

IC

集成电路应用手册

(日) 东京工业大学教授・工学博士

柳泽健 主编

王凤秀 译 张家栋 校

科学技术文献出版社重庆分社出版

领域电子学都成了必不可少的基本技术。电子学的活跃领域今后还会继续扩大。

本书就是从这个观点出发,企图指导用户在开发、设计电子系统时如何使用内容丰富的数字和模拟集成电路,如何制作有高性能、低成本的系统。由于电子学的应用领域广而深,要由一个人来完成涉及范围如此之广的著作是不可能的,所以在当前最活跃的领域请了编辑委员,一起出主意,推荐了活跃在第一线的执笔者。

本书共分为三部份。第一和第二部份介绍了数字集成电路和模拟集成电路的特性和使用方法,并阐述了各种集成电路的数据和丰富的电路例子,也详细的介绍了使用上的注意事项。第三部份充实了在系统中的应用,从电子学活跃的各个领域列举了有代表性的系统,并说明了如何使用集成电路来构成系统。

因为本书的宗旨是从用户的角度来评论集成电路,所以只在附录中才就集成电路的结构、制造、器件特点做最小限度的说明。另外,考虑到其它领域的技术人员的使用问题,也充分注意到应当使说明通俗易懂,仅给出了设计中所必要的数学公式。在电路图中列出了实际的数值,以便于使用。

集成电路的发展的确是很快的,昨天还是最新技术,今天已为集成度更高,使用更方便的集成电路所取代了,这种例子是不胜枚举的。但是,TTL、ECL、CMOS、运算放大器之类的品种已经稳定下来,基本技术大体上都近于完善了。如果电子学领域的专业人员及其它领域的技术人员能把本书作为手册使用,并对以集成电路为中心的电子学的进步有所帮助的话,编者就不胜宽慰了。

最后,对在百忙之中为本书筹画及执笔作出了贡献的各位编辑委员和执笔者借此机会表示衷心的感谢。

1977年2月

柳泽健

(IC手册编委及工作单位,共39人,十几个大学或公司名,在本译书中从略——译者注)

目 录

第一部份 数字集成电路

第一章	TTL	(1)
1.1	双极型逻辑 IC 的种类及特点	(2)
1.1.1	DTL	(2)
1.1.2	TTL	(3)
1.1.3	HTL	(3)
1.1.4	ECL	(4)
1.2	TTL 的基本特性	(4)
1.2.1	输入输出特性	(4)
1.2.2	输入输出电平的定义	(5)
1.2.3	输入输出电流特性	(5)
1.2.4	传递时间特性	(7)
1.3	TTL 系列	(9)
1.3.1	门电路	(9)
1.3.2	JK 触发器	(25)
1.4	TTL MSI	(26)
1.4.1	移位寄存器	(26)
1.4.2	计数器	(32)
1.4.3	译码器	(37)
1.4.4	数据选择器	(45)
1.4.5	锁存器	(48)
1.4.6	逻辑运算器件	(49)
1.5	双极存储器	(54)
1.6	由 TTL 构成逻辑系统的例子	(57)
1.7	组装注意事项	(59)
	参考文献	(60)
第二章	ECL	(61)
2.1	ECL 的基本特性	(61)
2.1.1	使用上的特点	(61)

2.1.2 电路结构及电压电平	(61)
2.2 ECL系列	(63)
2.2.1 电路系列	(63)
2.2.2 逻辑系列品种	(64)
2.3 由ECL组成高速逻辑系统的例子	(66)
2.3.1 计数器	(67)
2.3.2 移位寄存器	(67)
2.3.3 ALU	(68)
2.4 组装注意事项	(68)
2.4.1 负载电阻和拉伸电压设计	(68)
2.4.2 地线及电源设计	(70)
2.4.3 温升和热学设计	(70)
2.4.4 信号传输线的设计	(71)
参考文献	(74)
第三章 MOS IC	(75)
3.1 MOS IC的特点和种类	(75)
3.1.1 MOS IC的特点	(75)
3.1.2 MOS IC的种类	(76)
3.2 P沟MOS电路的基本特性	(80)
3.2.1 MOS FET的基本特性	(80)
3.2.2 基本反相电路的静态特性	(82)
3.2.3 基本反相电路的瞬态特性	(84)
3.2.4 功耗和功率时间乘积	(85)
3.2.5 动态电路	(85)
3.2.6 逻辑门电路和触发器电路	(86)
3.3 C MOS电路的基本特性	(88)
3.3.1 C MOS反相器的静态特性	(88)
3.3.2 C MOS反相器的过渡特性	(89)
3.3.3 C MOS电路的功耗	(89)
3.4 E/D MOS电路的基本特性	(90)
3.4.1 E/D MOS反相器的静态特性	(90)
3.4.2 E/D MOS反相器的过渡特性	(91)
3.4.3 E/D MOS反相器的功耗与功率时间乘积	(91)
3.5 标准形式的MOS IC	(92)
3.5.1 标准P沟MOS IC	(92)
3.5.2 标准C MOS IC	(96)

