

附光盘

数字仪表精品丛书 ④

数字仪表新颖电路 原理与应用

◆ 沙占友 杜之涛 许云峰 著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



数字仪表精品丛书④

数字仪表新颖电路原理与应用

沙占友 杜之涛 许云峰 著



机械工业出版社

本书从实用角度出发,全面、深入、系统地阐述新型数字仪表的电路设计与应用技术。

全书共分八章。第一章为集成电路概述。第二章专门介绍 CMOS 门电路的特殊应用。第三章阐述数字仪表专用集成电路及其应用。第四章介绍显示器件与智能显示屏的设计。第五~七章分别阐述集成锁相环、通用集成电源、数据采集及语音处理技术。第八章介绍了 12 大类新型电子元器件的工作原理与应用。本书为“数字仪表精品丛书”的第 4 本,该丛书还包括《新型数字电压表原理与应用》、《新型数字万用表原理与应用》和《新型专用数字仪表原理与应用》。在随书赠送的光盘中还包含了新型数字仪表各种集成电路的最新英文资料。

本书题材新颖,内容丰富,深入浅出,图文并茂,融科学性、先进性、实用性于一体,可供从事科研、测试、维修工作的各类电子技术人员和电子爱好者阅读,并可作为高等院校电子信息工程、测试计量技术及仪器等专业的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

数字仪表新颖电路原理与应用/沙占友,杜之涛,
许云峰著. —北京:机械工业出版社,2006.6
(数字仪表精品丛书④)
ISBN 7-111-19091-2

I. 数… II. ①沙…②杜…③许… III. 数字式
测量仪器—电路设计 IV. TM932

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 044774 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:牛新国

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:洪汉军

北京京丰印刷厂印刷

2006 年 6 月第 1 版·第 1 次印刷

184mm×260mm·15.75 印张·385 千字

0 001—4 000 册

定价:36.00 元(含 1CD)

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010) 68326294

编辑热线电话(010) 88379768

封面无防伪标均为盗版

前 言

目前,各种类型的数字仪表在国内外获得了广泛应用。近年来,随着电子技术的飞速发展,一大批新颖、独特、高集成度、高性价比的集成电路和新型电子元器件如雨后春笋般竞相问世,这对于提高数字仪表的准确度、可靠性、安全性和性价比起到了重要作用。数字仪表中所涉及的集成电路及元器件种类很多,主要有数字 IC 的接口电路、数字仪表专用集成电路、显示器件、线性集成电源及开关电源、数据采集及语音处理器、集成信号源、基准电压源、集成恒流源、各种保护电路等。

目前,数字仪表正朝着集成化、智能化、高精度、多功能、低功耗、高可靠性的方向发展。人们对数字仪表的电路设计和性能指标也提出了更高要求,广大读者迫切需要掌握该领域的新技术。鉴于目前国内专门介绍数字仪表电路的工作原理与应用的书籍很少,而且所介绍器件的面较窄,难于适应科技发展新形势的需要。为此,作者将近年来从事科研和教学工作中所积累的经验及部分科研成果加以系统总结,并参考国内外厂家提供的最新资料后撰成此书。本书是“数字仪表精品丛书”的第 4 本,该丛书还包括《新型数字电压表原理与应用》、《新型数字万用表原理与应用》和《新型专用数字仪表原理与应用》。

本书融先进性、实用性、科学性于一体,主要有以下特点:

第一,全面、系统、多方位地介绍了国内外数字仪表新颖电路、新器件与新技术,为实现数字仪表的优化设计创造了有利条件。例如,本书介绍的可编程硅振荡器、数字电位器、数字电容器、单片高精度数据采集系统、有源 EMI 滤波器及人体静电放电(ESD)保护器件,均反映了该领域的国际最新科技成果。

第二,结构严谨、条理清晰、内容由浅入深、循序渐进。以第六章为例,首先介绍线性集成稳压器,再介绍新型低压差集成稳压器,最后阐述单片开关电源及 21 世纪初国际上新问世的智能化数字电源。所选用的集成电路均具有代表性。各章之间保持相对的独立性,读者既可通读全书,亦可选读部分章节的内容。

