

数字电路与数字逻辑 实验指导书

汪燮华 吴宜南 主编

华东师范大学出版社

序 言

本实验指导书是为适应计算机和无线电电子学专业数字逻辑和微处理机实验的需要而编写的,内容分为数字电路、数字逻辑和微处理机三个方面。

实验是在我系和启东长江电子仪器厂联合设计的 81-1A 型数字逻辑实验器上进行的,也可在其它形式的实验装置上进行。考虑到某些系科学生缺乏无线电技术基础方面的训练,故适当加入基本电子仪器使用的内容。在实验方案中,吸取了国内外高校有关实验的设计思想。作为参考,从美国斯坦福大学的《使用标准集成电路的逻辑设计课题》(《Logic Design Projects Using Standard Integrated Circuits》)一书中编译了部份内容。附录中,还编集了有关电子仪器和常用集成电路的介绍,这些对实验设计过程中组件的选用是有参考价值的。实验的顺序可根据不同情况自行选择,有“*”者为选做实验。

本指导书由汪燮华、吴宜南二同志主编,参加编写工作的有叶俊生,方存正,张汝杰,王能,包新福,张菁华和张勇等同志,袁兴发和张勇二同志绘制了插图。

由于编写时间仓促,缺点错误在所难免,尤其在微处理机部份,内容更待进一步充实和提高。希望读者在使用过程中提出宝贵意见。

编者 1981年12月

目 录

序 言

第一章	81-1A 型数字逻辑实验器介绍	1
第二章	实验报告标准格式	6
第三章	数字电路实验	11
实验一	示波器的使用——脉冲参数测量	11
实验二	TTL 与非门的参数测试	15
实验三	TTL 环形振荡器	19
实验四	CMOS 与非门的参数测试	20
实验五	CMOS 环形振荡器	21
实验六	TTL 触发器(一)	22
实验七	TTL 触发器(二)	26
实验八	计数、译码、显示综合实验	28
实验九	分频电路的设计	32
* 实验十	汽车尾灯控制电路	33
第四章	数字逻辑实验	36
实验一	半加器、全加器及其应用	36
实验二	同步计数电路	39
* 实验三	三状态逻辑测试器	41
实验四	算术逻辑运算单元	43
实验五	移位寄存器及其并串转换的应用	47
实验六	时钟控制器	49
实验七	单元时序电路的设计	52
实验八	ROM 及 RAM 实验	53
实验九	可编程逻辑阵列(PLA)实验初步	60
第五章	数字逻辑参考实验	65
实验一	串行算术逻辑单元	65
实验二	浮点频率计数器	66
实验三	串行二进制乘法器	67
实验四	通用时序计	68
实验五	二进制除法器	69
实验六	数字转速表	70
实验七	浮点乘法器	72
实验八	取小棒游戏	74
实验九	数字积分器	76
实验十	示波器乒乓游戏	81
实验十一	浮点加法器	82
实验十二	数字存储示波器	84

第六章 微处理机实验	85
实验一 微处理机 8080 入门.....	85
实验二 EPROM 写入器.....	88
实验三 微处理机 6800 入门.....	91
实验四 Z-80 单板机初步.....	92
实验五 乒乓游戏灯.....	94
实验六 模-数转换器.....	95
实验七 程序化的终端输入、输出.....	96
实验八 数字测速器.....	99
实验九 取小棍游戏.....	99
实验十 莫尔斯 (MORSE) 码至 ASCII 码变换器.....	100
实验十一 数字存储示波器.....	101
实验十二 示波器乒乓游戏.....	102
附 录	104
附录一、逻辑笔的使用及电路图.....	104
附录二、SR-8 型二踪示波器.....	105
附录三、常用组件介绍.....	109
(1) 集成电路标准件.....	109
(2) 常用美国德克萨斯集成电路目录.....	110
(3) 国内外部分组件对照表.....	114
(4) 常用组件逻辑图.....	117

第一章 81-1A 型数字逻辑实验器介绍

一、概述：81-1A 型数字逻辑实验器是参照斯坦福大学的逻辑线路板功能设计的，生产定型后由我系教师按所开设的数字电路、数字逻辑实验内容和斯坦福大学《使用标准集成电路的设计课题》一书中的部分实验内容进行实验，证明该机功能较全，具有通用性强、效率高、灵活方便、价格低等特点，又因该逻辑器中的插座板接触性能良好，能确保实验的可靠性。