3.5.3 ROM和PROM	(98)
3.5.4 PLA	(99)
3.5.5 RAM	(100)
3.6 专门设计的MOS IC的例子.....	(103)
3.6.1 逻辑要素和单元.....	(103)
3.6.2 原图设计法.....	(105)
3.6.3 单片台式计算机.....	(105)
3.7 由MOS IC/LSI所构成的逻辑系统的例子.....	(107)
3.7.1 简单系统的例子.....	(107)
3.7.2 微处理机.....	(110)
3.8 组装时的注意事项.....	(115)
参考文献.....	(115)
 第四章 接口电路	 (116)
4.1 MOS/ 双极接口电路.....	(116)
4.1.1 TTL→MOS的接口电路	(116)
4.1.2 MOS→TTL的接口电路	(121)
4.2 数字显示系统.....	(124)
4.3 其它的接口器件.....	(132)
4.3.1 光耦合器.....	(132)
4.3.2 霍尔 IC	(136)
参考文献.....	(137)

第二部份 模 拟 集 成 电 路

第五章 集成运算放大器	(138)
5.1 集成运算放大器的种类及特征.....	(138)
5.1.1 通用运算放大器 (外部频率补偿形)	(138)
5.1.2 内部进行频率补偿的运算放大器.....	(142)
5.1.3 高输入阻抗运算放大器.....	(142)
5.1.4 低漂移型运算放大器.....	(143)
5.1.5 高速型运算放大器.....	(143)
5.1.6 低功耗型运算放大器.....	(143)
5.1.7 大功率型运算放大器.....	(144)
5.1.8 复合型运算放大器.....	(144)
5.2 基本放大电路.....	(144)
5.2.1 输入差动放大级.....	(145)

5.2.2 中间放大级.....	(145)
5.2.3 输出级.....	(145)
5.3 运算放大器的各种特性.....	(146)
5.3.1 运算原理.....	(146)
5.3.2 理想运算放大器.....	(147)
5.3.3 运算放大器的各种特性.....	(147)
5.4 使用运算放大器时的注意事项.....	(157)
5.4.1 对过大输入的保护.....	(157)
5.4.2 对阻塞的保护.....	(158)
5.4.3 对过载的保护.....	(159)
5.4.4 对浪涌电压的保护.....	(159)
参考文献.....	(159)

第六章 集成运算放大器的应用 (160)

6.1 测量用放大电路.....	(160)
6.1.1 基本电路.....	(160)
6.1.2 反相放大电路.....	(161)
6.1.3 同相放大电路.....	(162)
6.1.4 跟随器.....	(163)
6.1.5 差动放大电路.....	(163)
6.1.6 失调电压的补偿.....	(164)
6.1.7 偏置电流补偿.....	(164)
6.1.8 增益调节.....	(165)
6.1.9 大电流输出电路.....	(166)
6.1.10 高性能的差动放大电路.....	(167)
6.1.11 AC 放大电路.....	(167)
6.2 运算放大电路.....	(168)
6.2.1 加减运算电路.....	(168)
6.2.2 积分电路.....	(170)
6.2.3 微分电路.....	(170)
6.3 非线性电路.....	(171)
6.3.1 输出电压限幅器.....	(171)
6.3.2 半波整流电路.....	(172)
6.3.3 全波整流电路.....	(172)
6.3.4 施密特电路.....	(173)
6.3.5 对数变换电路.....	(173)
6.3.6 反对数(指数函数)变换电路.....	(173)

6.3.7 乘法电路.....	(175)
6.4 有源滤波器.....	(175)
6.4.1 低通滤波器.....	(175)
6.4.2 高通滤波器.....	(176)
6.4.3 带通滤波器.....	(177) ✓
6.4.4 带阻有源滤波器.....	(177)
6.5 各种其它应用.....	(177)
6.5.1 多谐振荡器.....	(177)
6.5.2 单稳态电路.....	(178)
6.5.3 正弦波振荡电路.....	(179)
6.5.4 恒流电路.....	(179)
6.5.5 电压电流变换电路.....	(179)
6.5.6 三角波发生器.....	(180)
6.5.7 电平平移电路.....	(180)
6.5.8 电流电压变换电路.....	(181)
6.5.9 恒压发生器.....	(181)
6.5.10 分压电路.....	(182)
参考文献.....	(183)

第七章 各种模拟IC及其应用..... (184)

7.1 音频用的IC及其应用.....	(184)
7.1.1 前置放大用IC.....	(184)
7.1.2 驱动用IC.....	(185)
7.1.3 主放大器用IC.....	(186)
7.2 稳压电源用 IC 及其应用.....	(191)
7.2.1 稳压电源用 IC.....	(191)
7.2.2 稳压电源用 IC 的结构.....	(192)
7.2.3 稳压电源 IC 的使用例子.....	(195)
7.3 DA, AD 转换器.....	(198)
7.3.1 DA 转换器.....	(198)
7.3.2 AD 转换器.....	(200)
7.3.3 DA 转换器的结构.....	(200)
7.3.4 AD 转换器的结构.....	(201)
7.3.5 DAC, ADC 的应用.....	(201)
7.4 PLL.....	(202)
7.4.1 PLL 概论.....	(202)
7.4.2 PLL 的应用和 IC 的种类.....	(204)

