

集成电路应用丛书

常用数字集成电路原理与应用

卿太全 李 潇 郭明琼 编著

人民邮电出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

常用数字集成电路原理与应用/卿太全, 李潇, 郭明琼编著.

—北京: 人民邮电出版社, 2006.1

(集成电路应用丛书)

ISBN 7-115-13815-X

I. 常... II. ①卿... ②李... ③郭... III. 数字集成电路—基本知识 IV. TN431.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 109146 号

内 容 提 要

本书分为上、下两篇。上篇为“原理篇”，重点介绍了 CMOS 4000 系列（含 CMOS 4500 系列）和 TTL74 系列中 100 多种常用数字集成电路的功能、原理及基本应用，另外还介绍了在设计电路时经常用到的一些其他数字集成电路，包括门电路，触发器，时基、分频电路，模拟开关与数据选择器，计数器，编、译码器，寄存器，运算电路等基本电路；下篇为“应用篇”，介绍了近 300 例实用、新颖的电路，电路涉及自动控制、通信、测量等方面。

本书通用性、实用性强，理论与实践相结合，具有集成电路种类多、涉及面广而且全面的特点，适合电子爱好者，电子产品开发、设计专业技术人员以及大专院校相关专业的师生阅读参考。

集成电路应用丛书

常用数字集成电路原理与应用

-
- ◆ 编 著 卿太全 李 潇 郭明琼
责任编辑 申 苹
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京通州大中印刷厂印刷
新华书店总店北京发行所经销
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 20.5
字数: 504 千字 2006 年 1 月第 1 版
印数: 5 001-7 000 册 2006 年 8 月北京第 2 次印刷

ISBN 7-115-13815-X/TN · 2572

定价: 29.00 元

读者服务热线: (010) 67129264 印装质量热线: (010) 67129223

前 言

随着微电子技术的发展，越来越多的电子产品的设计都向数字化或智能化方向发展。大批主导电子产品，如计算机、数字音响、数字电视、数控机床等都广泛地应用了数字技术。

对电子爱好者和专业技术人员，尤其是产品研发人员来说，数字电子技术是一门必修课。本书面向电子技术爱好者、学生、电子专业技术人员，介绍常用数字集成电路的基本原理与应用，培养读者的实际动手能力、开发能力。值得一提的是书中有许多电路可以直接形成产品，对生产厂商有较高的参考价值。

本书分为上、下两篇。上篇为“原理篇”，重点介绍了 CMOS 4000 系列（含 CMOS 4500 系列）和 TTL74 系列中 100 多种常用数字集成电路的功能、原理及基本应用，另外还介绍了在设计电路时经常用到的一些其他数字集成电路，包括门电路，触发器，时基、分频电路，模拟开关与数据选择器，计数器，编、译码器，寄存器，运算电路等基本电路；下篇为“应用篇”，介绍了近 300 例实用、新颖的电路，电路涉及自动控制、通信、测量等方面。

本书内容丰富，侧重于实际应用，电路设计合理，原理图标注详细清楚，通用性、实用性强，具有集成电路种类多、涉及面广而且全面的特点，适合电子爱好者，电子产品开发、设计专业技术人员以及大专院校相关专业的师生阅读参考。

由于作者水平有限，书中缺点或错误在所难免，恳请读者批评指正。

作者个人网站：<http://www.qtq888.com>；E-mail 地址：qtq2003@163.com。

作 者

第 0 章 绪 论

0.1 数字集成电路的分类与命名

1. 数字集成电路的分类

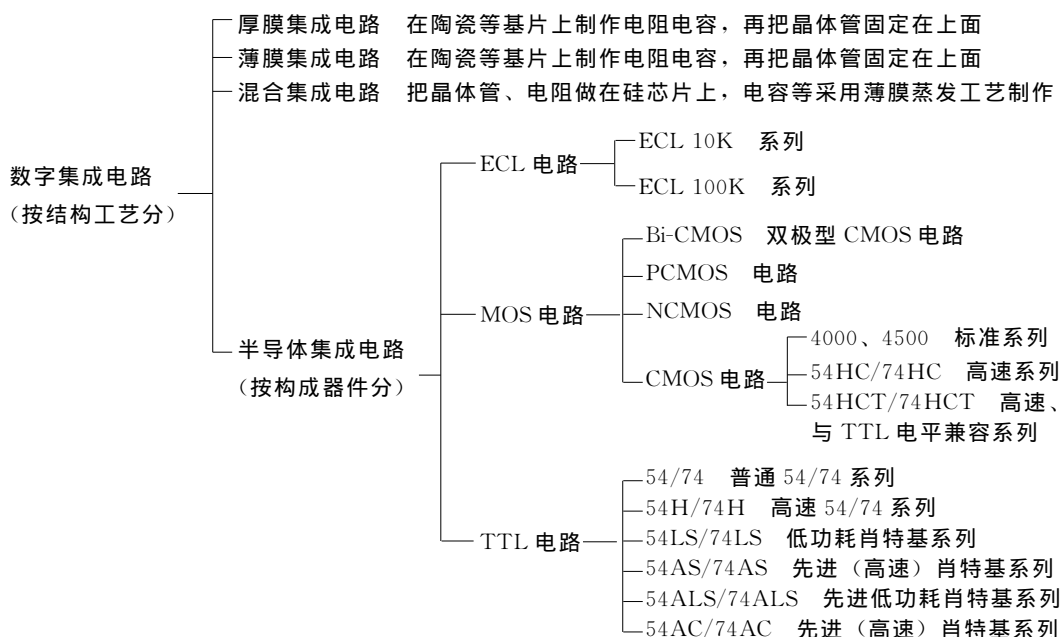
数字集成电路有多种分类方法，以下是几种常用的分类方法。

(1) 按结构工艺分

按结构工艺分类，数字集成电路可以分为厚膜集成电路、薄膜集成电路、混合集成电路、半导体集成电路四大类，如表 0-1 所示。

表 0-1

数字集成电路按结构工艺分类的示意图



ECL、TTL 为双极型集成电路，构成的基本元器件为双极型半导体器件，其主要特点是速度快、负载能力强，但功耗较大、集成度较低。双极型集成电路主要有 TTL (Transistor-Transistor Logic) 电路、ECL (Emitter Coupled Logic) 电路和 I²L (Integrated Injection Logic) 电路等类型。其中 TTL 电路的性能价格比高，故应用非常广泛，其中又以 74 系列集成电路的应用最广泛。