第三,本书以硬件为主,做到了软、硬件结合,具有很高的实用价值。本书在介绍大规模或超大规模集成电路时,还详细介绍了其各种应用技术及电路设计要点。

第四,信息量大,知识面宽,便于读者触类旁通,灵活运用。

第五,在随书赠送的光盘中包含了新型数字仪表各种集成电路的最新英文资料,是不可多得的珍贵技术资料库。

数字仪表强大的生命力在于应用,相信新型数字仪表技术在我国推广应用必将获得更加丰硕的成果。

沙占友教授撰写了第一、三、四、六、八章,并完成了全书的审阅及统稿工作。杜之涛撰写了第二章。李春明、刁彦华撰写了第五章。许云峰、白云飞、王冀超撰写了第七章,许云峰还制作了配书光盘。

本书在撰写过程中得到国内外集成电路厂家的支持，李学芝、沙江、韩振廷、张文清、宋怀文、王志刚、刘立新、张启明、刘东明同志也提供了帮助，在此一并致谢。

由于作者水平所限，书中的缺点和不妥之处在所难免，敬请广大读者指正。

作 者

目 录

前言

第一章 集成电路概述 1

- 第一节 集成电路发展的概况和新趋势 1
 - 一、集成电路发展概况 1
 - 二、集成电路发展的新趋势 2
- 第二节 数字集成电路的分类 5
 - 一、我国集成电路型号命名法 5
 - 二、数字集成电路的分类 6
- 第三节 数字 IC 的接口电路 8
 - 一、TTL 与 CMOS 接口 8
 - 二、CMOS 与晶体管接口 8
 - 三、利用驱动器阵列作接口 9
 - 四、利用施密特触发器作接口 9
 - 五、利用固态继电器作接口 10
 - 六、串行通信接口 10
 - 七、网络通信接口 11

第二章 CMOS 门电路的特殊应用 13

- 第一节 方波发生器 13
 - 一、两级反相式阻容振荡器 13
 - 二、三级反相频率可调式阻容振荡器 14
 - 三、方波信号发生器的特殊应用 15
- 第二节 占空比可调的矩形波发生器 16
 - 一、由门电路构成的矩形波发生器 16
 - 二、由定时器构成的矩形波发生器 17
- 第三节 石英晶体振荡器及秒基准信号发生器 18
 - 一、石英晶体振荡器 18
 - 二、几种秒基准信号发生器 19
- 第四节 CMOS 门电路的使用技巧 21
 - 一、电压放大器 21
 - 二、门控振荡器 22
 - 三、声、光报警器 22
 - 四、开机自动复位电路 23

五、负电源发生器 23

第三章 数字仪表专用集成电路及其应用 25

- 第一节 硅振荡器 25
 - 一、硅振荡器与石英晶体振荡器的性能比较 25
 - 二、DS1088L 型单路输出式硅振荡器的工作原理与应用 26
 - 三、DS1099 型双路输出式硅振荡器的工作原理与应用 27
 - 四、MAX7375 型硅振荡器的工作原理与应用 29
 - 五、LTC6906 型可编程硅振荡器的工作原理与应用 29
- 第二节 高精度实时日历时钟电路 32
 - 一、SD2000/2001/2300 系列产品的分类及性能特点 32
 - 二、SD2000/2001 系列产品的工作原理 33
 - 三、SD2001 系列产品的典型应用 37
- 第三节 带串行接口的多位译码/驱动器 38
 - 一、MAX7219 的性能特点 38
 - 二、MAX7219 的工作原理 38
 - 三、MAX7219 的典型应用及多片级联方法 40
- 第四节 4 位 5×7 LED 点阵驱动器 41
 - 一、MAX6952 的性能特点 41
 - 二、MAX6952 的工作原理 42
 - 三、MAX6952 的典型应用 47
- 第五节 BC7281A/B 型 128 段 LED 显示及 64 键键盘控制芯片 48
 - 一、BC7281A/B 的性能特点 49
 - 二、BC7281B 的工作原理 49
 - 三、BC7281B 的外围电路设计 51
 - 四、BC7281B 的典型应用 54