7.4.3 PLL IC 的使用问题.....	(206)
7.4.4 使用 PLL 的电路的例子	(209)
7.5 摄像器件	(213)
7.5.1 概要.....	(213)
7.5.2 MOS 摄像器件	(213)
7.5.3 CCD 摄像器件	(217)
7.6 特殊的模拟 IC	(221)
7.6.1 晶体管 IC.....	(221)
7.6.2 FET IC.....	(222)
7.6.3 稳压 IC	(223)
7.6.4 B.B.D	(225)
参考文献	(225)

第三部份 使用IC的各种系统

第八章 数字系统	(226)
-----------------------	---------

8.1 电子式台式计算机	(226)
8.1.1 袖珍计算器.....	(226)
8.1.2 事务用中级台式机.....	(230)
8.1.3 作为计算系统的高级台式机.....	(230)
8.2 电子钟	(232)
8.2.1 晶体振荡电路.....	(232)
8.2.2 变换器驱动电路.....	(233)
8.2.3 固体显示器件的驱动电路.....	(233)
8.3 电子秤	(234)
8.3.1 AD 变换.....	(234)
8.3.2 运算电路.....	(236)
8.3.3 运算方法.....	(238)
8.4 库存管理, POS系统	(240)
8.4.1 库存管理系统.....	(240)
8.4.2 电子式现金出纳机, POS系统.....	(244)

第九章 民用设备	(248)
-----------------------	---------

9.1 立体声放大器	(248)
9.1.1 立体声调谐器.....	(248)
9.1.2 前置主放大器.....	(250)
9.2 盒式磁带机	(252)

9.2.1	盒式磁带机用的 IC 的种类	(252)
9.2.2	收音机调谐部份的实例	(253)
9.2.3	便携式盒式录音机	(254)
9.2.4	家庭用盒式录音机	(255)
9.2.5	放音装置	(256)
9.3	无线设备	(256)
9.3.1	双重平衡式调制、解调器	(257)
9.3.2	电路的应用实例	(258)
9.3.3	综合器	(260)
9.4	TV, 视频设备	(263)
9.4.1	图象中频电路	(264)
9.4.2	自动频率控制电路 (AFC)	(265)
9.4.3	图象放大电路	(266)
9.4.4	带通放大, 色同步电路	(268)
9.4.5	色解调电路	(269)
9.4.6	伴音电路	(269)
9.4.7	同步分离, 分频电路	(270)
9.4.8	垂直放大电路	(272)
9.4.9	TV 摄象处理电路	(272)
9.5	电子乐器	(273)
9.5.1	前言	(273)
9.5.2	电子风琴	(273)
9.5.3	音乐综合器用的 IC	(278)
9.5.4	充分利用 LSI 特点的风琴	(279)
9.5.5	对未来系统的展望	(280)
	参考文献	(280)
第十章 测量仪器		(281)
10.1	电子式计数装置	(281)
10.1.1	频率计数器	(281)
10.1.2	周期测量计数器	(287)
10.1.3	时间间隔测量计数器	(288)
10.2	数字电压表	(288)
10.2.1	输入电路	(289)
10.2.2	积分器, 比较器	(289)
10.2.3	恒压电源	(290)
10.2.4	振荡电路	(291)

10.2.5 控制电路	(291)
10.2.6 计数显示电路	(292)
10.3 信号发生器	(292)
10.3.1 低频振荡电路	(293)
10.3.2 由电压控制束频率的电路 (VCF)	(294)
10.3.3 指示仪表放大,检波电路	(295)
10.3.4 自动振幅控制电路 (ALC)	(296)
10.4 示波器	(296)
10.4.1 前置放大器	(297)
10.4.2 通道转换电路	(298)
10.4.3 同步电路	(299)
10.4.4 时间轴信号发生电路	(299)
10.5 化工测量仪表用的接口	(301)
10.5.1 模拟信号用前置放大器	(301)
10.5.2 模拟信号的处理	(303)
10.5.3 模拟量多路转接器	(304)
10.6 记录设备	(305)
10.6.1 斩波前置放大器	(305)
10.6.2 限位电路	(307)
参考文献	(307)

第十一章 企业应用系统 (308)

11.1 医用电子系统	(308)
11.2 汽车中应用 IC 的系统	(313)
11.2.1 IC 调节器	(313)
11.2.2 发火器	(314)
11.2.3 座位系带的互锁系统	(315)
11.2.4 其它应用	(316)
11.3 控制设备, 控制系统	(317)
11.3.1 控制系统的概要	(317)
11.3.2 控制逻辑的结构	(319)
11.3.3 数控系统	(319)
11.3.4 交通管制系统	(322)
参考文献	(324)

附 录

可靠性	(325)
-----	-------

第一部份 数字集成电路

第一章 TTL

最近几年，随着电子工业的发展，电子电路与构成它的元件一起被小型化了，在小型化的过程中构成了有各种特定功能的单元。其中典型的一种就是半导体集成电路（以后简称为 IC）。它们的分类示于图1.1。