MOS 电路为单极型集成电路，又称为 MOS 集成电路，它采用金属-氧化物半导体场效应管 (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor, MOSFET) 制造，其主要特点是结构简单、制造方便、集成度高、功耗低，但速度较慢。MOS 集成电路又分为 PMOS (P-channel Metal Oxide Semiconductor, P 沟道金属氧化物半导体)、NMOS (N-channel Metal Oxide Semiconductor, N 沟道金属氧化物半导体) 和 CMOS (Complement Metal Ox-

ide Semiconductor, 复合互补金属氧化物半导体) 等类型。

MOS 电路中应用最广泛的为 CMOS 电路, 而 CMOS 数字电路中应用最广泛的为 4000、4500 系列 (本书将 4000 系列、4500 系列通称为 4000 系列), 这两个系列不但适用于通用逻辑电路的设计, 而且综合性能也很好, 与 TTL 电路一起成为数字集成电路中两大主流产品。

Bi-CMOS 是双极型 CMOS (Bipolar-CMOS) 电路的简称, 这种门电路的特点是逻辑部分采用 CMOS 结构, 输出级采用双极型晶体管, 因此兼有 CMOS 电路的低功耗和双极型电路输出阻抗低的优点。

综上所述, TTL74 系列、CMOS 4000 (4500) 系列是通用性最强、应用最广泛的数字集成电路, 因此, 本书重点介绍这两类常用的数字集成电路。

(2) 根据集成电路规模的大小分

根据集成电路规模的大小, 数字集成电路通常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)。

① 小规模集成电路 (Small Scale Integration, SSI)。小规模集成电路通常指含逻辑门个数小于 10 门 (或含元件数小于 100 个) 的电路。

② 中规模集成电路 (Medium Scale Integration, MSI)。中规模集成电路通常指含逻辑门数为 10~99 门 (或含元件数 100~999 个) 的电路。

③ 大规模集成电路 (Large Scale Integration, LSI)。大规模集成电路通常指含逻辑门数为 1000~9999 门 (或含元件数 1000~99999 个) 的电路。

④ 超大规模集成电路 (Very Large Scale Integration, VLSI)。超大规模集成电路通常指含逻辑门数大于 10000 门 (或含元件数大于 100000 个) 的电路。

2. 数字集成电路的命名

数字集成电路的型号组成一般由前缀、编号、后缀三大部分组成。前缀代表制造厂商, 编号包括产品系列号、器件系列号, 后缀一般表示温度等级、封装形式等。

(1) TTL74 系列数字集成电路型号的组成及符号的意义

TTL74 系列数字集成电路型号的组成及符号的意义如表 0-2 所示。

表 0-2 TTL74 系列数字集成电路型号的组成及符号的意义

第 1 部分: 制造厂商	第 2 部分: 产品系列		第 3 部分: 器件类型		第 4 部分: 器件功能		第 5 部分: 器件封装形 式、温度范围	
	符 号	意 义	符 号	意 义	符 号	意 义	符 号	意 义
	54	军用电路 -55℃~+125℃		标准电路	阿 拉 伯 数 字	器 件 功 能	W	陶瓷扁平
			H	高速电路			B	塑封扁平
			S	肖特基电路			F	全密封扁平
	74	民用和通用电路	LS	低功耗肖特基电路			D	陶瓷双列直插
			ALS	先进低功耗肖特基电路			P	塑封双列直插
			AS	先进肖特基电路				

(2) CMOS 4000 系列集成电路型号的组成及符号的意义

CMOS 4000 系列集成电路型号的组成及符号的意义见表 0-3。

路，其中 CMOS 电路应用最广泛的为 4000 系列和 4500 系列电路（本书将 4000 系列、4500 系列电路统称为 4000 系列电路），TTL 电路应用最广泛的为 74 系列电路，因此本书重点介绍 CMOS 4000 和 TTL74 两大系列数字集成电路的工作原理和应用实例。这里首先介绍 CMOS 4000 和 TTL74 系列集成电路的一般性能。

1. CMOS 4000 系列集成电路的一般特性

(1) 电源电压范围宽

标准的 CMOS 4000 系列集成电路的工作电源电压范围为 3~18 V；40H00 系列为 2.0~8.0 V，74HC4000 系列和 74HCU4000 系列为 2.0~6.0 V，74HCT4000 系列为 4.5~5.5 V。国产的 C000 系列集成电路的工作电压为 7~15 V，国产的 CC4000 系列集成电路的工作电压范围为 3~18 V。由于 CMOS 4000 系列电路电源电压范围宽，即使不稳压，只要电源电压波动不超过工作电压范围，也可以正常工作。

(2) 功耗低

CMOS 集成电路采用场效应管组成互补推挽结构，工作时两个串联的场效应管总是一管导通，另一管截止，静态时几乎不从电源吸取电流，因此功耗极小。当 $V_{DD} = 5\text{ V}$ 时，CMOS 电路的静态功耗分别是：门电路类为 $2.5 \sim 5\ \mu\text{W}$ ，缓冲器和触发器类为 $5 \sim 20\ \mu\text{W}$ ，中规模集成电路类为 $25 \sim 100\ \mu\text{W}$ ；在 $-55^\circ\text{C} \sim +125^\circ\text{C}$ 工作环境下，静态电流依次是：门电路 $0.25 \sim 7.5\ \mu\text{A}$ ，缓冲器 $1 \sim 30\ \mu\text{A}$ ，中规模器件为 $5 \sim 150\ \mu\text{A}$ 。

(3) 输入阻抗高

由于 CMOS 电路的互补特性，输出高、低电平时阻抗都很低（与 NMOS、PMOS 相比）。CMOS 电路的输入阻抗只取决于输入端保护二极管的漏电流，因此输入阻抗极高，可达 $10^8 \sim 10^{11}\ \Omega$ 以上。所以，CMOS 电路几乎不消耗驱动电路的功率。

