 ICM7216D 构成的 10MHz 数字 频率计	48	一、锁相技术在流量测控系统中的 应用	83
习题三	49	二、利用锁相时钟抑制电网的串模 干扰	85
第四章 数字显示与大屏幕智能 显示技术	50	习题五	86
第一节 显示器简介	50	第六章 通用集成稳压电源	87
第二节 LED 数字及点阵显示器	51	第一节 集成稳压电源的分类	87
一、LED 数码管及字符管	51	第二节 三端固定式线性稳压器的原理与 应用	89
二、LED 点阵显示器	53	一、三端固定式线性稳压器的产品 分类	89
三、字符编码及汉字点阵提取工具	54	二、标准线性稳压器的基本原理	90
第三节 LCD 及显示模块	58	三、三端固定式线性稳压器的工 作原理	91
一、液晶显示器的性能特点与工作 原理	58	四、三端固定式线性稳压器的应用 技巧	92
二、液晶点阵显示器及液晶显示模块	59	第三节 三端可调式线性稳压器的原理 与应用	96
第四节 数字仪器的动态扫描显示技术	65	一、三端可调式线性稳压器的产品 分类	96
一、能消隐无效零的动态扫描显示 电路	65	二、三端可调式线性稳压器的工 作原理	96
二、多位 LED 显示组件的动态扫描 显示电路	66	三、三端可调式线性稳压器的应用 技巧	97
第五节 大屏幕智能显示技术	67	第四节 低压差线性稳压器的基本原理	98
一、大屏幕智能显示屏	67	一、低压差线性稳压器的主要特点	98
二、扫描方式与显示方式的设计	69	二、低压差线性稳压器的基本原理	100
三、灰度屏、彩色屏及真彩色视频屏	70	三、低压差线性稳压器与其他稳压器的 性能比较	101
第六节 大屏幕 LED 智能显示屏的设计	71	第五节 低压差线性稳压器的应用技巧及 设计要点	102
一、主机电路设计	71	一、低压差线性稳压器的应用技巧	102
二、主机程序及计算机控制程序的 设计	73	二、低压差线性稳压器的设计要点	103
习题四	74	第六节 由脉宽调制器构成的开关电源	104
第五章 集成锁相环	76	一、脉宽调制器的产品分类	104
第一节 锁相环简介	76	二、脉宽调制器的基本原理	105
第二节 集成锁相环的工作原理	77	三、由 UC3842 构成的开关电源	105
一、相位比较器	78		
二、压控振荡器	79		
三、线性放大及整形电路	79		
第三节 集成锁相环的典型应用	80		
一、电压/频率(U/f)转换器	80		
二、频率/电压(f/U)转换器	80		

第七节 单片开关式稳压器的原理与应用	107	二、有源电磁干扰滤波器的原理与应用	138
一、单片开关式稳压器的产品分类	107	习题七	139
二、L4960/4962 的工作原理	108	第八章 数据采集及语音处理技术	140
三、由 L4960 构成的开关电源	110	第一节 数据采集系统的设计方法	140
第八节 散热器的设计	111	一、数据采集系统的设计方法	140
一、散热器的设计原理	111	二、A/D 转换器的选择方法及接口示例	144
二、散热器的设计方法及注意事项	112	第二节 多路模拟开关的原理与应用	146
三、印制板式散热器的设计方法	115	一、CMOS 集成模拟开关的原理	146
第九节 稳压电源测量技术	116	二、多路模拟开关的应用技巧	148
一、测量电压调整率和负载调整率的方法	116	第三节 高精度单片数据采集系统	151
二、准确测量输出纹波电压的方法	117	一、ADuC824 的性能特点	151
三、测量开关稳压器效率的方法	117	二、ADuC824 的工作原理	152
习题六	118	三、精密测温系统的电路设计	155
第七章 特种集成电源	120	第四节 语音处理技术及其应用	156
第一节 基准电压源的原理与应用	120	一、语音处理技术	156
一、基准电压源的特点与产品分类	120	二、语音处理器典型产品及语音电路开发系统	158
二、传统基准电压源的工作原理	120	三、语音处理器的应用实例	159
三、带隙基准电压源的原理与应用	122	习题八	160
四、可编程基准电压源的原理与应用	124	第九章 数字电位器	161
第二节 集成恒流源的原理与应用	126	第一节 数字电位器的特点及与机械电位器的性能比较	161
一、恒流源的特点与产品分类	126	一、数字电位器的特点	161
二、恒流二极管的原理与应用	127	二、数字电位器与机械电位器的性能比较	162
三、恒流晶体管的原理与应用	128	第二节 数字电位器的基本原理和配置模式	163
四、精密可调式集成恒流源的原理与应用	129	一、数字电位器的基本原理	163
第三节 DC/DC 变换器的原理与应用	129	二、数字电位器的配置模式	165
一、DC/DC 变换器的拓扑结构与产品分类	129	第三节 数字电位器在可编程增益放大器中的应用	166
二、降压式 DC/DC 变换器	130	一、同相可编程增益放大器	166
三、升压式 DC/DC 变换器	131	二、反相可编程增益放大器	168
四、极性反转式 DC/DC 变换器	133	三、实现增益线性化的两种方法	169
五、反激式/正激式 DC/DC 变换器	134	第四节 数字电位器在仪器仪表中的应用	171
第四节 电磁干扰滤波器的原理与应用	135	一、可编程仪表放大器	171
一、电磁干扰滤波器的构造原理与应用	135	二、可编程 I/U 转换器	173