第六节 AD650 型单片精密 U/f 、 f/U 转换器	56
一、AD650 的性能特点	56
二、 U/f 转换器的工作原理与应用	56
三、 f/U 转换器的工作原理与应用	61
第七节 TC9400 系列单片精密 U/f 、 f/U 转换器	61
一、TC9400 系列产品的性能特点	61
二、TC9401 的引脚功能	62
三、 U/f 转换器的工作原理与应用	63
四、 f/U 转换器的工作原理与应用	66
第四章 显示器件与智能显示屏	70
第一节 显示器简介	70
第二节 LED 数字及点阵显示器	71
一、LED 数码管及字符管	71
二、LED 点阵显示器及字符编码方式	72
三、汉字点阵提取工具 v1.0	76
第三节 LCD 数字及点阵显示器	78
一、液晶显示器的性能特点与工作 原理	78
二、液晶点阵显示器	79
第四节 数字仪表的动态扫描显示 技术	80
一、能消隐无效零的动态扫描显 示电路	80
二、多位 LED 显示组件的动态扫 描显示电路	81
第五节 大屏幕智能显示技术	82
一、大屏幕智能显示屏	82
二、扫描方式与显示方式的 设计	83
三、灰度屏、彩色屏及多媒体彩 色屏	84
四、汉字点阵芯片	85
第六节 大屏幕 LED 智能显示屏的 设计	86
一、主机电路设计	86
二、主机程序及计算机控制程序的 设计	89
第七节 由像元管或磁翻板构成的 大屏幕智能显示屏	91
一、像元管智能显示屏	91

二、磁翻板智能显示屏	93
第五章 集成锁相环	94
第一节 锁相环简介	94
第二节 集成锁相环的工作原理	95
一、相位比较器	96
二、压控振荡器	96
三、线性放大及整形电路	97
第三节 集成锁相环的典型应用	97
一、电压/频率 (U/f) 转换器	97
二、频率/电压 (f/U) 转换器	98
三、频率合成器	99
第四节 锁相技术在电子测量领域的 应用	100
一、锁相技术在流量测控系统中的 应用	100
二、利用锁相时钟抑制电网串模 干扰	102
第六章 章用集成电源	104
第一节 集成稳压器的分类和主要 参数	104
一、集成稳压器的分类	104
二、稳压电源的主要参数	106
第二节 三端固定式集成稳压器的工 作原理与应用	106
一、三端固定式集成稳压器的产 品分类	106
二、三端固定式集成稳压器的工 作原理	107
三、三端固定式集成稳压器的应 用	108
第三节 三端可调式集成稳压器的工 作原理与应用	111
一、三端可调式集成稳压器的产 品分类	111
二、三端可调式集成稳压器的工 作原理	111
三、三端可调式集成稳压器的应 用	112
第四节 低压差集成稳压器的工 作原理与应用	113
一、低压差集成稳压器的性能特点	113
二、低压差集成稳压器的应用	114
第五节 单片 DC/DC 电源变换器的	

工作原理与应用.....	115	一、数字电源系统的主要特点及 发展现状.....	150
一、单片 DC/DC 电源变换器的产品 分类.....	116	二、数字电源系统的基本构成.....	151
二、ICL7660 型极性反转式 DC/DC 电源变换器.....	116	三、智能化数字电源系统的电路 设计.....	153
三、MAX770 型升压式 DC/DC 电源 变换器.....	117	第七章 数据采集及语音处理技术	155
四、MAX639 型降压式 DC/DC 电源 变换器.....	118	第一节 多路模拟开关的工作原理 与应用.....	155
第六节 大电流输出的降压式 DC/DC 电源变换器.....	119	一、CMOS 集成模拟开关的工作 原理.....	155
一、LM2596 系列降压式 DC/DC 电源 变换器的工作原理.....	119	二、多路模拟开关的应用技巧.....	157
二、LM2596 系列降压式 DC/DC 电源 变换器的应用.....	123	第二节 高精度单片数据采集系统.....	159
三、LM2596 系列降压式 DC/DC 电源 变换器的设计要点.....	126	一、ADuC824 的性能特点.....	160
第七节 由脉宽调制器构成的开关 电源.....	132	二、ADuC824 的工作原理.....	160
一、脉宽调制器的产品分类.....	132	三、精密测温系统的电路设计.....	164
二、脉宽调制器的基本工作原理.....	133	第三节 语音处理技术及其应用.....	165
三、由 UC3842 构成的开关电源.....	133	一、语音处理技术.....	165
第八节 单片开关电源的工作原理与 应用.....	135	二、语音处理器典型产品及语音 电路开发系统.....	167
一、TOPSwitch—II 系列单片开关电源 的性能特点.....	135	三、语音处理器的应用实例.....	168
二、TOPSwitch—II 系列单片开关电源 的工作原理.....	136	第四节 数字音频电压放大器.....	169
三、TOPSwitch—II 系列单片开关电源 的典型应用.....	138	一、TAS3004 型数字音频处理器.....	169
第九节 微型单片开关电源的原理与 应用.....	140	二、TAS3001C 型数字音频处理器.....	170
一、由 TinySwitch—II 构成的微型 开关电源.....	141	三、数字音频系统的电路设计.....	172
二、由 LinkSwitch—TN 构成的微型 开关电源.....	143	第五节 数字音频功率放大器.....	174
三、由 LinkSwitch—HF 构成的微型 开关电源.....	145	一、TAS5000 和 TAS5100 的性能特点.....	174
第十节 散热器的设计.....	147	二、数字音频功率放大器的工作 原理.....	175
一、散热器的设计原理.....	147	三、数字音频功率放大器的电路 设计.....	177
二、散热器的设计方法.....	148	第八章 新型电子元器件的工作章理 与应用	180
三、注意事项.....	150	第一节 数字电位器.....	180
第十一节 智能化数字电源的设计.....	150	一、数字电位器的性能特点、应用领域 及分类.....	180
		二、数字电位器的工作原理与典型 应用.....	182
		三、数字电位器的误差分析.....	186
		四、数字电位器的使用注意事项.....	187
		第二节 数字电容器.....	188