(4) 抗干扰能力强

因为它们的电源电压允许范围大，因此它们输出高低电平摆幅也大，抗干扰能力就强，其噪声容限最大值为 $45\%V_{DD}$ ，保证值可达 $30\%V_{DD}$ ，电源电压越高，噪声容限值越大。

(5) 逻辑摆幅大

CMOS 电路输出的逻辑高电平“1”非常接近电源电压 V_{DD} ，逻辑低电平“0”接近电源 V_{SS} ，空载时，输出高电平 $V_{OH} \geq (V_{CC} - 0.05)\text{ V}$ ，输出低电平 $V_{OL} \leq 0.05\text{ V}$ 。因此，CMOS 电路电源利用系数最高。

(6) 扇出能力强

在低频工作时，一个输出端可驱动 50 个以上 CMOS 器件的输入端。

(7) 抗辐射能力强

CMOS 管是多数载流子受控导电器件，射线辐射对多数载流子浓度影响不大。因此 CMOS 电路特别适用于航天、卫星和核试验的装置。

CMOS 集成电路功耗低，内部发热量小，集成度可大大提高。又因为电路本身的互补对称结构，当环境温度变化时，其参数有互相补偿作用，因而其温度稳定性好。

要正确应用数字集成电路，需要对它们的基本参数和极限参数作一了解。

下面介绍 CMOS 4000 系列集成电路的基本参数和极限参数。表 0-4 列出了 CMOS 4000 系列集成电路的基本参数，表 0-5 列出了 CMOS 4000 系列集成电路中 CC4069 的极限参数。

表 0-4

CMOS 4000 系列集成电路的基本参数

参数名称	符 号	测 试 条 件			参 数		单 位
		输出电压/V	输入电压/V	电源电压/V	最大值	最小值	
输出低电平电流	I_{OL}	0.4	0/5	5	0.51		mA
		0.5	0/10	10	1.3		
		1.5	0/15	15	3.4		
输出高电平电流	I_{OH}	4.6	0/5	5	-0.51		mA
		9.5	0/10	10	-1.3		
		13.5	0/15	15	-3.4		
输出低电平电压	V_{OL}		0/5	5		0.05	V
			0/10	10		0.05	
			0/15	15		0.05	
输出高电平电压	V_{OH}		0/5	5	4.95		V
			0/10	10	9.95		
			0/15	15	14.95		
静态功耗电流	I_{DD}		0/5		0.25		μA
			0/10		0.5		
			0/15		1.0		
输出状态 转换时间		$C_L = 50 \text{ pF}$		5		200	ns
		$R_L = 200 \text{ k}\Omega$		10		100	
				15		80	

表 0-5

CMOS 4000 系列集成电路中 CC4069 的极限参数

参数名称	极 限 值	
最大直流电源电压 $V_{DD} (\text{max})$	+18 V	
最小直流电源电压 $V_{SS} (\text{min})$	-0.5 V	
最大输入电压 $V_I (\text{max})$	电源电压 + 0.5 V	
最小输入电压 $V_I (\text{min})$	-0.5 V	
最大允许功耗 (P_M)	陶瓷扁平封装 (14, 16 引脚) (环境温度为 -55°C ~ 100°C)	200 mW
	陶瓷双列直插封装 (14, 16 引脚) (环境温度为 -55°C ~ 100°C) (环境温度为 100°C ~ 125°C)	500 mW 200 mW
	塑料双列直插封装 (14, 16, 24 引脚) (环境温度为 -55°C ~ 60°C) (环境温度为 60°C ~ 85°C)	500 mW 200 mW
工作温度范围	陶瓷扁平封装	-55°C ~ 100°C
	陶瓷双列直插封装	-55°C ~ 125°C
	塑料双列直插封装	-40°C ~ 85°C
存储温度	-65°C ~ 150°C	

前面列出的 CMOS 电路的参数为 CMOS 集成电路的“共性”，但不同厂家生产的同一型号的集成电路，功能原理相同，基本参数有所不同。表 0-6 列出了不同厂家生产的 4013

的主要参数。

表 0-6 不同厂家生产的 4013 的主要参数对比

型 号	最高工作频率/MHz	传输延迟时间/ns	最大噪声容限/V	参数相同后缀不同的型号
MC14013AL	10.0	300	2.2	
MC14013CP	10.0	450	2.2	
MC14013BAL	7.0	100	2.5	BCP BCL
CD4013	12	120	4.5	AD AE
	10		4.5	AF
	10	90	4.5	BD BE BF
	7.6	130	6.7	BCJ BCN BMJ BMW
HCF4013 HCC4013	12.0	90	2.5	BD BF BK BE BF
TC4013BP	7.0	200	4.0	
HBC4013	10.0	110	4.5	AD AF AK
HBF4013	10.0	125	4.5	AE AF
SCL4013	12.0	120	4.5	AC AD AE AF AH
MB84013	10.0	90		MB84013 M84013M
HEF4013	18.0	75	6.7	BD BP
	16.0	30		P

前缀、型号相同的集成电路，通常又冠以不同的后缀来表示不同的温度等级或封装形式，如 CD4011 有 CD4011AD/AE/AF、CD4011BD/BE/BF、CD4011BCJ/BCN、CD4011BMJ/BMW、CD4011UBD/UBE 等多种形式，它们之间的参数有一定差异，如表 0-7 所示。

表 0-7 前缀、型号相同、后缀不同的 IC 主要参数对比

型 号	逻辑电平		传输延迟时间/ns	最大噪声容限/V	工作温度范围/℃	工作电源电压/V
	“1”	“0”				
CD4013AD	10	0	40	4.5	-55~+125	+10
CD4013AE	10	0	50	4.5	-40~+85	+10
CD4013CJ	9.99	0.01	50	4.5	-40~+85	+10
CD4013CN	9.99	0.01	50	4.5	-40~+85	+10
CD4013BD	15.0	0.05	90		-55~+125	+15
CD4013BE	15.0	0.05	90		-40~+85	+15
CD4013BF	15.0	0.05	90		-55~+125	+15
CD4013UBD	12.5	2.5	50	2.5	-55~+125	+15
CD4013UBE	12.5	2.5	50	2.5	-40~+85	+15
CD4013BCJ	11.0	4.0	70	6.7	-40~+85	+15
CD4013BCN	11.0	4.0	70	6.7	-40~+85	+15