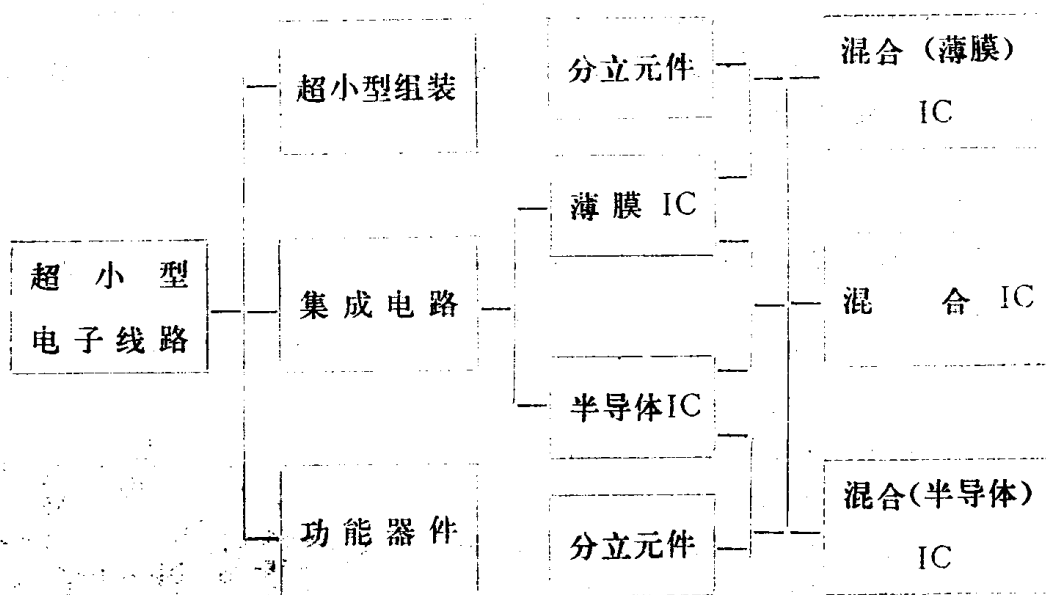


图1.1 超小型电子线路的分类

半导体集成电路是用光刻法和选择扩散在单晶硅片上以不可分隔的状态制作电路器件和相互之间的布线，因为是做在同一块单晶片上的，所以称为单片 IC。

根据所用的晶体管的种类可把半导体集成电路分为双极型集成电路和 MOS 集成电路。

双极型集成电路（Bipolar IC）的主要构成器件是双极晶体管（与一般的晶体管相当），这种晶体管的工作是靠有电子和空穴的二种极性的载流子，与此相反，MOS 集成电路用的是场效应晶体管，它靠电子或空穴两者之一进行工作，因此应称这种电路为单极集成电路（Unipolar IC），但所用的场效应晶体管具有 MOS（金属—氧化物—半导体）结构，所以称它为 MOS 集成电路了。本章主要对双极 IC 进行说明。

1.1 双极型逻辑IC的种类及特点

在信息传送、变换和处理中使用数字量是很方便的，用于此项目的 IC 称为逻辑 IC 或数字 IC。

一般数字电路是由 2 值逻辑电路组合构成的，这种电路有高电平“H”或低电平“L”2 个值，这两个电平是用流过晶体管电流的两个状态来表示的，根据流过电流的状态可以把它们分为饱和式逻辑电路和非饱和式逻辑电路。饱和式逻辑电路中有 DTL、HTL、TTL，非饱和式逻辑电路中有 ECL 或 CML。对饱和式是用晶体管的饱和状态和截止状态来确定逻辑电平，所以有电平稳定，逻辑摆幅大，便于使用的特点；但是，因为晶体管从饱和状态进入有源状态需要时间，所以开关速度达到某个数值后就难以再继续提高，这是饱和式电路的缺点。与此相反，非饱和式电路用流过晶体管电流的大和小两个值来表示两个状态，晶体管不饱和，也不使用完全截止的状态，所以可以高速工作，但这样也造成它有功耗大的缺点。

1.1.1 DTL

DTL 也称为修正的二极管晶体管逻辑电路，这时它用专门的二极管来实现门功能，图 1.2 是一个例子。

图 1.2 中， D_1 、 D_2 和 R_1 构成基本的 AND 电路，也就是说，输入 A 和 B 同时为高电平（H 电平）时，P 点才是高电平。晶体管 Q_1 是一种射极跟随器，它提高了输入阻抗，同时也进行了电流放大。放大后的电流通过二极管 D_3 驱动晶体管 Q_2 。这也就是说，在 P 点处于高电平时电流通过 D_3 流到 Q_2 的基极，从而使 Q_2 处于导通状态。这时，由于 Q_2 的基极电流很大，从而使 Q_2 的集电极电压降的很低，大约为 0.4V 左右，晶体管 Q_2 进入饱和，反过来，输入端 A 或 B 只要有一个变成低电平，P 点也就变成低电平了， Q_1 的射极电压下降， D_3 被反偏，没有电流流过，因而 Q_2 成为截止状态。但是，这时在基区残留的少数载流子，因为 D_3 处于反向，不能导通，所以只能通过 R_3 流入地。为了确保 Q_2 的基极驱动电流， R_3 不能过低，设计时一般取 5K Ω 左右的高数值，所以上述的少数载流子放电需要时间，因此，DTL 的开关时间慢到 25ns 左右，这是该电路的缺点。在输入电压变化时，输出电压发生急剧变化时的输入电压称为阈值电压，为了提高抗干扰能力，要使阈值电压为基-射间电压 V_{BE} 的两倍左右，所以使用了 D_3 ，它称为电平平移二极管。又因为输入电路是二极管，所需的电阻值大等原因，在做成 IC 时占的面积较大，也就是说它有集成度低的缺点，所以逐渐地为后述的 TTL 所代替。