一、X90100 型数字电容器的工作原理 与应用.....	188
二、MAX1474 微型数字电容器的工作 原理与应用.....	190
第三节 NTC 热敏电阻	193
一、NTC 热敏电阻的性能特点	193
二、改善 NTC 热敏电阻非线性的 方法.....	194
第四节 瞬态电压抑制器	197
一、瞬态电压抑制器的工作原理.....	197
二、瞬态电压抑制器的典型应用	199
第五节 自恢复熔断器	199
一、自恢复熔断器的工作原理	199
二、自恢复熔断器的典型应用	200
第六节 基准电压源	201
一、基准电压源的分类及应用领域	201
二、带隙基准电压源的基本原理 与特殊应用	203
三、可编程基准电压源的工作原理 与典型应用	204
四、基准电压源的选择及使用要点	208
第七节 集成恒流源的工作原理与 应用	213
一、恒流源的特点及产品分类	213
二、恒流二极管的工作原理与应用	214
三、恒流三极管的工作原理与应用	214
四、可调精密集成恒流源的工作 原理与应用	215
第八节 集成恒压/恒流源	217
一、集成恒压/恒流源的性能特点	217
二、集成恒压/恒流源的工作 原理与应用	218

第九节 智能功率器件	222
一、智能功率器件的特点及产品 分类	222
二、智能功率集成电路的工作 原理与应用	223
三、智能功率模块的工作原理与 应用	226
第十节 有源电磁干扰滤波器的工作 原理与应用	228
一、有源电磁干扰滤波器的工作 原理	228
二、有源电磁干扰滤波器的典型 应用	229
第十一节 集成过电压、过电流保护 器件	231
一、NCP345 型集成过电压保护器的 工作原理与应用	231
二、LTC4213 型快速响应过电流断路 器的工作原理与应用	233
第十二节 人体静电放电 (ESD) 保护 器件	235
一、人体静电放电 (ESD) 模型及 测试方法	235
二、ESD 保护二极管的工作原理与 应用	236
三、多路 ESD 保护器件的工作原理 与应用	238
参考文献	240
配书光盘目录	241