2. TTL74 系列集成电路的一般特性

TTL 门电路工作速度快，驱动能力强，是目前应用最广泛的集成电路之一，它的缺点

是功耗大，集成度低。

(1) 工作电源电压范围

S、LS、F 系列为 5.0 V ($1\pm 5\%$)；AS、ALS 系列为 5.0 V ($1\pm 10\%$)；ECL10K 系列为 -5.2 V ($1\pm 5\%$)；ECL100K 系列为 $-4.2\sim 5.7\text{ V}$ 。

(2) 频率特性

标准的 TTL 电路的工作频率 $< 35\text{ MHz}$ ；LS 系列 TTL 电路的工作频率 $< 40\text{ MHz}$ ；ALS 系列电路的工作频率 $< 70\text{ MHz}$ ；S 系列电路的工作频率 $< 125\text{ MHz}$ ；AS 系列电路的工作频率小于 200 MHz ；ECL 系列电路的工作频率为 $100\sim 1000\text{ MHz}$ 。

(3) TTL 电路的电压输出特性

当工作电压为 $+5\text{ V}$ 时，逻辑“1”的输入电平 $> 2.0\text{ V}$ ，输出电平 $> 2.4\text{ V}$ ；逻辑“0”的输入电平 $< 0.8\text{ V}$ ，输出电平 $< 0.4\text{ V}$ 。

(4) 最小输出驱动电流

① 标准输出的 TTL 电路：标准 TTL 电路为 16 mA ；LS-TTL 电路为 8 mA ；S-TTL 电路为 20 mA ；ALS-TTL 电路为 8 mA ；AS-TTL 电路为 20 mA 。

② 大电流输出的 TTL 电路：标准 TTL 电路为 48 mA ；LS-TTL 电路为 24 mA ；S-TTL 电路为 64 mA ；ALS-TTL 电路为 $24/48\text{ mA}$ ；AS-TTL 电路为 $48/64\text{ mA}$ 。

(5) 扇出能力（以带动 LS-TTL 负载的个数为例）

① 标准输出的 TTL 电路：标准 TTL 电路为 40 ；LS-TTL 电路为 20 ；S-TTL 电路为 50 ；ALS-TTL 电路为 20 ；AS-TTL 电路为 50 。

② 大电流输出的 TTL 电路：标准 TTL 电路为 120 ；LS-TTL 电路为 60 ；S-TTL 电路为 160 ；ALS-TTL 电路为 $60/120$ ；AS-TTL 电路为 $120/160$ 。

0.3 数字集成电路的接口电路与使用注意事项

在数字电路的应用中，经常存在板、卡之间以及不同类型器件之间相互连接的问题，它们之间若逻辑电平、相位、时序等互不一致时，就需要使用接口电路来进行变换，使它们之间相互匹配，以达到正确接收和传送信息的目的。

1. CMOS 电路的接口电路

(1) 电源电压相同条件下的接口电路

在电源电压相同的条件下，CMOS 电路可以与 TTL 电路、HTL 电路和 NMOS 电路直接连接，如图 0-1~图 0-3 所示。

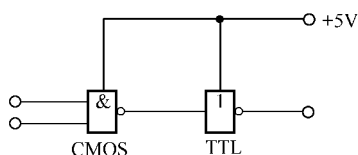


图 0-1 CMOS-TTL 接口电路

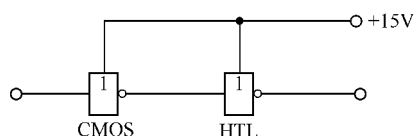


图 0-2 CMOS-HTL 接口电路

CMOS 电路驱动 TTL 电路的问题，过去的资料介绍一般都强调要加中间驱动电路。但根据作者长期的使用经验，在电源电压相同的情况下，绝大部分 CMOS 电路可以直接驱动 TTL 电路。这也许是因为早期的 CMOS 电路驱动能力较小，而随着制造工艺的改善，当今的 CMOS 电路整体性能有所提高、驱动能力得以增强的缘故。

在相同电源下，CMOS 电路可以直接驱动工业级 HTL 电路。

NMOS 与 CMOS 一样，输入阻抗很高，输入吸收电流极微，由 CMOS 直接驱动，完全没有问题。但 NMOS 一般使用 +5 V 电源，应注意电源之间的匹配。

(2) 不同电源电压条件下的接口电路

① CMOS 电路与 TTL、PMOS 和 ECL 电路的接口电路。CMOS 电路与 TTL、PMOS 和 ECL 电路的接口电路如图 0-4 所示。

CMOS 电路与 TTL 电路的接口可以使用晶体管、集成缓冲/电平变换器等进行缓冲和电平变换后连接。

PMOS 电路的工作电源为 -24 V，可以直接接口，但 CMOS 电路的电压应选择在 -12 ~ -10 V 之间，才能满足 PMOS 电路对输入电平的要求。

ECL 电路是工作速度最高的数字 IC，但与 CMOS 电路接口时，应注意：ECL 采用负电源工作，把 CMOS 的 V_{DD} 与 ECL 的 V_{CC} 接地。

② CMOS 电路与工业控制电路的接口电路。工业控制电路工作电源一般为 +24 V 和 +12 V、+5 V、-5 V。其中 CMOS 电路与 +24 V 的接口非常常见，CMOS 与之接口时，一般用晶体管进行电平变换，如图 0-5 所示。