三、可编程带通滤波器	173	一、MAX1499 的工作原理	204
第五节 数字电位器在检测系统中的 应用	174	二、由 MAX1499 构成的 4½ 位智能 数字电压表	207
一、由数字电位器构成的传感器信号 调理器	174	习题十	207
二、由数字电位器构成的压力测控 系统	175	第十一章 数字仪表中的新颖检测 电路	209
三、铂热电阻温度传感器的线性化	176	第一节 数字仪表的在线测量电路	209
第六节 数字电位器误差分析及减小误差 的方法	178	一、在线测量直流电流	209
一、数字电位器误差的分析	178	二、在线测量电阻	211
二、减小数字电位器误差的方法	180	三、在线测量晶体管的 h_{FE}	213
第七节 数字电位器的测试方法	184	第二节 平均值 AC/DC 转换电路	214
一、测试积分非线性误差和微分非线性 误差	184	第三节 真有效值电压及电平转换电路	216
二、测试滑动端电阻的方法	185	一、真有效值数字仪表的基本原理	216
三、测试滑动端电容的方法	185	二、单片真有效值/直流转换器的 产品分类	218
习题九	186	三、多量程真有效值数字电压表	219
第十章 数字电压表	187	四、多量程真有效值数字电压/ 电平表	220
第一节 数字电压表的特点	187	第四节 测量电阻的电路	221
第二节 单片 A/D 转换器产品分类	189	一、用比例法测量常规电阻	221
一、单片 A/D 转换器	189	二、测量高阻的电路	222
二、单片数字多用表专用集成电路	190	第五节 测量电导的电路	224
第三节 3½ 位 LCD 显示数字电压表	191	一、测量电导的基本原理	224
一、ICL7106 的工作原理	191	二、数字电导表的电路工作原理	225
二、由 ICL7106 构成的 3½ 位数字 电压表	195	第六节 测量电容及电感的电路	226
三、由 AME7106 构成的 3½ 位数字 电压表	196	一、用容抗法测量电容	226
第四节 带串行接口的 3½ 位 LCD 显示 数字电压表	197	二、用容抗法测量电感	227
一、UM7108F 的工作原理	197	三、用感抗法测量电感	228
二、由 UM7108F 构成的 3½ 位数字 电压表	199	第七节 测量频率及占空比的电路	230
第五节 3½ 位 LED 显示数字电压表	199	一、测量频率的原理	230
一、MC14433 的工作原理	199	二、测量占空比的电路	232
二、由 MC14433 构成的 3½ 位数字 电压表	202	第八节 测量温度的电路	233
第六节 带串行接口的 4½ 位 LED 显示 数字电压表	204	一、测温电桥的工作原理	234
		二、设计要点	235
		第九节 检测二极管和晶体管的电路	235
		一、测量二极管正向压降 U_F 的电路	236
		二、测量晶体管 h_{FE} 的电路	236
		第十节 自动关机及蜂鸣器电路	237
		一、自动关机电路	237