第一章 集成电路概述

本章首先介绍了集成电路（IC）的发展趋势，然后阐述数字 IC 的分类，最后重点介绍了 7 种常用的数字 IC 接口电路。

第一节 集成电路发展的概况和新趋势

一、集成电路发展概况

电子技术经历了 4 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，全世界每年可生产 6000 多亿块、数万种集成电路。据美国半导体产业协会发布的最新报告，2005 年全球 IC 销售额达到 2275 亿美元，比 2004 年增长 6.8%；预计 2006 年还将比 2005 年增长 7.9%。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。现代经济发展数据表明，1 元集成电路的产值可带动 10 元左右的电子产品产值和 100 元国民经济的增长，其拉动系数是相当大的。另据测算，集成电路对国民经济的贡献率远高于其他部门的产品。如以单位质量钢筋对 GDP 的贡献为 1 来计算，则小汽车为 5，彩色电视机为 30，计算机为 1000，而集成电路的贡献率高达 2000！这说明集成电路对国民经济的发展起到“倍增器”的作用。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（含微处理器和单片机）的数量已超过 350 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已从 20 世纪 80 年代的 7%，上升到现在的 30% 以上，而在某些军事装备中已超过 80%。IC 被誉为工业的“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，使我国的 IC 产业获得了飞速发展。1990 年我国的集成电路产量仅为 1.1 亿块，1995 年才增加到 3.1 亿块，但 2005 年就达到 266 亿块，增长了 240.8 倍！预计今后几年内，我国集成电路市场仍将保持高速度增长。从 2000 ~ 2010 年，我国集成电路市场需求量和总产量的预测情况详见表 1-1-1。

表 1-1-1 2000 ~ 2010 年我国集成电路市场需求和总产量预测

年份/年	2000	2005	2010
国内需求量/亿块	201	500	1000
国内总产量/亿块	41	266	700
IC 自给率（%）	20	53	70
国产 IC 占全球产量的份额（%）	1	5	10

2002年,由中国科学院计算技术研究所自主开发的“龙芯一号”32位通用CPU芯片的诞生,结束了我国无“芯”的历史。它采用 $0.18\mu\text{m}$ 的CMOS工艺,内含400万只晶体管,主频为266MHz。2003年,由北京大学等单位研制的八六三CPU系统芯片通过了量产测试,其内部集成了800万只晶体管。2005年4月问世的“龙芯二号”64位通用CPU,采用 $0.13\mu\text{m}$ 的工艺,其性能与英特尔P3处理器相当,已达到2000年的国际先进水平。预计2007年问世的“龙芯三号”,将采用 $0.09\mu\text{m}$ 工艺,运算速度达500~1000亿次/秒,性能接近于P4处理器。这标志着我国集成电路已进入全面发展的新时期。预计2010年我国集成电路的产量将占全球的10%左右,成为真正的世界IC生产大国。我国最近公布的《国家中长期科学和技术发展规划纲要》(2006~2020年),已将高端通用芯片及基础软件,极大规模集成电路制造技术及成套工艺列入16个重大专项中。

2005年10月12日,我国利用长征2F运载火箭成功地发射了神舟六号载人飞船,这标志着我国的科学技术又达到了一个新的水平。该火箭的测试系统采用VXI总线仪器系统,而制导系统采用“平台-计算机”方案。为了提高可靠性,计算机上采用CPU、A/D和D/A三冗余。姿态控制系统采用“姿态角-姿态角速率-数字网络-摇摆发动机”方案。为了提高可靠性采取了以下冗余措施:①相敏检波滤波装置及箭载计算机A/D转换器采用了三冗余;②箭载计算机D/A、综合放大器、伺服机构伺服阀前置级和反馈电位计也采用了三冗余。故障检测处理系统不仅能检测火箭的重要参数,判断火箭故障,一旦出现故障时就向有关系统发出逃逸指令和中止飞行指令;还可完成逃逸飞行器的时序控制。火箭上的故障检测处理设备包括故障检测处理器、指令控制器、逃逸程序控制器等。故障检测参数分别由遥测系统和控制系统来提供。

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不断更新。下面从四个方面来综述集成电路发展的新趋势。

1. 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14000系列)以及高速系列(74HC系列),以其输入阻抗高、抗干扰性强、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。利用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。

2. 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)作出的最新预测,从2003~2006年期间,智能传感器的国际市场销售量将以每年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。

单片智能温度传感器的典型产品有美国DALLAS半导体公司生产的DS18B20型智能温度传感器、美国ADI公司生产的适配P4处理器的ADT7460型智能远程散热风扇控制器集成电路、瑞士森斯瑞(Sensirion)公司生产的SHT11/15/71/75型自校准式湿度/温度传感器、ADI公司的ADXL202/210型带数字信号输出的双轴加速度传感器、Veridicom公司的FCD4B14、FPS200型指纹传感器等。