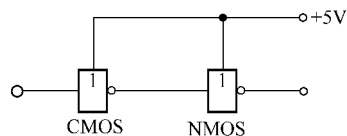


图 0-3 CMOS-NMOS 接口电路

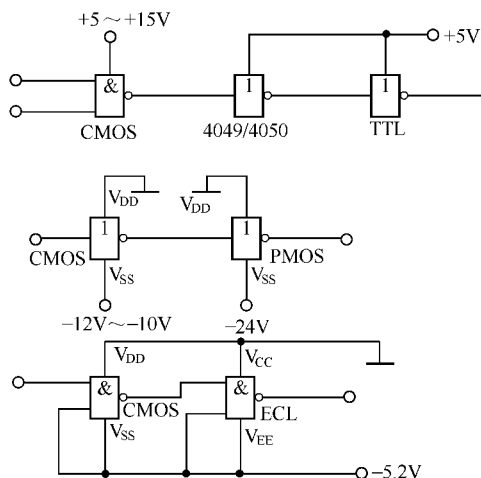


图 0-4 CMOS 电路与 TTL、PMOS 和 ECL 电路的接口电路

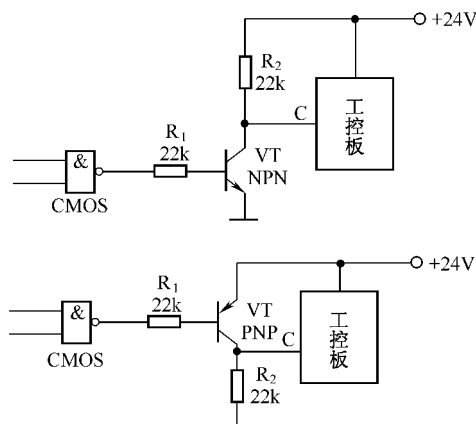


图 0-5 CMOS 与工业控制电路的接口电路

③ CMOS 电路与晶体管的接口电路。CMOS 电路与晶体管的接口电路有如图 0-6 所示的几种形式。

图 0-6 (a) 所示电路中，基极偏流 $I_b = (V_{OH} - V_{be}) / R_1$ ，集电极电流由 I_b 、 h_{FE} 、 $+V_{CC}$ 确定。实际应用中， VT_1 一般工作于开、关状态，取 $I_b = 1\text{mA}$ ， VT_1 就可以工作于饱和状态，若 CMOS 输出高电平 $V_{OH} = 5\text{V}$ ，则 $R_1 = (5 - 0.7) / 1 \times 10^{-3} = 4.3\text{k}\Omega$ 。

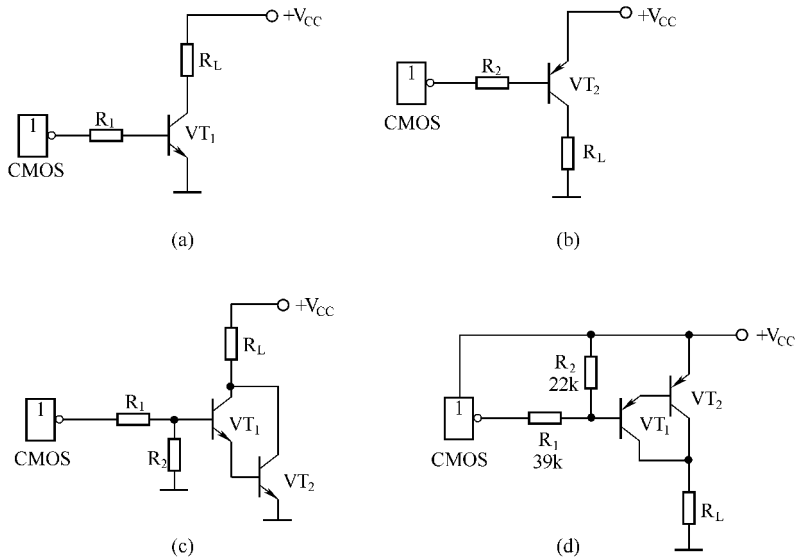


图 0-6 CMOS 电路与晶体管的接口电路

图 0-6 (b) 所示电路中，两者必须工作于同一电源下，假如 CMOS 电源为 +5 V， $+V_{CC}=+9\text{ V}$ ，即使 CMOS 输出高电平 5 V，但 VT_2 的 be 结仍有 $9-5=4\text{ V}$ 正向偏置而处于导通状态。 VT_2 不能起到正常的开、关作用。

图 0-6 (c)、图 0-6 (d) 所示电路是为增大负载驱动能力而采用复合管的方式。

图 0-6 (d) 中， R_L 可以获得 100 mA 电流。

④ CMOS 电路与 LED 的接口电路。CMOS 电路一般都可以直接驱动 LED。一般 LED 的正向压降为 2 V 左右，某些特殊的 LED，如白色 LED、高亮度 LED，正向压降为 2.5~3.0 V。因 CMOS 输出高电平 V_{OH} 约为 V_{DD} ，LED 必须串入电阻再与 CMOS 输出端连接，如图 0-7 所示。

LED 的发光电流为 5~25 mA，早期 LED 的工作电流在 +12 mA 以下，目前生产的高亮度 LED 已达到 25 mA 左右。一般应用时，取 10 mA 左右就可以了，对亮度几乎没有多大影响，既减少了功耗，又适合与 CMOS 电路直接接口。

图 0-7 (a) 中， $I = (V_{CC} - V_{LED}) / R$ ， V_{LED} 为 LED 的正向压降，若 $V_{CC} = +15\text{ V}$ ， $V_{LED} = 2\text{ V}$ ，取 $I = 10\text{ mA}$ 则 $R = (15 - 2) / 10 \times 10^{-3} = 1.3\text{ k}\Omega$ ，实取 1 kΩ 或 1.5 kΩ。

图 0-7 (b) 中， $I = (V_{OH} - V_{LED}) / R$ ， V_{OH} 为 CMOS 输出的高电平电压。

有些驱动能力较强的 CMOS 电路如 4511、4558、4017 等，可以驱动多只串联的 LED，如图 0-7 (c) 所示，MC14017BCP 可以驱动 8 只串联的 LED。

⑤ CMOS 电路与晶闸管的接口电路。CMOS 电路可以直接驱动 3 A 以下的晶闸管，如图 0-8 所示。驱动双向晶闸管时，需要的驱动电流比驱动单向晶闸管的要大。

图 0-8 中， R 值的计算： $R = (V_{OH} - V_G) / I_G$ ， V_{OH} 为 CMOS 输出的高电平电压， V_G 为 VS 的控制极与阴极之间的正向压降，一般为 0.6~0.8 V， I_G 为通过的电流。例如 $V_{OH} = 5\text{ V}$ ， $V_G = 0.7\text{ V}$ ， $I_G = 0.20\text{ mA}$ 时， $R = (5 - 0.7) / 0.20\text{ mA} = 21.5\text{ k}\Omega$ ，实取 22 kΩ。实际应用中，当 $V_{OH} = 15\text{ V}$ 、 R 取 100 kΩ、VS 为 BCR1A400 V 型号时，VS 都可以正常导通。