二、具有声、光指示的蜂鸣器电路 ·····	238	用表的整机电路原理 ·····	245
习题十一 ·····	239	第三节 HP34970A 型 16 通道高速数据 采集分析仪 ·····	248
第十二章 数字多用表及检测系统的 电路设计 ·····	240	一、HP34970A 型数据采集分析仪的 性能特点 ·····	248
第一节 VC890D 型 3½ 位数字多用表 ·····	240	二、HP34970A 软件的汉化 ·····	249
一、VC890D 型 3½ 位数字多用表的 性能特点 ·····	240	三、HP34970A 型数据采集分析仪的 应用 ·····	250
二、VC890D 型 3½ 位数字多用表的整机 电路原理 ·····	240	第四节 能源自动检测系统 ·····	253
第二节 VC9808 + 型多功能 3½ 位数字 多用表 ·····	245	一、性能简介 ·····	253
一、VC9808 + 型多功能 3½ 位数字多 用表的性能特点 ·····	245	二、接口板的设计 ·····	253
二、VC9808 + 型多功能 3½ 位数字多 用表的整机电路原理 ·····	245	三、电路设计及主程序流程图 ·····	255
		习题十二 ·····	258
		参考文献 ·····	259

第一章 数字化测量概述

本章重点介绍了集成电路与新型数字仪表的发展趋势以及数字 IC 的接口电路,并详细阐述了智能传感器及传感器系统等新技术。此外,还对标准源与电子测量仪器的标准条件做了介绍。

第一节 集成电路发展的新趋势

一、集成电路发展概况

电子技术经历了四个发展阶段:①1906年电子管的问世和1947年晶体管的发明,揭开了电子电路的设计阶段;②1958年集成电路(IC)的诞生,跨入了新一代电路的逻辑设计阶段;③1975年以后超大规模集成电路(VLSI)的问世,将电子技术引向IC的系统设计与相关的软件设计阶段;④面向21世纪的以微电子为基础、以计算机和通信为媒体的新阶段。

集成电路自1958年问世以来,其发展速度惊人。目前,全世界每年生产6000多亿块、数万种集成电路。在发展电子信息产业的过程中,无论是增加产量、扩大应用,还是开发新产品、提高性价比,无不依赖于IC产业的发展。从电子测量仪器、计算机系统到通信设备,从国防尖端到工业及民用领域,都与IC密切相关。据报道,在发达国家中一个家庭的家用电器内所用微控制器数量已超过300个。目前,世界国民生产总值部分的70%以上与IC有关。IC在电子设备中的价值比已从20世纪80年代的7%,发展到现在的30%以上,而在某些军事装备中已超过80%。IC被誉为工业“粮食”和“朝阳”产品,现已成为发展电子信息技术的核心以及衡量综合国力的重要标志。

我国于1965年研制成功集成电路。近年来,国家制定了重点发展集成电路的战略方针,我国的IC产业也获得了飞速发展。1990年我国的集成电路产量只有1.1亿块,1995年才增加到3.1亿块,但2007年就达到411.6亿块,比上一年增长22.6%。在2003~2012年期间,我国集成电路总产量及预测详见表1-1-1。近年来,以“龙芯2F”等为代表的64位CPU芯片,以及万亿次高性能计算机“KD-50-I”的研制成功,标志着我国集成电路已进入全面发展的新时期。预计到2012年,国产IC占全球产量的份额将达到10%以上,真正成为世界上的IC生产大国。

表 1-1-1 2003~2012 年我国集成电路总产量及预测

年 份	2003 年	2005 年	2007 年	2010 年	2012 年
我国 IC 总产量/亿块	148.31	266	411.6	800	1200
国产 IC 占全球产量的份额(%)	1.5	4.5	6	8	>10

二、集成电路发展的新趋势

目前,集成电路正进入一个蓬勃发展的新时期。主要表现为新技术不断涌现,新工艺被

普遍采用,新产品层出不穷。人们对集成电路的认识也不断深化,从设计思想到使用观念都在更新。下面从四个方面来综述集成电路发展的新趋势。

(一) CMOS 电路的迅速崛起

CMOS 电路是集成电路大家族中的后起之秀。国外于 1963 年研制成功,1968 年才实现商品化。但它一经问世便显示出强大的生命力,以其独具的优点迅速占领国际电子市场。目前,CMOS 电路已成为超大规模集成电路(VLSI)的主流产品。正如日本《半导体世界杂志》早在 20 世纪 80 年代初所预言的:“CMOS 在半导体界起着火车头的作用,它给半导体界带来了新的光明。”