2) 智能仪器仪表专用IC:典型产品有美国英特西尔(Intersil)公司的HI7159/7159A型单片 $5\frac{1}{2}$ 位A/D转换器、美信(MAXIM)公司的MAX1493型带串行接口的单片 $4\frac{1}{2}$ 位A/D转换器、MAX133/134型 $4\frac{3}{4}$ 位数字多用表集成电路、日本无线电公司(JRC)的NJU9210型单片 $3\frac{3}{4}$ 位/42段条图双显示智能数字多用表集成电路、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MC14566工业时基发生器、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TDA8362型单片彩电信号处理器、国产5G208单片电子琴电路、CH508缝纫机IC、SF69心脏起搏器IC、AS2533通用单片智能电话IC(内含增强型语音电路,适配各种电话机,即插即用)。

(2) 单片系统

20世纪末,人们提出了“单片系统”这一新概念。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。上述预言在本世纪初已变成现实,例如美国ADI公司推出的ADuC812/816/824/834/836型高精度单片系统、加拿大高乐(GOAL)公司开发的VERSA1、VRS1000、VMX1020型具有DSP功能的单片系统。美国NSC最新推出LM9833带USB接口的单片彩色扫描仪集成电路就是一例,它能提供高性能彩色扫描的所有功能,并以最简方式构成一台高质量的彩色扫描仪。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）对单片系统所作的发展预测详见表 1-1-2。

表 1-1-2 单片系统的发展预测

年份/年	2001	2004	2007	2010
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

3. 电子模块的开发

众所周知，采用集成工艺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。因此，研制一台整机产品不仅需要选用许多芯片，还必须设计各个 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器件（如片状电阻、超小型电解电容器）组装成一体，用来完成某一个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”。模块的外形大致分为两种：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产品与传统的集成化整机产品相比，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能减小体积与质量；④便于安装与维修；⑤采用全密封式模块还可防止伪造，维护厂家的权益。

电子模块这一产品形式最初由美国 Intersil 公司于 20 世纪 70 年代推出。日本、荷兰、瑞士等国以及中国香港地区亦从 20 世纪 80 年代开始生产。国内则是在 20 世纪 80 年代中期才形成生产能力，并建立了专业生产厂家。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、大功率晶体管（GTR，亦称巨型晶体管）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。智能化电源模块现已达到很高的技术指标（600A、600V，具有各种保护功能及故障自检与显示功能）。单个模块的平均故障间隔时间（MTBF）已达到 10^7h ，模块体积也逐渐缩小。随着表面安装器件（SMD）与表面安装技术（SMT）的发展，电子模块的体积将进一步缩小，性能指标则显著提高。

4. ASIC 的推广

ASIC 是“（用户特制的）专用集成电路（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。现在上述格局已经发生重大变化，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（AT）技术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（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。深亚微米制造的关键技术主要包括紫外光刻技术、等离子体刻蚀技术、离子注入技术、同互连技术等。目前，国际上集成电路的主流生产工艺技术为 $0.13\mu\text{m}$ ，预计 2006 年主流加工技术将提高到 $0.1\mu\text{m}$ ，2012 年将达到 $0.07\mu\text{m}$ ，进入纳米级。

ASIC 产品分为半定制和全定制产品。半定制产品主要包括门阵列逻辑（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 表示符合国家标准制造的 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（塑料封装的为 PDIP，陶瓷封装的为 CDIP），LCC 表示扁平封装（塑料封装的为 PLCC，陶瓷封装的为 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。

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	$0 \sim 70^\circ\text{C}$	F	多层陶瓷扁平
		H	HTL 电路		G	$-25 \sim 70^\circ\text{C}$	B	塑料扁平
		E	ECL 电路		L	$-25 \sim 85^\circ\text{C}$	H	黑瓷扁平
		C	COMS 电路		E	$-40 \sim 85^\circ\text{C}$	D	多层陶瓷双列直插

(续)

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	M	存储器		R	-55~85℃	J	黑瓷双列直插
		μ	微型机电路		M	-55~125℃	P	塑料双列直插装
		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					

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、S—TTL 电路）；③ ECL 电路。下面分别介绍这三种电路的性能特点。