二、逻辑实验器结构：81-1A 型逻辑实验器主要由七部分构成，见图 1-1 所示。

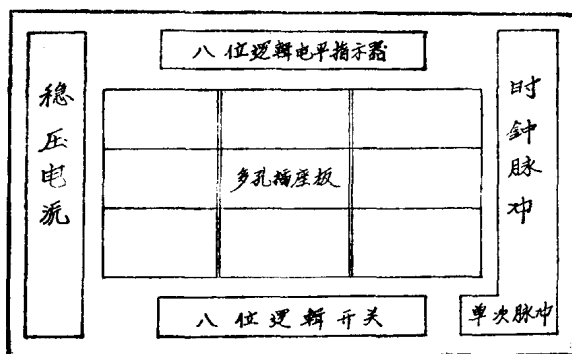


图 1-1 81-1A 型数字逻辑实验器结构

1. 可扩多孔实验插座板：插座板外形如图 1-2 所示，上下左右均可扩充另一插座板，该插座板由两行 23 排弹性接触簧片构成，每个簧片有五个触头，这五个小孔在电气上是互连的，触头之间均为双列直插式集成电路的标准间距。因此适合于各种双列直插式集成电路的插入。当集成电路跨插入两行簧片之间时，空余的插孔可供集成电路各引脚的输入、输出或互联。上下两个单行的簧片是供接入电源线及地线和控制信号之用的。本实验器具有九块多孔实验插座板，可供 16 脚集成电路插 24 块组件。所有插座板都能插入标准集成电路的引脚和各种硬接线，硬接线的规格一般以 22 号线为最好(导线一定要用硬接线)，开关晶体管，旁路电容，1/8W 电阻等分立元件脚也很易插入。

(1) 集成电路和接线：只要集成电路的尺寸符合规定，就不难插入插座。新的集成电路的引脚不应弯成直角，而应稍向外偏。因此在使用新的集成电路时，必须首先用镊子把引脚弯好，使二排脚的间距恰好为 0.3 吋。

为了防止集成电路受损坏，也可以把集成电路先装在插座里，再把这个装有集成电路的插座插到线路板上使用。这样避免了集成电路与线路板之间的直接接插，从而防止了集成电路引脚的损坏。拆卸集成电路一般应使用拔插件的工具，比较简单的工具可用 U 形夹或用镊子对撬，因为集成电路在线路板中接插得很紧，若想用手把它拔出来，不但很费力，而且往往会把管脚弄弯，甚至损坏。

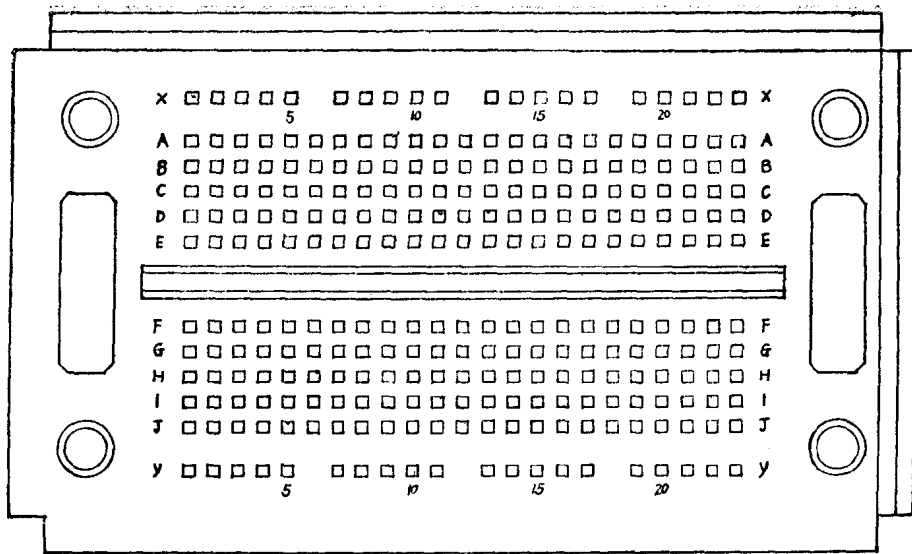


图 1-2 多孔电路插座板

为便于布线和检查,所有集成电路应从同方向插入,千万不要为了缩短引线长度而把集成电路倒插。集成电路上有定位缺口或小孔标志,它是用来辨认引脚 1 的。一般说来,集成电路的接地脚在右下边,电源脚在左上边,而线路板正是下边设置接地线,上边设置电源线,因此把集成电路的管脚 1 放在左下角方向插入线路板为最合适。对于那些不很熟悉的集成电路,在把它们接到电源和地线上之前,必须仔细查对数据手册。

镊子对于嵌线和拆线是很有用的,特别在布线密集时更需要。在切割引线时,导线长度必须适当,根据实际需要量取,不宜过长或过短。引线两端绝缘包皮必须用剥线钳来剥离,两端剥出线头长度以 1~1.2 厘米最为合适,若所剥出的线头没有弄弯,那它就能很容易插入线路板中。一根引线经过多次使用后,线头往往会弯曲,弯曲的线头很难插入,即使被插入,也会把线路插孔内的插脚张得过大或使线头断于孔内。为此在使用引线时,必须把两端导线用钳子弄直,有时甚至宁可重新剥一个线头。切割导线时,应使剥线钳与导线保持或 45° 角的位置上割下导线,这样导线就会有一个尖斜的头,使导线更易插入线路板。

