

电子技术实验系列

集成电路应用实验

李雷 主编



国防工业出版社

<http://www.ndip.cn>

电子技术实验系列

集成电路应用实验

李雷 主编

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

本书系统地介绍了在电子技术中常用模拟和数字集成电路的基本应用原理、应用实验研究以及应注意的事项。内容包括:集成电路应用基本知识、集成运算放大器、模拟乘法器、组合逻辑及时序逻辑电路、集成锁相环电路等六章共十九个实验。

本书可作为高等工科院校电子类各专业的实验教材,也可供高校其它专业师生和有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

集成电路应用实验/李雷主编. —北京:国防工业出版社, 2004(2004.7重印)

(电子技术实验系列)

ISBN 7-118-03400-2

I. 集... II. 李... III. 集成电路—实验
IV. TN4-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 002807 号

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

天利华印刷装订有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 15½ 359 千字

2004 年 1 月第 1 版 2004 年 7 月北京第 2 次印刷

印数:5001—10000 册 定价:22.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

前 言

电子技术实验系列课程是为适应培养素质型人才的需要而设置的一门工程应用能力训练课程。在电子信息类专业的本科教学中,实验教学是十分重要的一个教学环节。多年来,我们在电子技术实验教学中坚持进行改革,在实验课程化建设中不断地探索和实践。为系统地培养学生电子技术实验能力,我们废除了附属于课程的原实验体系,建设成三级“电子技术实验能力等级考核制”,它由第一级“电子技术实验基础”、第二级“集成电路应用实验”、第三级“电子技术综合应用”等三部分组成。并在长期教学实践的基础上,对原有教材整理、修改、充实后编出了相应的本系列实验教材。《集成电路应用实验》是本系列教材之一。

本实验教材以应用为主导,以加强学生能力培养为宗旨。全书贯彻了既重视基本技能、基本测试方法的训练,又要适应电子技术发展的需要,不断更新实验内容和方法,为此,本教材采用了模块化结构。作为应用实验研究,本教材分章简介应用所需的理论知识如:器件工作原理、特性、参数及测试方法、封装、应用原理、特点等,并随之安排实验。因此在实验项目中省略了实验原理的叙述。我们力图从认识的规律出发,由浅入深,循序渐进。为进一步发挥学生学习的主动性和能动性,实验项目中我们给出了要求和任务,没有列出实验步骤,这就需要学生很好地预习,于实验前设计出实验方案和实验具体操作步骤,并根据理论知识预估实验结果,以利于提高学生的学习积极性,培养学生分析问题和解决问题的实际能力。全书共编写了十九个实验项目。其中大部分实验项目除基础性实验外,还包含了综合设计的内容,目的在于让学生在掌握集成电路基本应用的基础上,能灵活应用它们进行各种集成电路功能的开发和设计,达到对学生综合设计能力的培养。

集成电路种类繁多,应用十分广泛,不能面面俱到。考虑到系列教材分工,本教材只涉及电路设计工作者必须具备和掌握的五大类基本半导体集成电路:模拟集成电路的运算放大器和模拟乘法器;数字集成电路的组合逻辑电路和时序逻辑电路;集成锁相环电路。

本教材共分六章,章与章之间既相互独立,又具有一定的系统性。第一章为集成电路应用基本知识,主要介绍了集成电路分类、型号命名规则、集成电路上的信息以及及外路的组成及作用、器件的正常工作及安全保护、集成电路系统中的干扰及其抑制、电路故障和排除等。掌握这些集成电路应用的基本知识,才能更好地学习以后各章所介绍的各类集成电路的应用。第二章为集成运算放大器特性及基本应用,主要介绍集成运放的基本特性、参数及应用特点、性能测试和基本应用——信号运算、处理及波形产生。第三章为模拟乘法器特性与应用,主要介绍集成模拟乘法器的基本特性、技术参数及测量方法和模拟乘法器的基本应用——运算应用和在频率变换电路中的应用。第四章为集成组合逻辑

辑电路的组成及应用,主要介绍组合逻辑电路的分析与设计、电路中的竞争与冒险及组合逻辑电路的应用——运算器、编码器、译码器、数据选择器和数据分配器等。第五章为时序逻辑电路的应用,主要介绍组成时序逻辑电路的基本单元触发器工作原理,时序逻辑电路的时序分析、电路设计和中规模时序逻辑电路的应用——计数器、移位寄存器。作为模拟和数字集成电路的综合应用在第六章介绍了集成锁相环路的应用,主要介绍模拟和数字集成锁相环的组成、工作原理、基本性能参数与测试,典型集成锁相环路产品介绍及其主要应用。

为适应不同专业、不同层次学生的教学需要,我们在实验内容的安排上留有选择的余地,以利于因材施教。本书各章的附录部分,介绍了与实验有关的知识和一些测试仪器的性能、使用方法,供学生查阅。