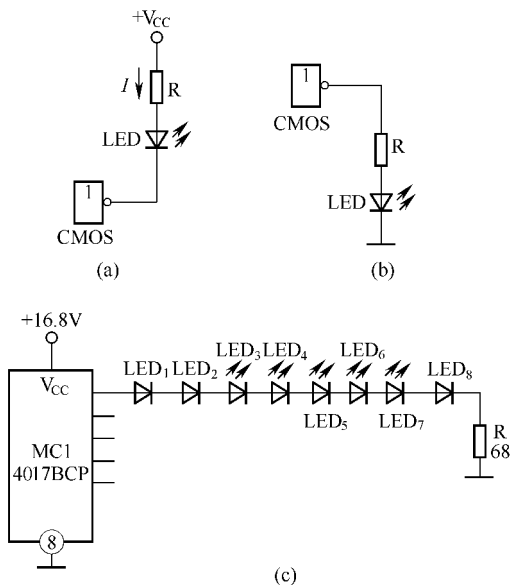


图 0-7 CMOS 电路与 LED 的接口电路

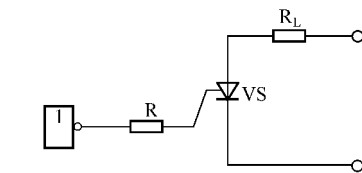


图 0-8 CMOS 电路与晶闸管的接口电路

2. TTL 电路的接口电路

集电极开路输出 (OC) 的 TTL, 可直接与 CMOS 电路接口, 但应加上拉电阻。如图 0-9 所示, R 的取值以 $10 \sim 220 \text{ k}\Omega$ 为宜, 取值越大, 功耗越低, 但会降低工作速度。

下面介绍数字集成电路的使用注意事项。

① 不允许在超过极限参数的条件下工作。电路在超过极限参数的条件下工作, 就可能工作不正常, 且容易引起损坏。TTL 集成电路的电源电压允许变化范围比较窄, 一般在 $4.5 \sim 5.5 \text{ V}$ 之间, 因此必须使用 $+5 \text{ V}$ 稳压电源。CMOS 集成电路的

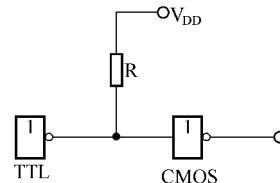


图 0-9 TTL-CMOS 接口电路

工作电源电压范围比较宽 (如 CD4000B/4500B: $3 \sim 18 \text{ V}$), 有较大的选择余地; 选择电源电压时除首先考虑到要避免超过极限电源电压外, 还要注意到电源电压的高低会影响电路的工作频率等性能。电源电压低, 电路工作频率会下降或增加传输延迟时间。例如 CMOS 触发器, 当 V_{CC} 由 $+15 \text{ V}$ 下降到 $+3 \text{ V}$ 时, 其最高工作频率将从 10 MHz 下降到几十千赫。

② 电源电压的极性千万不能接反, 电源正负极颠倒、接错, 会因为电流过大而造成器件损坏。

③ CMOS 电路要求输入信号的幅度不能超过 $V_{DD} \sim V_{SS}$, 即满足 $V_{SS} \leq V_I \leq V_{DD}$ 。当 CMOS 电路输入端施加的电压过高 (大于电源电压) 或过低 (小于 0 V), 或者电源电压突然变化时, 电路电流可能会迅速增大, 烧坏器件, 这种现象称为可控硅效应。预防可控硅效应的措施主要有: 输入端信号幅度不能大于 V_{DD} , 也不应小于 0 V ; 消除电源上的干扰; 在条件允许的情况下, 尽可能降低电源电压, 如果电路工作频率比较低, 用 $+5 \text{ V}$ 电源供电最好; 对使用的电源加限流措施, 使电源电流被限制在 30 mA 以内。

④ 对多余输入端的处理。对于 CMOS 电路, 多余的输入端不能悬空, 否则, 静电感应产生的高压, 容易引起器件损坏。这些多余的输入端应该接 V_{DD} 或 V_{SS} , 或与其他正使用的

输入端并联。这三种处置方法，应根据实际情况而定，若是或门/或非门电路，多余的输入端不能接 V_{DD} （整个门单元都不使用的除外），否则，不能执行正常的逻辑功能；同理，与门/与非门的多余输入端不能接 V_{SS} ；多余输入端并联使用时，对电路的工作速度有一定影响，因此，这种方式适用于工作速度不太高，功耗不太大的条件下。对于 TTL 电路，多余的输入端允许悬空，悬空时，该端的逻辑输入状态一般都作为“1”对待。但考虑到外界信号的干扰，最好不要悬空，可根据实际情况接 V_{DD} 或通过电阻接 V_{DD} 、 V_{SS} 。

CMOS 门电路在一般情况下可以并联使用。当同一芯片上 2 个以上功能相同的器件并联使用（例如各种门电路）时，可增大输出灌电流和拉电流，从而增大驱动负载的能力，同样也提高了电路的工作速度。但器件的输出端并联，输入端也必须并联。

TTL 集成电路的各个输入端不能直接与大于 +5.5 V 和小于 -0.5 V 的低内阻电源连接。多余的输入端最好不要悬空。虽然悬空相当于高电平，并不影响“与门、与非门”的逻辑关系，但悬空容易受干扰，有时会造成电路误动作。因此，多余输入端要根据实际需要作适当处理。例如“与门、与非门”的多余输入端可直接接到电源 V_{CC} 上；也可将不同的输入端共用一个电阻连接到 V_{CC} 上；或将多余的输入端并联使用。对于“或门、或非门”的多余输入端应直接接地或经电阻接地。