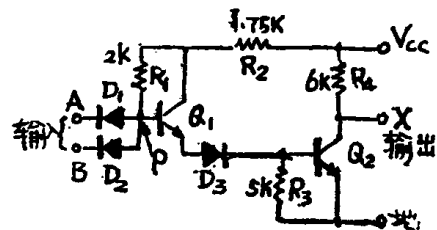


图 1.2 DTL

1.1.2 TTL

TTL (晶体管晶体管逻辑电路) 如图1.3所示, 它用有公共基区和多个发射极的多射极管 (图1.4) 作为输入门电路使用, 各个基极—射极间可看成二极管, 从这点来看多射极管完成与图1.2所示的二极管门相同的功能, 但它终究是晶体管, 只要有一个为低电平, 则通过图1.3的 R_1 在 Q_1 的基—射之间流过基极电流, 因而在 Q_2 的集电极要流过比基极电流大 β 倍的电流, 它可以使 Q_2 基区中的少子、布线分布电容中所存贮的电荷很快的泄放掉。因为 Q_1 的基极电流很充分, 所以集—射极间电压 V_{CE} 达 $0.1\sim 0.2V$ 左右, 放电作用极大。图1.2的电平平移二极管在图1.3中被由 Q_2 所构成的相位分割式倒相电路所代替, Q_2 的 V_{BE} 起电平平移的作用。 Q_2 是一种射极跟随器, 可以起到电流放大作用。因而 R_3 在设计时可以低到 $1K\Omega$ 左右, Q_2 截止后, Q_3 中所存贮的少数载流子也能得到快速泄放。这个状态如图1.5所示。

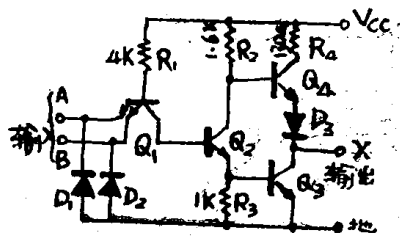


图1.3 TTL

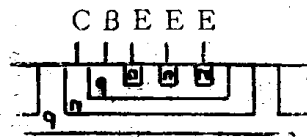


图1.4 多射极晶体管的构造

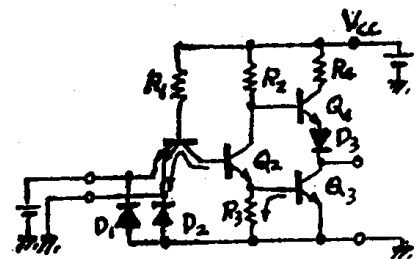


图1.5 存贮电荷的放电回路

从 Q_2 的集电极取出反相信号接到射极跟随器 Q_4 , 从而构成SEPP (单端推拉) 形输出电路, 这种电路无论是在输出为高电平还是输出为低电平时均有低的输出阻抗, 增强了对包括分布电容在内的外部电路的驱动能力, 开关时间可高达 $13ns$ 左右。利用输出电路的二极管 D_3 的正向压降确保在 Q_3 导通时 Q_4 截止, R_4 是限流电阻, 避免在输出对地短路时把IC烧毁。上面的SEPP形输出电路有时也称为截止缓冲 (OFF Buffer) 电路或“图腾柱”电路 (因为 Q_3 、 Q_4 纵向相串与印第安人的图腾柱相似, 所以才叫这个名字)。TTL输入门是由多射极管构成的, 可以把各部份的电阻值取的低一些, 所以有集成度高的特点。

图1.3的 D_1 、 D_2 叫做钳位二极管, 在输入电路中与同轴电缆相接或输入电路的布线变长使特性阻抗发生失配, 或由于LC的影响而产生负极性的脉冲, 这些脉冲是造成误动作的原因, 由钳位二极管就可以通过钳位把它们去掉。

1.1.3 HTL

HTL (高阈值逻辑电路) 如图1.6所示, 它是在DTL中用稳压二极管来代替电平平移二极管, 这样就把阈值电压提高到 $7.5V$, 所以使它具有抗干扰能力强的特点。这时, 电源电压也要提高到 $15V$ 。