本书由李雷担任主编,并负责了第一、四、五章的编写和第二、六章的部分编写工作。第三章由陈英编写。参与本书编写和实验项目设计的还有赵培功、陈瑜、刘光友、毛瑞明、李春梅、孙可伟、肖西、孙红、杨良成等全体实验室的同志。美国模拟器件(ADI)公司也给予了实验器件的大力支持。在此谨向他们和其他关心、帮助本书编写工作的同志们表示衷心的感谢;同时也向参考资料的作者表示感谢。

本书承电子科技大学电工学院张玉兴、王正常两位教授主审,他们提供了很多宝贵的意见和建议,对此表示衷心的感谢。

由于编者的能力和水平有限,错误和不妥之处有所难免,恳请读者批评、指正。

编 者

2003 年 12 月

目 录

第 1 章 半导体集成电路应用基本知识	1
§ 1.1 集成电路的分类及型号命名规则	1
§ 1.2 外电路的作用及组成原则	7
§ 1.3 器件的正常工作及安全保护	12
§ 1.4 集成电路系统中的干扰及其抑制	16
§ 1.5 电路故障的分析与排除	20
实验一 常用电子仪器的基本使用	22
附录 1 - I 国际主要集成电路生产公司产品型号命名规则	31
附录 1 - II 部分常用 TTL 及 CMOS 数字集成电路汇编	35
第 2 章 集成运算放大器(OP)特性及基本应用	39
§ 2.1 集成运放的组成、分类及主要参数	39
§ 2.2 集成运放的应用特点与性能测试	42
§ 2.3 集成运放的基本应用	49
实验二 集成运放的运算应用研究	53
实验三 集成有源滤波器的研究	67
实验四 集成运放构成波形产生电路的研究	75
附录 2 - I 运算放大器外引线图	78
附录 2 - II 集成运算放大器的主要性能指标	83
附录 2 - III 运算放大器参数测试	86
第 3 章 集成模拟乘法器的特性与应用	96
§ 3.1 集成模拟乘法器的基本工作原理	96
§ 3.2 模拟乘法器的参数	99
§ 3.3 模拟乘法器的应用	102
§ 3.4 模拟乘法器 AD834 简介	111
实验五 调幅与检波的研究	112
实验六 混频与倍频的研究	115
第 4 章 组合逻辑电路的组成及应用	118
§ 4.1 组合逻辑电路的分析与设计	118
§ 4.2 组合逻辑电路中的竞争与冒险	123

§ 4.3 组合逻辑电路的应用	125
实验七 全加器及比较器的研究	133
实验八 编码器与译码器	145
实验九 数据选择器与数据分配器	156
附录 数字系统设计实验箱使用说明	157
第 5 章 时序逻辑电路的应用	159
§ 5.1 集成触发器与锁存器	159
§ 5.2 时序逻辑电路的分析	170
§ 5.3 时序逻辑电路的设计	173
§ 5.4 中规模时序逻辑电路介绍	179
实验十 计数、锁存、译码、显示电路的研究	198
实验十一 同步计数器及其应用	199
实验十二 移位寄存器及其应用	200
实验十三 数字式频率计的设计	202
实验十四 数字电子钟的设计	205
实验十五 多路智力抢答系统的设计	206
第 6 章 集成锁相环(PLL)电路的应用	208
§ 6.1 集成 PLL 的组成及工作原理	208
§ 6.2 PLL 的基本特性、指标及测试	212
§ 6.3 集成锁相环典型产品简介	216
§ 6.4 集成 PLL 的典型应用	225
实验十六 可预置 PLL 频率合成的研究	233
实验十七 锁相调频与鉴频器的研究(I)	235
实验十八 锁相调频与鉴频的研究(II)	237
实验十九 吞除式锁相频率合成器的研究	239
参考文献	242

第1章 半导体集成电路应用基本知识

§ 1.1 集成电路的分类及型号命名规则

1.1.1 集成电路的分类

集成电路是采用半导体或薄膜、厚膜工艺,把电路元器件以相互不可分离的状态制作在一块(或几块)半导体(或绝缘材料)基片上,然后封装在一个壳体内,构成一个完整的具有一定功能的电子电路。

集成电路由于其体积小、重量轻、性能可靠、价格便宜等特点,现已被广泛应用于各种领域中。随着性能优良、适合于各种用途的新产品的出现,集成电路应用领域愈来愈广泛。

集成电路的种类很多,其分类方式也很多,本书主要介绍半导体集成电路。下面介绍它的几种主要分类方式。

一、按集成电路的功能,可分为模拟集成电路、数字集成电路、接口电路和特殊电路四类

模拟集成电路是指对电压、电流等在时间和数值上都连续取值的模拟量进行处理的集成电路。其中,输出信号与输入信号成线性关系的电路,如直流放大器、宽带放大器、差分放大器、低频放大器、高频放大器、线性功率放大器、运算放大器等称为线性集成电路;输出信号与输入信号不成线性关系的电路,如模拟乘法器、锁相环电路、对数放大器、丙类功率放大器、振荡器、混频器、检波器、调制器、时基电路等称为非线性集成电路。