近年来,CMOS 电路的产量及销售额大幅度上升,而 TTL 电路却以抛物线规律迅速下降。CMOS 电路中标准系列(4000 系列和 14500 系列)以及高速系列(74HC 系列),以其输入阻抗高、抗干扰性强和低功耗等优点,正在许多领域取代传统的 74-TTL 和 LS-TTL、S-TTL 电路。国外已将采用 CMOS 电路和再生塑料机箱制成的低电压(3.3V 以下)、低功耗、低噪声、低辐射的计算机,称之为“绿色”计算机(Green-PC)。与此同时,CMOS 电路也迅速扩展到模拟器件领域。用 CMOS 工艺技术取代双极型晶体管技术,现已研制出许多性能优良的模拟 IC 和 MOS 功率器件。

(二) 单片 IC 和单片系统的广泛应用

集成电路强大的生命力在于应用。目前集成电路正朝着单片集成化和单片系统化的方向发展,为其推广应用开辟了良好的前景。

1. 新型单片集成电路的分类

(1) 集成传感器 目前,传感器正从传统的分立式,朝着单片集成化、智能化、网络化、系统化的方向发展,单片智能传感器是将传感器、信号调理器、微处理器和接口电路等集成在一个芯片中,能实现信息检测、信息处理、信息存储和信息输出的新一代传感器。单片智能传感器是信息技术前沿的尖端产品,它具有全集成化、智能化、高精度、高性能、高可靠性和低价格等显著优点,可广泛用于工业、农业、商业、交通、环境监测、医疗卫生、军事科研、航空航天、现代办公设备和家用电器等领域,是构建现代信息系统的重要组成部分。据光电行业开发协会(OIDA)预测,智能传感器的国际市场销售量正以每年 20% 的高速度增长。仅在汽车上使用的智能传感器就达几十种,例如加速度传感器、压力传感器、温度传感器、液位传感器,还有专用于车道跟踪、车辆识别、车距探测、卫星定位的新型智能传感器及发送、接收装置。

(2) 智能仪器仪表专用 IC 典型产品有美国英特希尔(Intesil)公司的 HI7159A 型单片 $5\frac{1}{2}$ 位 A/D 转换器、中国台湾地区承永资讯科技公司最新推出的 ES51966、ES51999 型 $4\frac{3}{4}$ 位/ $5\frac{3}{4}$ 位智能数字万用表集成电路、美国泰克(TEK)公司的单片示波器集成电路等。这些芯片的共同特点是集成度高、功能强、外围电路简单,适配微处理器或单片机,有的本身还带微处理器,为研制具有高性价比的智能仪器及测试系统创造了有利条件。

(3) 通信用 IC 例如摩托罗拉公司、爱立信公司生产的彩屏手机专用 IC。

(4) 工业控制和机电一体化专用 IC 例如 MC14460 汽车速度控制处理器、国产 5G5511 直流电动机稳速电路、5G88 游标卡尺专用电路。

(5) 家电专用 IC 典型产品有飞利浦公司生产的单片彩电信号处理器、国产单片电子琴电路、缝纫机 IC、心脏起搏器 IC 等。

2. 单片系统

单片系统的英文缩写为 SOC (System On Chip), 又被译为“系统级芯片”或“系统芯片”, 它是将一个可灵活应用的系统集成在一个芯片中。上述预言在 21 世纪初就已变成现实。例如, 美国国家半导体公司(NSC)2000 年推出的带 USB 接口的单片彩色扫描仪集成电路 LM9833, 2003 年推出的单片数据采集系统 ADuC824/843, 美国 ADI 公司 2001 年新推出的单片宽频带相位差测量系统 AD8302, 美国博通(Broadcom)公司 2007 年推出的数字电视机顶盒单片系统 BCM7118 等。目前, 单片系统的集成度正在迅速提高, 预计将达到 10^9 个晶体管/片的水平。这必将给整个 IC 产业及 IC 应用带来划时代的进步, 使 IC 从传统意义上的“集成电路”发展成为全新概念的“集成系统”。半导体工业协会(SIA)对单片系统发展情况的统计与预测详见表 1-1-2。