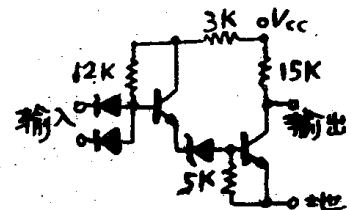


图1.6 HTL

1.1.4 ECL

ECL (发射极耦合逻辑电路) 以非饱和状态来使用晶体管, 所以可以超高速工作。详情请参看第2章。

1.2 TTL的基本特性

1.2.1 输入输出特性

在门电路的特性中最基本的是输入输出特性。图1.7示出了TD3400AP (SN7400N) 的输入输出特性。

图1.7是取电源电压 $V_{CC} = 5V$, 负载接了10个 ($n = 10$) 同类的门时在各种不同温度下的输入输出特性。这个输入输出特性曲线由A, B, C, D四部份组成。A部份是图1.3的 Q_1, Q_4 导通, Q_2, Q_3 处于截止状态, 输出为高电平 (H)。由A部份进一步提高输入电压, Q_2 的基极电压逐渐上升, Q_2 进入工作状态。可是流过 Q_2 的电流较少, 在 R_3 上产生的电压小于导通 Q_3 所需的电压 V_{BE} (在 $25^\circ C$ 时, 约为 $0.7V$), 所以 Q_3 并没导通。在这个状态下继续提高输入电压, Q_2 的集电极电流增加, 集电极电压逐渐下降, 射极跟随器 Q_4 和二极管 Q_3 导通, 所以输出也逐渐下降。在这种情况下, Q_2 的发射极电路中, 因为有 R_3 , 所以有很大的负反馈, Q_2 的增益大体上为 $R_2/R_3 \approx 1.6$, 所以是直线下降。再进一步提高输入电压, Q_3 开始导通, 这时 Q_2 的增益也变大了

(因为 Q_3 的BE结把反馈电阻 R_3 给旁路掉了), 输出急剧下降, 这就得到C段。再进一步增加输入, Q_3 进入饱和, 输出电压降低, 且稳定在低电平, 再变化输入电压输出也不变化了。

通常把输入电压与输出电压相等时的电压称为阈值电压, 图1.7的P, Q, R点分别是在 $-30^\circ C$, $25^\circ C$, $75^\circ C$ 时的阈值电压, 它们分别是 $1.55V$, $1.36V$, $1.20V$ 。即, 阈值电压相当于二个晶体管基极-发射极间电压 V_{BE} , 温度系数约为 $-3.4V/^\circ C$, 它是单个 V_{BE} 的温度系数的二倍。

门电路的输出电压是下个门电路的输入电压。图1.8示出了这个关系, 图中画出了对 45° 直线互为对称的输入输出特性。在接了许多门的情况下, 因为常常发生由分布电容引起的噪声脉冲或由外部所感应的噪声, 所以要求不受它们的影响。这就是噪声容限, 图1.8中的 N_{ML} 是对前级门电路为低电平所加的不超过阈值电压的正极性噪声值, 在环境温度为 $75^\circ C$ 时最小, 对图中的情况 $N_{ML} = 0.95V$ 。 N_{MH} 表示负极性噪声的情况, $-30^\circ C$ 时最小, $N_{MH} = 1.9V$ 。因而, 取最坏条件作为噪声容限就是 $NM = 0.95V$ 。

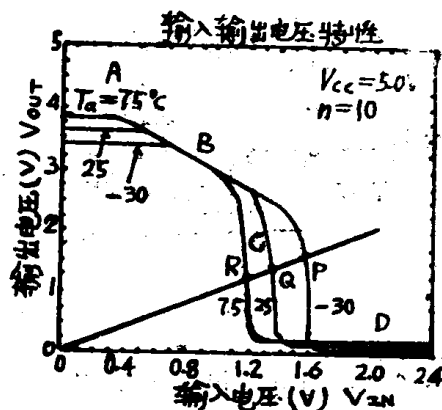


图1.7 TD3400AP (SN7400N) 的输入输出特性。

1.2.2 输入输出电平的定义

数字电路的输入输出电平用高电平、低电平的允许范围来表示，国际电工委员会 (International Electro-technical Commission, 简称为IEC) 作了规定，以后为了统一，日本工业标准 (JIS) 对此也做了同样规定 (参看JISC7041)。这就是，以V表示电压，以I表示电流，下标的第一个字母以O表示输出，以I表示输入。第2个字母表示

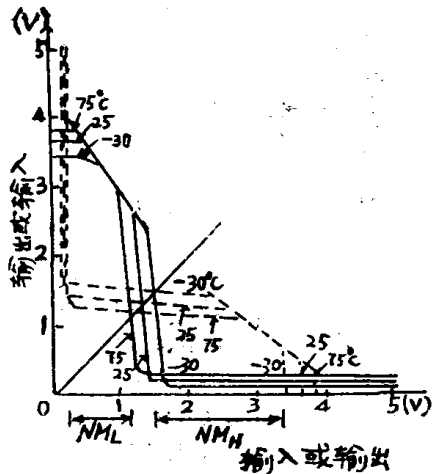


图1.8 噪声容限

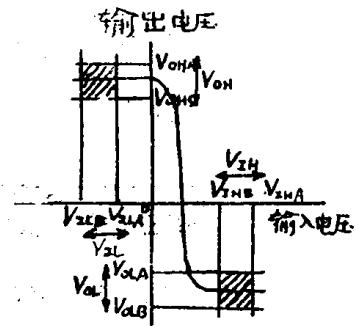


图1.9 输入输出电平的定义。

电平，代数正无穷大附近的电压用H表示，代数负无穷大附近的电平用L表示。第3个字母表示各电平的容许界限，在正无穷大一边用A表示，负无穷大一边用B表示。在这些允许界限值中，与电源电压或接地相等时也可以省略。因而，在一般的TTL的情况下，从 $V_{CHA} = V_{CC}$ ， $V_{OLB} = 0$ ，也就确定了 V_{CHB} 和 V_{OLA} 。一般的例子如图1.9所示。因而 V_{CHA} 和 V_{CH} 之间的高电平称为 V_H ， V_{OLA} 和 V_{OLB} 之间的低电平称为 V_L 。