模拟集成电路又大致可分为通用和专用两种。通用集成电路只要改变它的外电路的结构形式,就可完成各种各样的信号处理任务。如运算放大器、模拟乘法器等。专用模拟集成电路是为某一特定用途而设计的集成块,如集成稳压器、OTL 和 OCL 功率集成块、电视接收机、音响电路等。

数字集成电路是能够完成数字逻辑功能的集成电路。它以低电平和高电平两种状态来代表二进制数中的“0”和“1”,通过各种逻辑关系进行运算,所以又称为数字逻辑集成电路。与模拟电路相比,数字电路内部的有源器件主要工作在开、关状态,电路形式简单,重复单元多,因此更易于高密度集成,分立元件几乎完全被淘汰。数字集成电路广泛地应用于电子计算机、自动控制系统以及数字通信系统中。目前使用最多的数字集成电路有 TTL(晶体管——晶体管逻辑)集成电路和 CMOS(互补对称金属—氧化物—半导体)集成电路两类。本书所涉及到的数字电路也将主要以这两类器件组成。

接口电路是将两种不能直接相容的电子器件或组件相互连接起来的集成电路。在数字或模拟集成电路系统的终端配用了接口集成电路后,可以驱动外部的元器件或其它有

关设备,达到人们预期的目的。接口电路可以实现不同电平的相互转换以及不同类型信号(例如数字信号和模拟信号)之间的相互转换。许多接口集成电路还用来适应各种特殊负载条件,诸如高的输出电压、大的输出电流和大的输出功率等。接口集成电路又可分为磁心读出放大器、磁心驱动器、外围驱动器、线电路、电平转换器、电压比较器、显示驱动器、A/D 和 D/A 转换器八大类。

特殊电路是专为某种特殊用途而设计的集成电路,其针对性很强。例如集成化传感器(霍耳、温度、光电传感器等),专用通信电路,机电、仪表专用电路,消费类电路(玩具、游戏机、电子琴、照相机、电子钟等专用电路)都属于这一类。

二、按有源器件类型集成电路又可分为双极型、单极型以及双极—单极混合型三种

双极型电路的有源元件是普通的 NPN 或 PNP 双极晶体管,管内有两种载流子导电;单极型电路的有源元件采用 MOS(金属—氧化物—半导体)晶体管,内部只有一种载流子导电。其中双极型又分为 DTL(二极管—晶体管逻辑)、TTL(晶体管—晶体管逻辑)、ECL(发射极耦合逻辑、电流型逻辑)、HTL(高抗干扰逻辑)和 I²L(集成注入逻辑)电路,单极性又分为 PMOS、NMOS 和 CMOS 电路。在这三大类电路中,双极型电路开关速度快、频率高、信号传输延迟时间短,但制造工艺较复杂;单极性电路输入阻抗高、功耗小、工艺简单、集成密度高、易于大规模集成。双极—单极混合型集成电路则采用 MOS 和双极兼容工艺制成,因而兼有前两者的优点。

三、集成电路按其集成度可分为小规模集成电路(SSI),中规模集成电路(MSI),大规模集成电路(LSI)和超大规模集成电路(VLSI)

对于数字集成电路来说,小规模集成电路是指其集成度为(1 门~12 门)/片或(10 个~100 个)元件/片的集成电路,它主要是逻辑单元电路,如各种逻辑门电路、集成触发器等。

中规模集成电路是指其集成度为(13 门~99 门)/片或(100 个~1000 个)元件/片的集成电路,它是逻辑功能部件,例如编码器、译码器、数据选择器、数据分配器、计数器、寄存器、算术逻辑运算部件、A/D 和 D/A 转换器等。

大规模集成电路是指其集成度为(100 门~1000 门)/片或(1000 个~100000 个)元件/片的集成电路,它是数字逻辑系统,如微型计算机使用的中央处理器(CPU)、存储器(ROM、RAM)和各种接口电路(PIO、CTC)等。

超大规模集成电路是指其集成度大于 1000 门/片或 10^5 个元件/片的集成电路,它是高集成度的数字逻辑系统,如各种型号的单片机,就是在一块硅片上集成了一个完整的微型计算机。

对于模拟集成电路来说,由于工艺要求高,电路又复杂,故通常集成 50 个以下元器件的叫小规模集成电路,(50 个~100 个)元器件的即称中规模集成电路,集成 100 个以上的就属于大规模集成电路。