表 1-1-2 单片系统发展情况的统计与预测

年 份	2001 年	2004 年	2007 年	2010 年
最小线宽/ μm	0.18	0.13	0.10	0.07
每片包含晶体管数量/个	1.3×10^8	2.5×10^8	5×10^8	9×10^8
每个晶体管成本/美分	0.2×10^{-3}	0.1×10^{-3}	0.05×10^{-3}	0.02×10^{-3}
ASIC 芯片尺寸/ mm^2	750	900	1100	1400
芯片 I/O 数	2000	2600	3600	4800
处理器工作频率/MHz	250	300	375	475

(三) 电子模块的开发

众所周知, 采用集成工艺是无法将大容量的电容器和电感器、整流桥、电位器、10A 以上的大功率器件集成到芯片内部的。因此, 研制一台整机不仅要选用许多芯片, 还必须设计各 IC 之间以及 IC 与外围电路之间的引线, 最后还要设计印制电路。这就给用户带来诸多不便。若选用电子模块, 上述许多问题可迎刃而解。

电子模块(Electronic Block)亦称微电子功能组件, 简称模块。它是采用微电子技术, 把集成电路与微型电子元件(如片状电阻、超小型电解电容器)组装成一体, 用来完成某一特定功能的商品化部件。其结构特点是将全部元器件密集安装在印制板上, 因此有人称之为“二次集成”。模块的外形大致分两种: 一种是全密封式, 不可拆卸; 另一种为敞开式, 用户需自己配外壳。

由电子模块构成的整机与传统的集成化整机相比, 具有以下显著特点: ①能大大简化电路设计, 缩短新产品的研制周期; ②工艺先进, 能提高整机合格率与可靠性, 一次上机合格率可达 100%; ③能减小体积与重量; ④便于安装与维修; ⑤采用全密封式模块还可防止仿造, 维护厂家的权益。

目前国内外许多半导体厂家竞相开发电子模块的系列化产品, 其中包括数显模块、数字仪表模块、转换器模块、开关电源模块、电磁干扰滤波器模块。此外还有供电力部门使用的整流桥模块、功率模块、巨型晶体管(GTR)模块、门极关断(GTO)晶闸管模块。目前模块正向智能化方向发展。例如, 采用微型计算机技术的可编程序控制器模块, 它代表着工业控制技术的发展方向, 也是实现机电一体化的重要手段。而智能化电源模块的平均故障间隔时

间(MTBF)已高达 10^7 h。

(四) ASIC 的推广

ASIC 是“特定用途集成电路”(Application Specific Integrated Circuit)的英文缩写,亦称用户特制 IC。它是一种高科技产品,从设计思想、研制手段,直到测试方法,都与传统 IC 有着质的区别。过去集成电路的供需关系一直维持在“厂家→用户”的格局上,即芯片厂家向用户提供标准产品,用户则不能提出自己的特殊要求。现在上述局面发生重大变化,出现了 ASIC 产品,即芯片厂家接受用户的委托,为满足用户特殊需要而专门研制的 IC 产品。它充分体现了“用户→厂家→用户”的新型供需关系。此外,为研制 ASIC 所采用的技术和手段均有重大突破。ASIC 产品是将超大规模集成电路(VLSI)的制造技术、电子设计自动化(EDA)、自动测试技术(AT)这三者结合的丰硕成果。目前国内外一些芯片厂家已建立起超大规模集成电路计算机辅助设计(简称 VLSI-CAD)中心,作为开发新产品的重要手段。利用这种系统不仅能完成芯片的逻辑电路设计、逻辑模拟、版图设计(包括布局、布线),还能对成品进行自动测试。现在智能化的 VLSI-CAD 系统已能将有源器件缩小到深亚微米。通常把 $0.8\sim 0.35\mu\text{m}$ 称为亚微米, $0.25\sim 0.05\mu\text{m}$ 称为深亚微米, $0.05\mu\text{m}$ 以下称为纳米级。目前,集成电路的线宽可达 $0.13\sim 0.18\mu\text{m}$,预计 2012 年将达到 $0.06\sim 0.08\mu\text{m}$ 。

ASIC 产品分半定制和全定制产品。半定制产品主要包括门阵列(GAL)、可编程逻辑器件(PLD)、可擦除可编程逻辑器件(EPLD)、复杂可编程逻辑器件(CPLD)、现场可编程门阵列(FPGA)。我国研制成功的弹道跟踪系统专用 IC 则属于全定制产品。