⑤ 多余的输出端应该悬空处理，绝对不允许直接接到 V_{DD} 或 V_{SS} ，否则会产生过大的短路电流而使器件损坏。不同逻辑功能的 CMOS 电路的输出端也不能直接连到一起，否则导通的 P 沟道 MOS 场效应管和导通的 N 沟道 MOS 场效应管形成低阻通路，造成电源短路而引起器件损坏；逻辑功能相同的门电路，它们的输入端并联时，输出端可以并联。因此除“三态门、集电极开路门”外，TTL 集成电路的输出端不允许并联使用。如果将几个“集电极开路门”电路的输出端并联，实现“线与”功能时，应在输出端与电源之间接入上拉电阻。

⑥ 由于 CMOS 电路输入阻抗高，容易受静电感应发生击穿，除电路内部设置保护电路外，在使用和存放时应注意静电屏蔽；焊接 CMOS 电路时，焊接工具应良好接地，焊接时间不宜过长，焊接温度不要太高，更不能在通电的情况下拆卸，拔、插集成电路。

⑦ 很多型号的数字电路之间可以直接互换使用，如国产的 CC4000 系列，可与 CD4000 系列、MC14000 系列直接互换使用。但有些引脚功能、封装形式相同的 IC，电参数有一定差别，互换时应注意，如国产 CC4000 系列与 $C \times \times \times$ 系列，前者的工作电源电压范围为 3~18 V，后者为 7~15 V，在 +5 V 的电源条件下，不能用 $C \times \times \times$ 代换 CC4000 系列的 IC。

74C55 系列有多种型号，其功能及引脚排列顺序均与 TTL74 系列保持一致。74C55 为普通系列，此外还有 CMOS 74HC/HCT55 系列和先进的 CMOS 74AC/ACT55 系列，其中 74HCT55 系列和 74ACT55 系列可直接与 TTL 相兼容。

⑧ 注意设计工艺，增强抗干扰能力。在设计印制线路板时，应避免引线过长，以防止信号之间的窜扰和对信号传输的延迟。此外要把电源线设计得宽一些，地线要进行大面积接地，这样可减少接地噪声干扰。在 CMOS 逻辑系统设计中，应尽量减少电容负载。电容负载会降低 CMOS 集成电路的工作速度和增加功耗。

上篇 原理篇

第1章 门电路

门电路是数字电路中的基本单元电路，其他数字电路基本上都由它构成；它是应用最广泛的数字电路之一，既可以构成其他逻辑电路，也可以单独使用。本章主要介绍以下几种常用门电路：或（或非）门，与（与非）门，反相器，同（反）相缓冲器和组合逻辑门。

1.1 四 2 输入或非门 4001、 7402

1. 4001、7402 的工作原理

4001 和 7402 分别为 CMOS、TTL 四 2 输入或非门 IC，它们内部都包含 4 个独立的 2 输入端或非门单元电路，其逻辑功能是：A、B 任意一个输入或全部为“1”，输出为“0”；A=B=0 时，输出为“1”。逻辑表达式为 $Y = \overline{A+B}$ 。

引脚功能如图 1-1 所示。

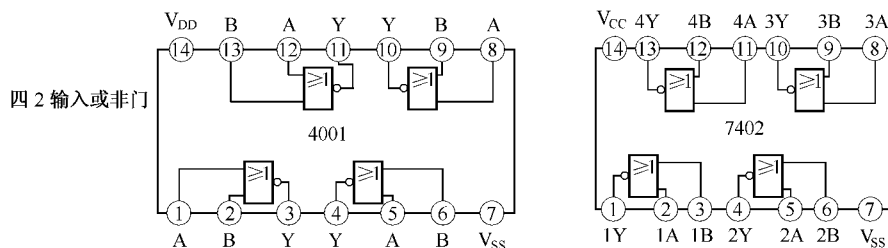


图 1-1 4001、7402 引脚功能

4001 和 7402 可形成 R-S 触发器，振荡器，单、双稳态等其他多种逻辑电路。

2. 4001、7402 的基本应用

(1) 键控多谐振荡器

图 1-2 所示电路利用 4001 的两个门电路构成简易多谐振荡器，用于振荡频率精度和稳定度要求不高的场合。

$R_1 > 10R_2$ 时，振荡频率由下式决定： $f = 1/(2.2R_2C)$ ， R_2 单位为 Ω ， C 的单位为 F。

F_3 可对振荡信号整形并起缓冲隔离作用。C为振荡控制端信号， $C=1$ 停振， $C=0$ 起振。

(2) 晶体振荡器

利用石英晶体和门电路可获得精度和稳定性很高的振荡频率。如图 1-3 所示为这类电路的基本应用。

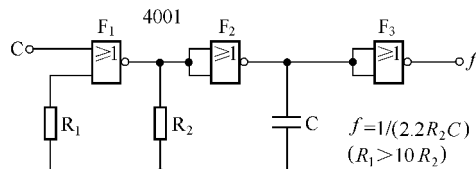
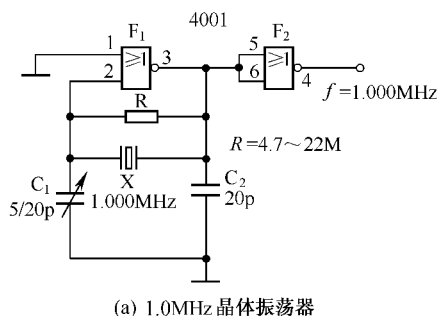


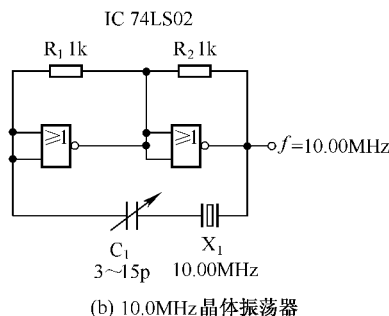
图 1-2 键控多谐振荡器

$$f = 1 / (2.2 R_2 C)$$

$$(R_1 > 10 R_2)$$



(a) 1.0MHz 晶体振荡器



(b) 10.0MHz 晶体振荡器

图 1-3 晶体振荡器

使用不同频率的晶体就得到不同的频率输出。图 1-3 (a) 所示电路中， F_1 的①、②脚可以连接在一起，但不能接地。反馈电阻 R 的取值范围很大，一般为 $1 \sim 20 \text{ M}\Omega$ 。图 1-3 (b) 所示的电路为 TTL 门电路构成的 10 MHz 晶体振荡，反馈电阻的取值及取值范围都很小，但电路的振荡频率高。 C_1 对振荡频率进行校正和微调。