1.1.2 集成电路产品型号命名规则

一、我国集成电路国家标准型号命名规则

我国国家标准(国标)规定的半导体集成电路型号命名法见表 1-1 所列。

表 1-1 集成电路国家标准型号命名规则

第一部分		第二部分		第三部分	第四部分		第五部分	
用字母表示器件符合国家标准		用字母表示器件类型		用阿拉伯数字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	TTL 分为: 54/74 × × × 54/74H × × × 54/74L × × × 54/74LS × × × 54/74AS × × × 54/74ALS × × × 54/74F × × × COMS 分为: 4000 系列 54/74HC × × × 54/74HCT × × × :	符号	意义	符号	意义
C	中国制造	T	TTL		C	0℃ ~ 70℃	W	陶瓷扁平
		H	HTL		E	-40℃ ~ 85℃	B	塑料扁平
		E	ECL		R	-55℃ ~ 85℃	F	全密封扁平
		C	CMOS		M	-55℃ ~ 125℃	D	陶瓷直插
		F	线性放大器		G	-25℃ ~ 70℃	P	塑料直插
		D	音响、电视电路		L	-25℃ ~ 85℃	J	黑陶瓷直插
		W	稳压器		:		L	金属菱形
		J	接口电路				T	金属圆形
		B	非线性电路				H	黑瓷低熔点玻璃扁平
		M	存储器				:	
		μ	微型机电路					
		AD	模拟数字转换器					
		DA	数字模拟转换器					
		S	特殊电路					

由表 1-1 可见,国标型号由五部分组成,各个组成部分的符号或数字都有一定的含义,现举例加以说明。

1. $\frac{C}{(1)} \frac{T}{(2)} \frac{4}{(3)} \frac{020}{(4)} \frac{M}{(5)} \frac{D}{(6)}$

说明:

第一部分 (1)表示国家标准。

第二部分 (2)表示 TTL 电路。

第三部分 (3)表示系列品种代号,其中

1:标准系列,同国际 54/74 系列;

2:高速系列,同国际 54H/74H 系列;

3:肖特基系列,同国际 54S/74S 系列;

4:低功耗肖特基系列,同国际 54LS/74LS 系列。

(4)表示品种代号,同国际一致。

第四部分 (5)表示工作温度范围。

C: $0^{\circ}\text{C} \sim +70^{\circ}\text{C}$, 同国际 74 系列电路的工作温度范围;

M: $-55^{\circ}\text{C} \sim +125^{\circ}\text{C}$, 同国际 54 系列电路的工作温度范围。

第五部分 (6)表示封装形式为陶瓷双列直插。

2. $\frac{\text{C}}{(1)} \frac{\text{C}}{(2)} \frac{4}{(3)} \frac{066}{(4)} \frac{\text{M}}{(5)} \frac{\text{F}}{(6)}$

说明:

第一部分 (1)表示国家标准。

第二部分 (2)表示 CMOS 电路。

第三部分 (3)表示低功耗肖特基系列。

(4)表示品种代号, 同国际一致。

第四部分 (5)表示工作温度范围 $-55^{\circ}\text{C} \sim +125^{\circ}\text{C}$ 。

第五部分 (6)表示封装形式为全密封扁平封装。

国家标准型号的集成电路与国际通用或流行的系列品种相仿, 其型号主干、功能、特性及引出脚排列等均与国外同类品种相同, 因而品种代号相同的产品可以互相代用。

本章附录 1 - II 中列出了部分国内国外 IC 型号对照表。

二、我国其它型号集成电路的识别

除上述国家标准, 在我国还广泛使用着各种型号的集成电路。常见的是我国原电子工业部的标准型号。属于 TTL 电路的有 T000 系列; 属于 CMOS 电路的有 C000 系列。现将其型号的组成及含义举例简述如下。

例: $\frac{\text{F}}{(1)} \frac{007}{(2)} \frac{\text{A}}{(3)} \frac{\text{D}}{(4)}$

说明:

(1) 表示电路类型, 用字母表示, 其中

C: CMOS 电路

F: 运算放大器

H: HTL 电路

E: ECL 电路

J: 接口电路

P: PMOS 电路

N: NMOS 电路

T: TTL 电路

W: 稳压器

(2) 表示系列品种代号, 用三位阿拉伯数字表示。

(3) 表示开关参数分档。

A: 低档

B: 中、高档

C: 高档或特殊分档

(4) 表示封装形式。

- A: 陶瓷扁平
- B: 塑料扁平
- C: 陶瓷双列直插
- D: 塑料双列直插
- Y: 金属圆壳
- F: 金属菱形

另外我国目前有不少厂家生产的集成电路采用了与上述标准均不相同的厂标型号,使用时应查阅产品手册。

三、国际通用 TTL、CMOS 集成电路产品型号命名规则

本章附录 1 - I 给出了国际主要集成电路生产公司产品型号命名规则。可以看出,国外企业多在国际通用系列型号前冠以自己企业代号,我国有些生产厂也仿照这种形式,在通用型号前加厂标代号,因此,品种代号相同的可以互相代用。鉴于目前市场上集成电路产品多采用国际通用型号,本书所涉及到的集成电路也都使用这种标准,只是略去企业或厂家代号。并且主要介绍 74 系列产品,至于 54 系列,是与 74 系列对应的军品级器件,实用中只需稍加注意即可。

关于 CMOS 集成电路,目前国内外通用的是 4000B 系列,我国国家标准称为 CC4000B 系列,其余各国厂商分别在 4000B 前再加上企业代号。另外还有 H - CMOS 的 74HC 系列,其大部分品种是 74LS 同序号的翻版,完全相容,还有一部分是基于 4000B 系列同字号的翻版,引脚相容。