目前,ASIC 产品已占国际 IC 市场的 50% 以上。国外已成功地将 CMOS 数字 IC、模拟 IC 和微机(含 CPU、ROM、RAM 及接口电路)集成在一片超大规模集成电路中,只需配上少量的外围元件,即可构成一台完整的测试系统。综上所述,ASIC 的推广为优化设计、提高性价比和可靠性指标奠定了基础。今后在开发各种电子新产品的过程中,ASIC 必将发挥重要作用。

第二节 数字集成电路的型号命名法和分类

一、我国集成电路型号命名法

根据我国制定的国家标准,集成电路型号命名法见表 1-2-1。举例说明:CC4518EP 表示中国制造 CMOS 电路,双十进制同步加法计数器,工作温度范围是 $-40\sim 85^{\circ}\text{C}$,采用双列直插塑料封装。需要指出,国外一般用 DIP 表示双列直插式(塑封为 PDIP,陶封为 CDIP),LCC 表示扁平封装(塑封为 PLCC,陶封为 CLCC),SO 表示小型表面安装。封装形式后面的数字代表引脚数量。

二、数字集成电路的分类

在集成电路的发展史上出现过几十种类型的数字 IC,但有不少类型(例如 RTL、DTL、标准 TTL、H-TTL、PMOS 电路)已被淘汰。目前最具代表性的数字 IC 主要有三种类型:① CMOS 电路(包括通用 CMOS 电路、高速 CMOS 电路);② TTL 电路(含 LS-TTL 电路以及 S-TTL 电路);③ ECL 电路。下面分别介绍这三种电路的性能特点。

表 1-2-1 我国集成电路型号命名法

第 0 部分		第一部分		第二部分	第三部分		第四部分	
用字母表示器件符合国家标准		用字母表示器件的类型		用阿拉伯数字和字符表示器件的系列和品种代号	用字母表示器件的工作温度范围		用字母表示器件的封装	
符号	意义	符号	意义		符号	意义	符号	意义
C	符合国家标准	T	TTL 电路		C	0 ~ 70℃	F	多层陶瓷扁平
		H	HTL 电路		G	-25 ~ 70℃	B	塑料扁平
		E	ECL 电路		L	-25 ~ 85℃	H	黑瓷扁平
		C	CMOS 电路		E	-40 ~ 85℃	D	多层陶瓷双列直插
		M	存储器		R	-55 ~ 85℃	J	黑瓷双列直插
		μ	微型机电路		M	-55 ~ 125℃	P	塑料双列直插
		F	线性放大器				S	塑料单列直插
		W	稳压器				K	金属菱形
		B	非线性电路				T	金属圆形
		J	接口电路				C	陶瓷片状载体
		AD	A/D 转换器				E	塑料片状载体
		DA	D/A 转换器				G	网格阵列
		D	音响、电视电路					
		SC	通信专用电路					
		SS	敏感电路					
SW	钟表电路							

1. CMOS 数字电路

CMOS 是互补型金属氧化物半导体 (Complementary Metal Oxide Semiconductor) 集成电路的简称。CMOS 数字电路包括通用型、高速型两大类。通用型主要有两个系列，一个是美国无线电公司 (RCA) 生产的 CD4000 系列，另一个是摩托罗拉公司生产的 MC14000 系列。我国制定的 CC4000 系列国家标准符合国际标准，采用正逻辑设计，能与国外同类产品互换。高速 CMOS 电路是 20 世纪 80 年代初由美国国家半导体公司 (NSC) 和摩托罗拉公司最先研制成功的，其符号为 H-CMOS，主要有 74HC 系列 (国标为 CC74HC 系列)，其工作频率与 LS-TTL 相当，并保持了 CMOS 电路的诸多优点，是一种极有推广价值的产品。

CMOS 电路具有以下十大优点：

(1) 工作电源电压范围宽 通用型 CMOS 电路的电源电压范围 ($U_{DD} \sim U_{SS}$) 为 +3 ~ 18V，高速 CMOS 电路的电源电压范围 ($U_{CC} \sim GND$) 是 +2 ~ 6V。在此范围内选取任何一个电压值，均能正常工作。若选 +5V 电源，则能与 TTL 电路直接匹配。