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）率先开发的 CD4000 系列，另一个是美国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 $10^8\Omega$ ($100M\Omega$)，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。电压噪声容限愈高，器件的抗干扰能力愈强。在各种数字 IC 中，CMOS 电路的电压噪声容限最高，可达 $40\% U_{DD}$ ；选 5V 电源时，其电压噪声容限约 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， $U_{OH} \approx U_{DD}$ ， $U_{OL} \approx U_{SS}$ ，因此电源利用率最高。而 TTL 电路的 $U_{OH} = 3.4V$ ， $U_{OL} = 0.2V$ 。

(7) 工作频率高

4000 系列的工作频率一般为 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 $-40 \sim +85^\circ\text{C}$ ，陶瓷封装的产品为 $-55 \sim +125^\circ\text{C}$ 。

(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，美国 Intel 公司推出的 P4 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 公司研制成的最新型微处理器，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 亿只晶体管。

(10) 内部有较完善的保护电路，不易损坏

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。国家标准中，TTL 电路的 CT4000 系列对应于国际标准 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 $4.5 \sim 5.5V$ 。每门功耗为毫瓦级。

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 (延迟时间仅为 1ns 左右), 工作频率很高 (几百兆赫至 1.5GHz), 输出能力强, 噪声低, 可广泛应用于数字通信、雷达等领域。ECL 电路的缺点是功耗高、电压噪声容限低、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 $U_{CC} = 0\text{V}$, $U_{EE} = -5.2\text{V}$ 。国产 ECL 电路有 CE100K、CE8000 等系列, 此外, 还有超大规模门阵列电路。

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换, 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。下面介绍由分立元器件和集成电路构成的各种接口电路, 可供读者选用。

一、TTL 与 CMOS 接口

电路如图 1-3-1 所示。 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。

假如 TTL 与 CMOS 电路公用 $+5\text{V}$ 电源, 为提高 TTL 输出的高电平, 应在其输出端与 $+5\text{V}$ 端接一只 $3 \sim 5.6\text{k}\Omega$ 的上拉电阻。

二、CMOS 与晶体管接口

电路如图 1-3-2 所示。 VT_1 与 VT_2 构成达林顿晶体管, 集电极负载是高灵敏度继电器的线圈 J, 采用 JRC-12M 超小型密封式弱功率继电器。 R 为基极限流电阻, 取几十千欧。当 $U_0 = 1$ (高电平) 时, VT_1 和 VT_2 均导通, J 上有电流通过, 使继电器吸合, 可驱动报警器或执行机构 (含中间继电器) 工作。当 $U_0 = 0$ 时, VT_1 、 VT_2 均截止, J 上无电流通过, 使继电器释放。需要指出, 在 J 断电的瞬间, 线圈上将产生反向电动势, 很容易损坏晶体管, 因此必须在继电器两端并联一只续流二极管, 为反向电动势提供泄放回路, 起到保护作用。二极管可选 1N4001 ($1\text{A}/50\text{V}$), 注意极性不得接反, 否则不仅起不到保护作用, 还使继电器无法正常动作。

在数字仪器中, 经常要用发光二极管 (LED) 作电平指示或闸门指示灯。此时可给 LED 串联合适的限流电阻 R_2 来代替晶体管负载。电路如图 1-3-3 所示。当 $U_0 = 1$ 时 VT 导通, LED 发光; $U_0 = 0$ 时, LED 熄灭。因未采用达林顿晶体管, 故基极限流电阻 R_1 可取几千欧; R_2 的阻值由下式确定:

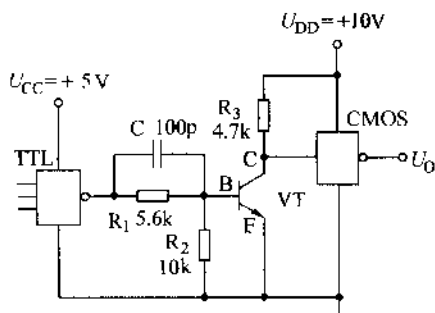


图 1-3-1 TTL 与 CMOS 接口

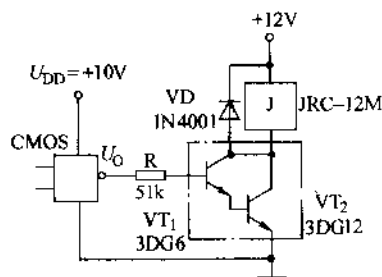


图 1-3-2 CMOS 与晶体管接口驱动继电器