1.1.3 集成电路的封装及外形

一、集成电路的封装形式及引线识别

由于集成电路的芯片尺寸太小,不能直接与电源及输入等外电路相连,必须把已制造好的电路芯片密封在适当的管壳内,然后再通过外壳上的引线与外电路相连。封装之后不仅便于焊接,而且还起保护组件的作用。封装所采用的材料有陶瓷、塑料和金属等。陶瓷封装的集成电路气密性好,可靠性高,使用的温度范围广($-55^{\circ}\text{C} \sim +125^{\circ}\text{C}$),因而一般用于军事、航天和航空等高精尖领域。而塑封集成电路在性能上要稍差一些,不过由于其价格低廉,在民用和普通工业领域中得到了广泛的应用。目前生产的集成电路有各种封装形式,如金属圆壳封装、扁平封装、双列直插封装、单列直插封装、三端塑封等。最基本的是前三种形式,这里作简要介绍。

1. 金属圆壳封装

这种封装的气密性较好,但成本高,占体积大,目前多用于线性集成电路和集成电源。它的形状类似于晶体管外壳,只是管脚引线较多,有 7 条、8 条、10 条或更多条引线。引线排列的顺序是:面向引脚正视,由定位标记(常为锁口或小圆孔)所对应的引脚按顺时针方向数。它的标记位置常有三种情况。其一,定位标记对准最大号引线,如图 1-1(a)所示。国标、部标或进口产品,一般采用这种标记。其二,定位标记对准 1 号引线,如图 1-1(b)所示;其三,定位标记位于最大号引线与最小号引线之间,如图 1-1(c)所示。

2. 扁平封装

如图 1-2 所示。芯片被封装在陶瓷或硅酮塑料内,两侧或四面有对称的电极引线,

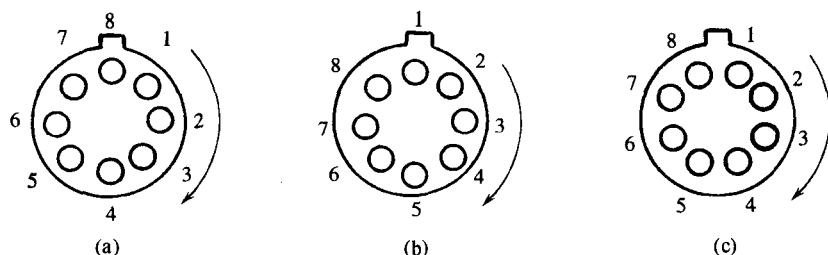


图 1-1 圆形封装引线排列

引线排列的顺序大多是:将集成电路位置按“识别标记(小圆圈、色点、切口等)处于器件俯视图左侧或左下部”的原则摆好,由左上角起按顺时针方向数,依次为 1,2,3,⋯也有不少引线排列顺序是由左下角起按逆时针方向数,依次为 1,2,3,⋯在实际使用中应注意辨别,拿不准时应查阅有关资料或产品手册。

扁平封装的密封性不如金属圆壳封装,价格也比较高,但组装密度高,便于在各种印刷电路板上安装。

3. 双引直插式封装

如图 1-3 所示。芯片被封装在长方形的外壳内,有两排引线引出,引线数目有 8、14、16、24 等多种,其强度较大,可以插入特定的管座之中。引线排列的顺序是:管脚向下,识别标记在左侧或左下部,从左下角起按逆时针方向数,依次为 1,2,3,⋯

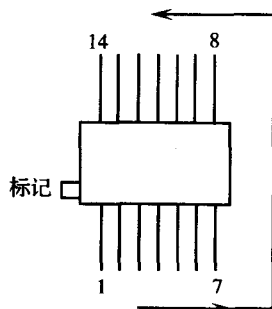


图 1-2 扁平封装

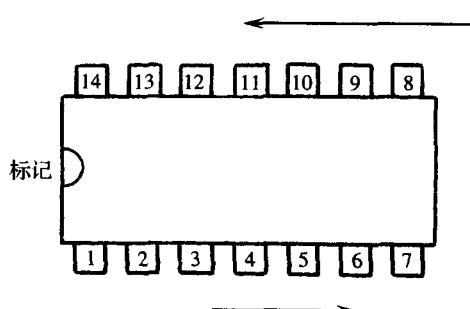


图 1-3 双列直插封装

双列直插封装虽然体积较大,但引脚间距大(一般 2.5mm 或 2.54mm),容易焊接,通过使用插座也便于检查、调换,因而近年来得到大力推广。

除前面提到的封装形式外,还有其它一些诸如软封装、微型封装、片型封装以及计算机中常用的 DGA 封装等,这里不再一一介绍,在使用时可查阅有关的技术资料或产品说明书。