(2) 微功耗 CMOS 电路的静态功耗极低，耗电省，属于微功耗器件。每个门的功耗低至 $1\mu W$ ，仅为 TTL 的 1/1000。采用 CMOS 电路，便于构成电池供电的小型化数字仪表，便于设计备用电源和掉电保护电路，还能降低稳压电源的容量。

(3) 输入阻抗高 其输入阻抗大于 $10^8\Omega$ (100M Ω)，对输入信号无衰减作用。

(4) 驱动能力强 通常一个输出端可驱动 50 个以上的输入端。有的还能直接驱动 LED 显示器。

(5) 抗干扰能力强 当电路的输出状态维持不变时允许加到输入端的噪声电压最大值,称为电压噪声容限。噪声容限愈高,器件的抗干扰能力愈强。在各种数字 IC 中,CMOS 电路的噪声容限最高,可达 $40\% U_{DD}$;选 5V 电源时,其噪声容限约 2V,而 TTL 电路仅为 0.8V。

(6) 输出电平的摆幅大 摆幅表示输出高电平(U_{OH})与低电平(U_{OL})之差。CMOS 电路的输出电平摆幅很大,可称为“顶天立地”, $U_{OH} \approx U_{DD}$, $U_{OL} \approx U_{SS}$,因此电源利用率最高。相比之下,TTL 电路的 $U_{OH} = +3.4V$, $U_{OL} = +0.2V$ 。

(7) 工作频率高 4000 系列的工作频率为 1MHz 至几兆赫。74HC 系列可达 40 ~ 50MHz,与 LS-TTL 电路相当。

(8) 温度稳定性好 CMOS 电路能在很宽的温度范围内正常工作,一般塑封产品为 $-40 \sim +85^{\circ}\text{C}$,陶封产品为 $-55 \sim +125^{\circ}\text{C}$ 。

(9) 集成度高 每片集成电路中所包含的元器件数或门电路数,称作集成度。CMOS 电路的功耗低,芯片发热量小,单片集成度可以做得很高。集成度在 $10^5 \sim 10^8$ 元器件/片(折合 $10^4 \sim 10^7$ 门/片)的属于 VLSI。例如,Intel 公司最新推出的 Pentium4 系列处理器,采用 $0.13\mu\text{m}$ 线宽,集成度高达 7700 万只晶体管/片,最高主频为 3.06GHz。最近,TI 公司研制成的新型微处理器,内部包含 1.8 亿只晶体管。预计到 2015 年芯片的集成度将会接近于 50 亿只。

(10) 内部有较完善的保护电路 CMOS 电路的每个输入端都设置了二极管-电阻双向保护网络,无论输入端出现何种极性的冲击电压,保护电路均可将该电压幅度限制在 MOS 管所能承受的范围之内。

2. TTL 数字电路

TTL 电路的全称是晶体管-晶体管逻辑(Transistor-Transistor Logic)集成电路。其发展历史最为悠久。面临 CMOS 电路的挑战,目前 TTL 电路也在不断改进,低功耗肖特基系列 LS-TTL 和高速肖特基系列 S-TTL,现已成为 TTL 电路的主流产品。TTL 电路的国标 CT4000 系列对应于 74LS 系列,CT3000 系列对应于国际 74S 系列。TTL 电路的主要特点如下:

- (1) 工艺成熟,可靠性好。
- (2) 规格品种多,便于选购。
- (3) 工作频率高。
- (4) 电源电压范围窄,功耗高。

TTL 的正电源电压为 U_{CC} ,电源地是 GND。其电源电压典型值 $U_{CC} = +5V$,允许范围一般为 $+4.75 \sim +5.25V$,部分产品为 $+4.5 \sim +5.5V$ 。每门功耗为 mW 级。

3. ECL 电路

ECL 的全称是发射极耦合逻辑集成电路(Emitter Coupled Logic IC)。这是一种使晶体管工作在非饱和状态的电流开关电路,亦称电流型数字电路。其主要特点是速度极快(延迟时间仅 1ns 左右),工作频率很高(几百兆赫至 1.5GHz),输出能力强、噪声低,可广泛用于数字通信、雷达等领域。ECL 电路的缺点是功耗高、噪声容限低、价格昂贵。

ECL 的正电源电压为 U_{CC} ,负电源电压是 U_{EE} 。为提高抗干扰能力,将 U_{CC} 接地,采用负电源供电。标准 ECL 电路的 $U_{CC} = 0V$, $U_{EE} = -5.2V$ 。国产 ECL 电路有 CE100K、CE8000