(3) 轻触式电子开关

如图 1-4 所示，它们实际上是或非门构成的 R-S 触发器的具体应用。

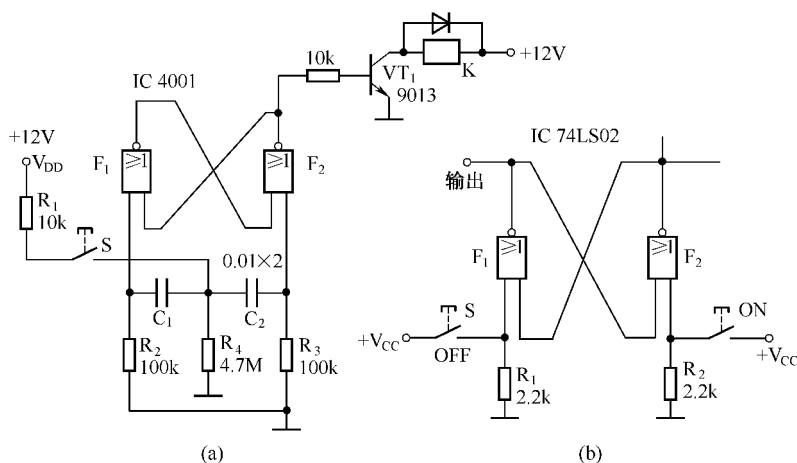


图 1-4 轻触式电子开关

由于两个门电路的参数不可能完全相同，通电后必有一个或非门首先输出“1”，而另一个输出为“0”。假设 F_1 输出为“1”，则 F_2 输出为“0”，此时，对于图 1-4 (a) 所示电路，按一下 S ， R_4 上获得高电平，经 C_1 、 R_2 和 C_2 、 R_3 微分作用， F_1 、 F_2 的一个输入脚均获正脉冲 (F_2 的另一个脚接 F_1 的输出，此时为“1”)， F_1 输出为“0”，经短暂的暂稳态后， F_2 输出翻转为 1， VT_1 饱和，继电器动作；再次按一下 S ，输出状态再次翻转，继电器释放。对于图 1-4 (b) 所示电路，按 OFF， F_1 输出为“0”，代表关闭；按 ON， F_1 输出为“1”，代表接通。

(4) 触摸式电子开关

如图 1-5 所示，用两块小金属片代替按键开关，降低了成本。当人体触及到 M_1 或 M_2 时，人体感应信号的正脉冲就可以使触发器的状态翻转：触摸 M_1 时 F_2 输出为 1，相当于开关的“开”状态；触摸 M_2 时 F_2 输出为 0，相当于“关”。

实际应用时， M_1 、 M_2 不应太大，也不要与其他大的金属体靠近或接触，引出线不宜过长，以免外界信号干扰引起误动作。

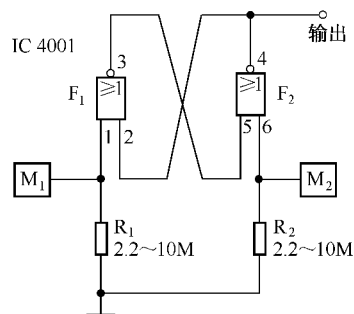


图 1-5 触摸式电子开关

1.2 四 2 输入与非门 4011、 7400

1. 4011、7400 的工作原理

4011、7400 是应用广泛的数字 IC 之一，它们内含 4 个独立的 2 输入端与非门，其逻辑功能是：输入端全部为“1”时，输出为“0”；输入端只要有“0”，输出就为“1”。逻辑表达式为： $Y = \overline{AB}$ 。引脚功能如图 1-6 所示。

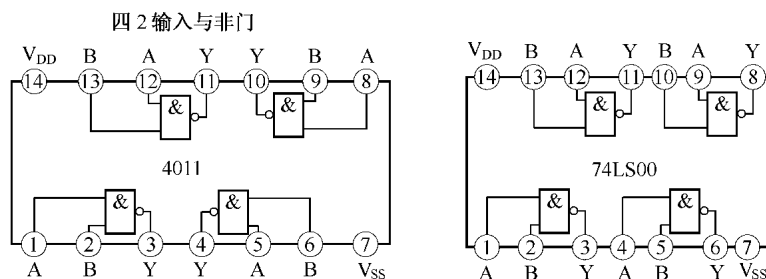


图 1-6 4011、7400 引脚功能

2. 4011、7400 的基本应用

(1) 构成基本的触发器

基本的触发器是构成计数器、分频器等的基本单元电路。如图 1-7 所示为基本的 R-S 触发器，其逻辑功能是： $S=1$ 、 $R=0$ ， $Q=1$ 、 $\overline{Q}=0$ ； $S=0$ 、 $R=1$ ， $Q=0$ 、 $\overline{Q}=1$ ； $R=S=0$ ， Q 、 \overline{Q} 保持原来状态不变； $S=R=1$ ，互为约束，不允许使用。图中门 a、b 为触发器的主体，门 c、d 只对输入触发信号的极性进行变换，不使用门 c、d 时，如图 1-8 所示，即成为“0”触发有效的 R-S 触发器。

基本 R-S 触发器按 1-9 所示的方式连接即构成 T 型触发器。在稳态时，必定有 $Q=1$ ， $\overline{Q}=0$ 或 $\overline{Q}=1$ ， $Q=0$ 两种状态之一，假如稳态时 $Q=1$ ， $\overline{Q}=0$ ，则与非门②、⑤、⑥脚为“1”，①、③、④脚为“0”，此时门 b 被封锁。在输入脉冲负跳变的作用下，经 30pF 电容在门 a、b①、⑤脚产生一负跳变，门 a、b 的状态翻转为 $Q=0$ ， $\overline{Q}=1$ ；同理，下一个负脉冲来到时，触发器状态再次翻转为 $Q=1$ ， $\overline{Q}=0$ ……因此，该触发器每