二、集成电路上的信息

封装好的集成块,在其正面还通常印有以下信息:厂家名称;集成块的序列及编号等。

如图 1-4 所示,它表示是美国国家半导体公司的产品,电路为 74LS00(四 2 输入与非门),封装形式为塑料双列直插。

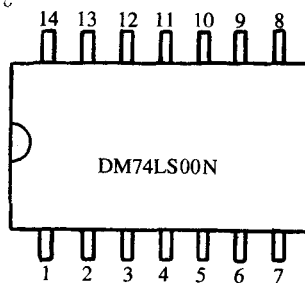


图 1-4 集成块上的信息

§ 1.2 外电路的作用及组成原则

集成电路虽然是功能完整的电路,但在应用过程中还常常需要附加外接元件及外电路,才能达到满意的工作状态。本节将介绍几种主要的外围电路的作用及组成原则。

1.2.1 电源电路

所有的集成电路要正常工作都必须外接直流电源。一般情况下,模拟集成电路要求连接正负两种电源,这是因为大多数模拟电路在其电路中使用了一个或多个差动放大器。而数字集成电路则很少需要两种电源。除 ECL 外,数字集成电路一般只需要一个正电源。

当模拟集成电路使用正、负电源时,这两种电源常常是对称的,如 +12V 和 -12V。这样,就能得到高共模抑制能力和良好的低频工作特性。模拟集成电路为满足某些特定要求,也可采用单电源,另外还有些集成电路使用不对称的电源,如模拟乘法器 MC1496 的电源为 +12V 和 -8V。

无论是双电源或单电源供电,都要考虑电源的去耦问题,即在集成电路的电源端子处对地加旁路电容。旁路电容应尽可能靠近集成电路,将电源引线等效电感的影响减至最小。模拟集成电路的旁路电容通常用两只,一只较大约几十 μF 到几百 μF ,对低频起滤波作用,另一只旁路电容取值为 $0.001\mu\text{F} \sim 0.1\mu\text{F}$,对高频起滤波作用。

同样,对于数字逻辑电路,除了在印制板电源输入端应接入 $1\mu\text{F} \sim 10\mu\text{F}$ 的低频滤波电容外,还应根据不同系列电路的速度指标和电流变化率的差异,在集成电路的电源外引端附近加接 $0.01\mu\text{F} \sim 0.1\mu\text{F}$ 的高频滤波电容。一般情况下,对于标准系列的小规模集成电路,应相隔 5 块 ~ 10 块电路连接一个高频滤波电容;对于标准系列的中规模集成电路,应相隔两块电路连接一个高频滤波电容;对于高速系列的中、小规模集成电路以及各系列的单稳态触发器、线驱动器和线接收器等,每块电路都必须外接高频滤波电容。

另外,直流电源线 and 接地回线应该有足够大的截面积,使噪声干扰和直流电压降最小。而电路中连接线的长度要尽可能短,以防止噪声干扰和减少传输时间。

1.2.2 外接元件

为正常工作,集成电路常常需要外接元件,这些元件对于不同的电路,有不同的接法,也起到不同的作用。

(1) 集成运算放大器(简称集成运放)通过外接各种反馈元件、隔离电阻、平衡电阻、调零元件等,实现多种运算、放大和变换等功能,此时外电路的设计原则请参阅第二章介绍。

(2) 当集成电路的输出端为集电极开路时则要外接电阻负载才能与电源相接。如模拟乘法器 MC1496、MC1596 的输出分别通过两个电阻与电源正极相连,TTL 电路则通过 $3\text{k}\Omega \sim 5.1\text{k}\Omega$ 的提升电阻连到正电源以获得输出高电平。

(3) 通过外接电路可进行某些参数的调节。如集成运放通过外接调零电位器或失调补偿电路来调整由于电路非对称性而引起的失调电流和失调电压。模拟乘法器利用平衡

调节电路进行平衡调节,利用外接电阻调节增益因子或负反馈量等。

1.2.3 频率补偿电路

集成电路常常利用外加电阻和电容的组合来进行频率补偿。例如集成运算放大器,虽然它在闭环负反馈条件下工作,但由于它在高频区将产生附加相移,在某个频率时可能由负反馈变成正反馈,此时如负反馈深度较深,即 $|AF| > 1$,就会产生自激振荡。因此在使用时,必须根据不同集成运放的情况进行频率(相位)补偿。频率补偿可在具有高放大倍数的中间级接入电容构成电压并联反馈电路,形成滞后补偿;也可在输出端和反相输入端之间跨接的反馈电阻上并联一个小电容形成超前补偿;还可利用 RC 补偿网络形成超前—滞后补偿。有的运算放大器,如 $\mu A741(F007)$,在设计时内部已经考虑了频率补偿,在外部就无须再加补偿电路。

1.2.4 接口电路

集成电路在使用过程中,常常涉及到 TTL 电路、CMOS 电路之间,以及它们和其它集成电路之间的连接问题。由于这些电路相互之间的电源电压和输入输出电平及电流并不相同,因此它们之间的连接必须通过电平转换或电流变换电路,使前级器件输出的逻辑电平满足后级器件对输入电平的要求;前级器件的输出电流大于后级器件对输入电流的要求,并不得对器件造成损害,这种转换电路通常称为接口电路。这里介绍一些常用的接口电路。