1.2.3 输入输出电流特性

TTL的输入电流示于图1.10，在输入为L电平时，流的电流是从输入端流出。一般IC电流的方向不管是输入输出，全都是把流入的方向取为正向，流出的方向取为负方向。在图1.10中，输入上升的超过1.2V，从输入端流出的电流急剧减少，到1.8V以上就几乎没有流出的电流了，而只有流入方向的漏电流。这是因为图1.3中 Q_1 的基-射极间流的电流被切换到基极集电极方向流动了。图1.11示出了输出为低电平时流入输出端的电流与 V_{OL} 之间的关系，它也就是图1.3中 Q_3 的输出饱和特性。

在图1.11中，假若 V_{OL} 的上限值 V_{OLA} 为0.4V，那么就是在 -30°C ， I_{CLT} 仍有25mA。

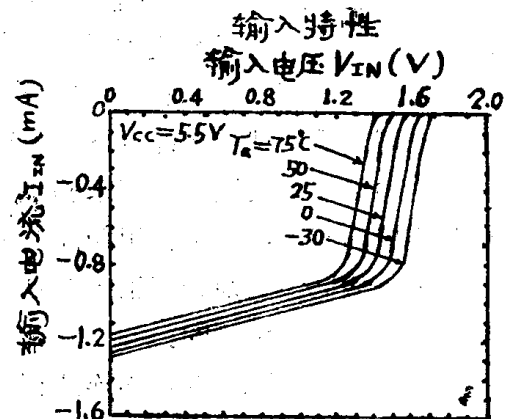


图1.10 TD 3400AP (SN7040N) 的输入特性

另外, 根据图1.10, 在 -30°C 的情况下与 0.4V 输入电压对应的输入电流最大是 1.2mA , 所以在这个门的输出端可以接 $25\text{mA}/1.2\text{mA} = 20.8$ 个后级输入门。但在规范中为了保证在最坏条件下也能接10个负载门, 所以取扇出 (fan out) = 10。所谓扇出, 以图1.13为对象, 在门电路的输出电路中接上的后级门恰似一个扇子样的展开来, 所以得到这个名字。与此相应的是扇入这个词, 扇入数就是门的最大输入数。

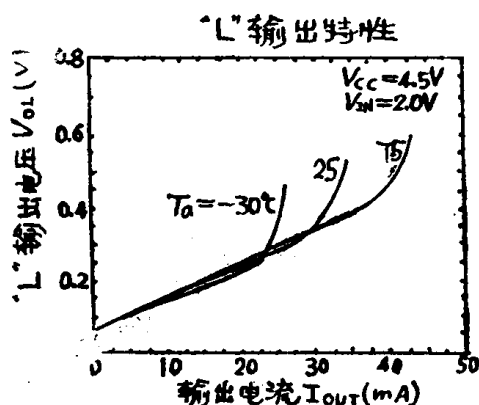


图1.11 TD3400AP (SN7400N) 的L电平输出特性

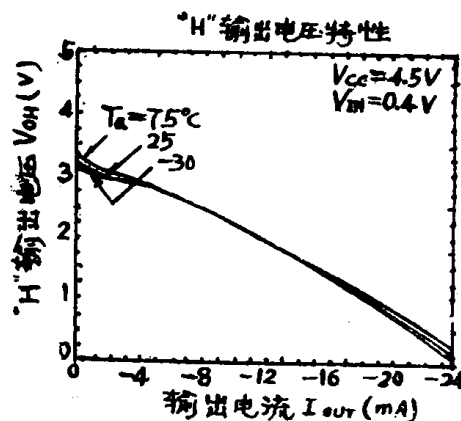


图1.12 TD3400AP (SN7400N) 的H电平输出特性

这样, 在使用 TTL 接成多级时, 理所当然的是电流从后级输入流出, 而流入前级的输出, 门的输出端是电流吸收之处, 所以称这种电路为电流吸收逻辑。因而, 原来作为负载所接的电路是有电源的负载 (称为有源负载), 那么说到负载, 就不是有直观接地的负载 (称为下沉负载)。对这点要予以注意。这些关系示于图1.13。确实, 图1.12中示出了在输出高电平时取出电流的情况。就是由于这个原因才在图1.3中加了 Q_4 管的射极跟随器, 它为输出电路的分布电容等高速充电, 这样也就提高了开关速度。与电流吸收逻辑相反, 还有从输出端流出电流, 而从输入流入电流的逻辑 (称它为电流源逻辑)。ECL就是这种逻辑电路的一个例子。