等系列, 此外还有超大规模门阵列 ECL 电路。

第三节 数字 IC 的接口电路

在使用数字 IC 或设计整机电路时, 经常要把不同类型的集成电路进行转接, 有的还要设计控制电路, 这就需要增加接口电路, 使各级电平或阻抗相匹配。下面介绍由分立元件和集成电路构成的各种接口电路, 可供读者选用。

一、TTL/CMOS 单向电平转换接口

TTL/CMOS 单向电平转换接口如图 1-3-1 所示。TTL 电路采用 +5V 电源, CMOS 电路采用 +10V 电源。 R_1 为基极限流电阻, 起保护作用。 C 为加速电容, 能改善频率响应, 使信号波形的沿口陡直。 R_2 为基极下拉电阻, 无输入信号时令 $U_{BE} = 0$, 使 NPN 型晶体管 VT 可靠地截止。 R_3 是集电极电阻。该接口电路属于单向电平转换器, 它只能将 +5V 电平转换成 +10V 电平。假如 TTL 与 CMOS 电路公用 +5V 电源, 为提高 TTL 输出的高电平, 可在其输出端与 +5V 端接一只 3~5.6k Ω 的上拉电阻。

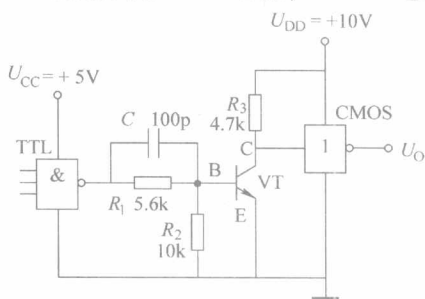


图 1-3-1 TTL/CMOS 单向电平转换接口

二、具有三态输出的双向总线电平转换接口

目前, 越来越多的大规模数字集成电路采用低于 +5V 的电源供电, 并使用不同的内核电源与接口电源, 常用的低电压电源有 +3.3V、+2.5V、+1.8V 和 +1.2V 等, 这就需要对接电平进行转换。电平转换方法分两种: 单向电平转换、双向电平转换。可根据被转换电平的范围、转换信号的线数及数字信号的速率加以选择。双向电平转换要比单向电平转换(如只需将 +5V 子系统的输出接至 +3.3V 子系统)更复杂些。

74LVX4245 是飞兆(Fairchild)公司生产的具有三态输出的 8 位双向总线电平转换收发器。本身带输出使能控制端的双向总线驱动器, 5V、3.3V 电平的驱动电流分别可达 24mA、12mA。可同时进行两个总线的电平转换, 从而实现系统中两个子系统之间的数据传输。该产品是专为手机、笔记本电脑及其他采用电池供电的便携式产品而设计的。它采用 CMOS 工艺制成, 可在 1.1~3.6V 内任何逻辑电平之间提供低噪声缓冲接口, 双向电平包含 1.2V、1.5V、1.8V、2.5V 和 3.3V。例如, 笔记本电脑中的 CPU 采用 +3.3V 电源, 而液晶显示器的工作电压为 +5V, 利用 74LVX4245 即可实现 5V/3.3V 双向电平转换。由 74LVX4245 构成的 5V/3.3V 双向总线电平转换接口如图 1-3-2 所示。图中子系统 A 采用 +5V 电源, 子系统 B 采用 +3.3V 电源。74LVX4245 的两个电源端 U_{CCA} 和 U_{CCB} 分别接 A、B 的电源。 $A_0 \sim A_7$ 为 +5V 子系统 A 的输入/三态输出端口, $B_0 \sim B_7$ 为 +3.3V 子系统 B 的输入/三态输出端口。 \overline{OE} 为输出使能端(低电平有效), T/\overline{R} 为接收/发送控制端, 用来控制总线数据的传输方向是 $A \rightarrow B$, 还是 $B \rightarrow A$ 。当输出使能端 $\overline{OE} = 0$ (低电平)、接收/发送控制端 $T/\overline{R} = 0$ 时, 总线数据是从 A 传输到 B; 当 $\overline{OE} = 0$ 、 $T/\overline{R} = 1$ (接 +5V 高电平) 时, 总线数据是从 B 传输到 A。当 \overline{OE}