1. TTL→CMOS 的接口

因 CMOS 通常不需电流驱动,故 TTL 驱动 CMOS 时只要搞好电压适配即可。CMOS 电路的工作电压范围很宽(3V~15V),下面分电源电压为 5V、10V、3V 三种情况进行分析。

(1) $V_{DD} = 5V$

此时 CMOS 电路的最低输入高电平 V_{IH} 约为 3.5V,而最高输入低电平 V_{IL} 约为 1.5V,比 TTL 最高输出低电平(0.4V)高,有 1.1V 的噪声容限,如图 1-5(b)所示,因此在低电平时,可以直接用 TTL 电路驱动 5V CMOS 电路。而在高电平时,由于 TTL 电路的输出高电平

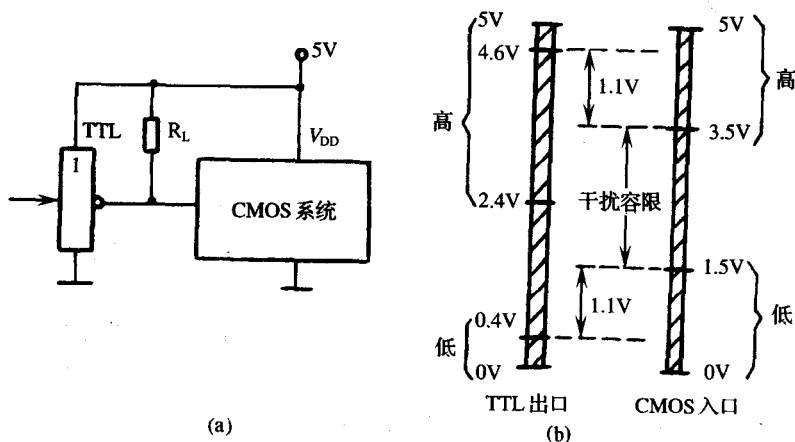


图 1-5 TTL/CMOS ($V_{DD} = 5V$) 接口

$V_{OH} \geq 2.4V$, 不能够保证满足 5VCMOS 电路的要求, 所以此时需用上拉电阻来提高 TTL 电路的输出高电平, 即采用图 1-5(a) 所示电路。其中 TTL 门可以用普通门, 其接口电阻 R_L 的限制值分别为

$$R_{Lmin} = \frac{V_{DD} - V_{OL}}{I_{OL}} = \frac{5 - 0.4}{16 \times 10^{-3}} = 288(\Omega)$$

$$R_{Lmax} = \frac{V_{DD} - V_{OH}}{I_{OH}} = \frac{5 - (3.5 + 1.1)}{250 \times 10^{-6}} = 1.6(k\Omega)$$

(假定要求高电平的噪声容限值也为 1.1V)

(2) $V_{DD} = 10V$

此时 CMOS 电路的 $V_{IL} \leq 3V$, $V_{IH} \geq 7V$, 如图 1-6(b) 所示。同上面一样也主要是考虑满足 CMOS 的高电平输入要求。这里 TTL 出口的门要用能承受较高电压的集电极开路门形式, 通过在它的输出端接上拉电阻 R_L 来提高输出高电平 V_{OH} 的值。如图 1-6(a) 所示, 其中 R_L 的极限值分别为

$$R_{Lmin} = \frac{V_{DD} - V_{OL}}{I_{OL}} = \frac{5 - 0.4}{16 \times 10^{-3}} = 288(\Omega)$$

$$R_{Lmax} = \frac{V_{DD} - V_{OH}}{I_{OH}} = \frac{10 - (7 + 2.6)}{0.25 \times 10^{-3}} = 1.6(k\Omega)$$

(假定要求高电平的噪声容限为 2.6V)