如前所述, TTL 不能同时供给流出电流和流入电流, 输出级有可能采用截止缓冲电路, 所以不允许把两个以上的门电路的输出端直接连在一起构成“线或”。原因是假定在相互连接的门中, 一个输出为高电平, 另一个输出为低电平, 那么, 从电源到地就有很大的电流流过, 输出是高电平还是低电平是不能预测的。

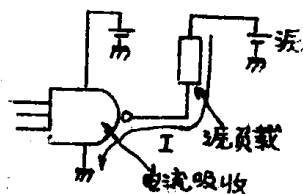


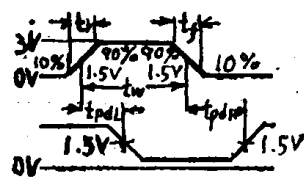
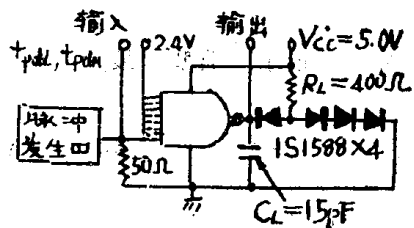
图1.13 电流吸收逻辑

在需要把两个以上的输出连结在一起的情况下, 就得使用表1.3中第二项所示的TD3401AP那样的TTL, 这类电路的输出级使用的是集电极开路输出形式。在这种情况下要像图1.13那样, 需要接一个接到电源去的负载电阻, 输出低电平优先, 也就是说, 几个输出端连接在一起时, 只要有一个电路输出为低电平, 那连结点的电平就被拉到低电平。又, 在线驱动器和存储器之类的应用中, 需要有三个输出状态的3-态电路, 这三个状态是高电平、低电平及开路状态, 在共公总线中也有把

许多输出并接在一起的情况。这时，逻辑设计必须只让一个输出为高电平或低电平，其它全部处于截止状态。

1.2.3 传递时间特性

数字电路的传递时间设计时尽可能让它不受外电路的影响而仅取决于本身的设计，但严格的讲外电路一般是会影响到传递时间的。所以，测量时要尽可能接近于使用状态。图1.14是一个例子。用同类IC所输出的脉冲驱动被测IC的输入，而它的输出一般是驱动其它的同种IC。因而，可以说一般是把同类的标准IC接到输入输出端来测量传递时间。然而，虽说是标准IC，但从测量的重复性来看，这需要严格的规定其特性，这样，实际上选出这种电路是难以做到的。所以象图1.14那样，在对测量影响比较大的输出电路中，是由晶体管、二极管、电阻、电容等接成模拟负载，而在输入端用典型的IC将其波形标准化后用来进行测试。



脉冲宽度 = 500ns
重复频率 = 1MHz
脉冲幅度 3V_{p-p}
输出阻抗 50Ω
上升时间 $t_r = 10\text{ns}$
下降时间 $t_f = 5\text{ns}$
C_L 包含探头和测试盒电容

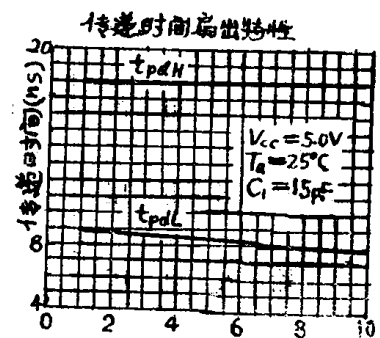


图1.14 传递时间测量电路

图1.15 扇出传递特性

对于时间测量的基准点，对输入输出都是选出过1.5V的点，1.5V就是常温下TTL的阈值电压，输出从高电平变为低电平时从输入变化到输出变化的传递时间是 t_{pdL} ，从低电平到高电平是 t_{pdH} ，把它们进行平均就得到所定义的 t_{pd} 。

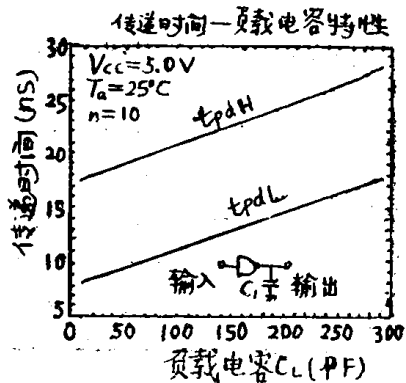


图1.16 传递时间与负载电容的关系

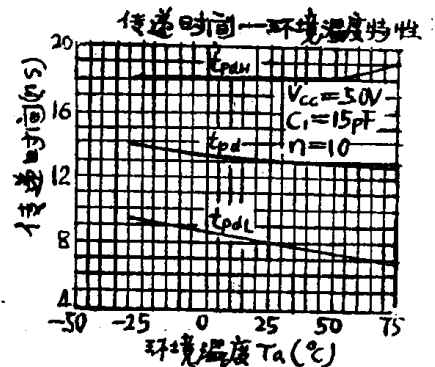


图1.17 环境温度与传递时间之间的关系