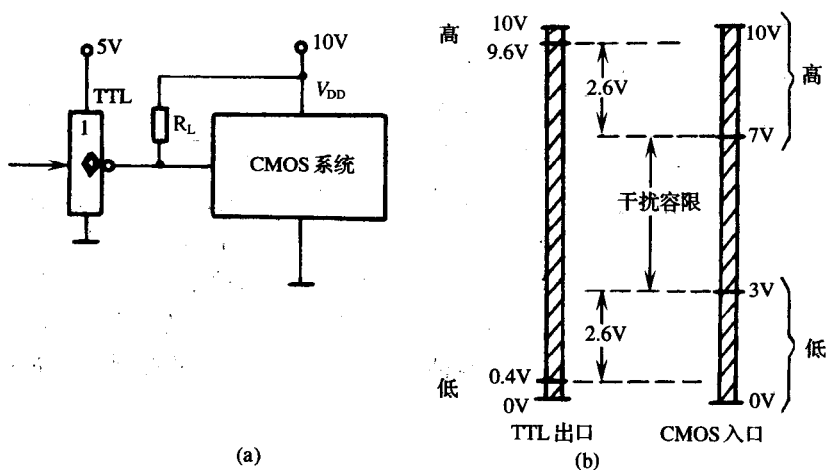


图 1-6 TTL/CMOS ($V_{DD} = 10V$) 接口

(3) $V_{DD} = 3V$

此时 CMOS 电路的 $V_{IL} \leq 0.9V$, $V_{IH} \geq 2.1V$, 如图 1-7(b) 所示。这在低电平时没有问题, 在高电平时, TTL 电路的 $V_{OH} \geq 2.4V$, 经常等于 3.5V 左右, 不能保证满足 CMOS 电路使用时输入电压 $V_I \leq V_{DD}$ 的要求, 此时可以利用下拉电阻 R_L 将集电极开路 TTL 门输出的 V_{OH} 值限制在要求范围以内。如图 1-7(a) 所示, 其中 R_L 的极限值分别为

$$R_{Lmin} = \frac{V_{DD} - V_{OL}}{I_{OL}} = \frac{3 - 0.4}{16 \times 10^{-3}} = 163(\Omega)$$

$$R_{Lmax} = \frac{V_{DD} - V_{OH}}{I_{OH}} = \frac{3 - (2.1 + 0.5)}{0.25 \times 10^{-3}} = 1.6(k\Omega)$$

(假定要求高电平的噪声容限为 0.5V)

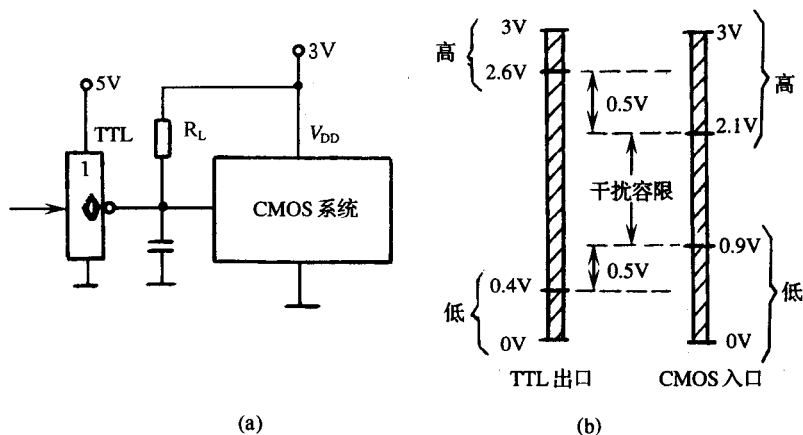


图 1-7 TTL/CMOS ($V_{DD} = 3V$) 接口

另外用 TTL 驱动 CMOS 还可采用专门的接口器件,如 40109;也可在 TTL 与 CMOS 之间加入一级三极管倒相器,以实现电平转移。但此时要注意逻辑关系,因三极管电路集—基间信号反相。

2. CMOS→TTL 的接口

当 CMOS 的 $V_{DD} = 5V$ 时,其 V_{OH} 、 V_{OL} 完全适合于 TTL74 或 TTL74LS 系列,故电压适配没有问题。值得指出的是,一般 CMOS 电路,在 $V_{DD} = 5V$, $V_{OH} = 4.6V$ 时,其拉电流输出 $I_{OH} = 0.16mA$;在 $V_{DD} = 5V$, $V_{OL} = 0.4V$ 时,其灌电流 $I_{OL} \geq 0.44mA$,因此它既不能供给大的拉电流也不允许灌入大电流。标准的 TTL 中速 74 系列电路的低电平输入电流(即对前级的灌电流) $I_{IL} \leq 1.6mA$ 。可见用 CMOS 电路直接驱动 TTL 电路(大功率 CMOS 电路除外),往往感有困难。解决问题的方法之一是把同一芯片上的同种 CMOS 并联作为一个门使用,以提高其驱动能力。另一种方法是采用具有较大驱动能力的专用接口器件,如 4009、4049、4010、4050 等。还有一种方法是在两种门之间插入一级三极管倒相器如图 1-8 所

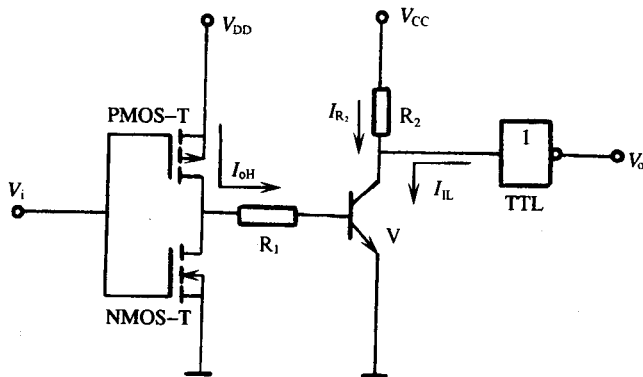


图 1-8 CMOS/TTL 接口