在线路板上布线时,最好在集成电路周围走线,并使引线不要跨过集成电路,这样不但检查起来方便,而且对更换集成电路也无妨碍。同时应尽量设法使引线走线不复盖尚未使用的插孔,引线应尽量贴近线路板的表面,在满足上述条件下,尽可能使引线短些。为使布线整洁和便于检查,应采用不同颜色的引线来区别不同性质的信号,对此作以下规定:

红色线	+5V	黑色线	地线
黄色线	+12V	白色线	负电源
紫色线	控制线	橙色线	数据母线
棕色线	地址母线	彩色线	信号线

(2) 布线步骤: 首先把电源引线接到线路板上的每一个集成电路的电源脚上,然后把不用的输入端的引脚通过一只 1kΩ 的电阻接到 +5V 上或地线上,再联接信号线和控制线。

这样的布线顺序可使在检查时少变更原来的布线。为避免差错，布线时要按集成电路的引脚顺序检查对它的连线。最后，在接通电源前，要仔细检查所有电源接线。

整齐的布线极为重要，它不但使检查方便，而且使线路更可靠。如果一个电路由十多个集成电路组成，那可靠性就成为一个十分重要的因素了。在凌乱无规则的接线中，移动或嵌入一条引线往往会产生无法估计的后果，它会移动(或仅仅是松动)与它缠在一起的导线，从而使整个线路处于混乱状态。因此草率、不规则的接线往往会引起线路的不可靠或难以排除的线路故障。图 1-3 为集成块插入线路板联线的实例。

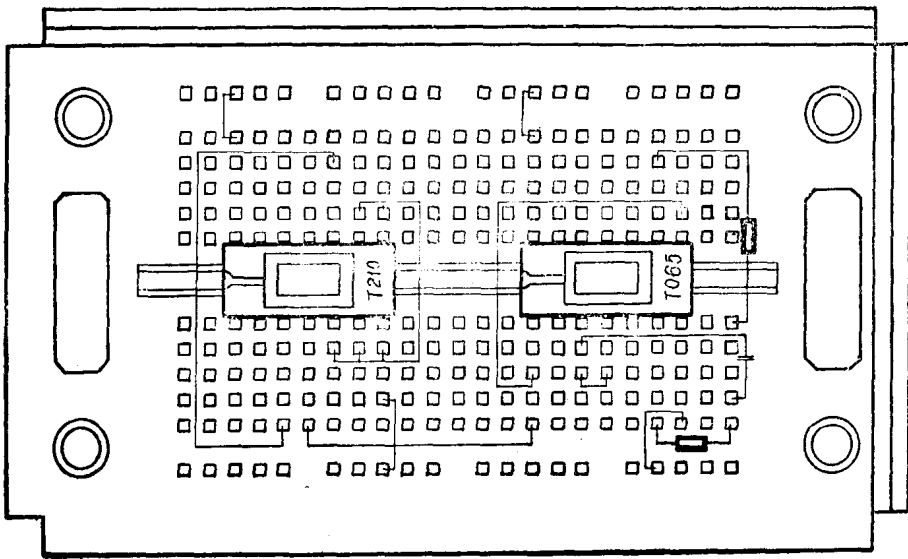


图 1-3 实验联线图

图 1-4 为电源联接法，不同串接可分别得到 10V、20V 档级的电压。A 和 B 接线柱分别与同一行上三块线路板中最上排和最底排插孔相连。使用时必须先将 +5V 接线柱与 A 接线柱相连，地线接线柱与 B 接线柱相连，实验器中九块线路板中每块均有退耦装置。

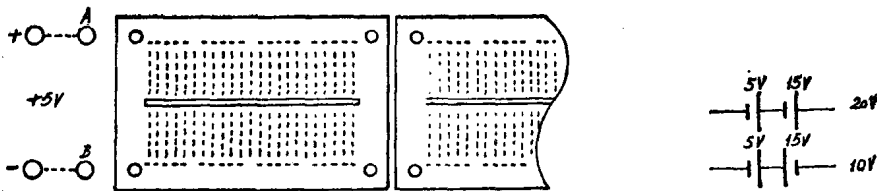


图 1-4 多孔插座板电源联接方法

2. 1Hz~1MHz 时钟信号发生器是用 T₀₆₅ 集成电路构成的环形振荡电路及微分单稳态整形电路，频率调节范围大，各档复盖，且脉冲宽度可调。其电路如图 1-5，时钟信号源输出是“CP”插孔，若需使用外接时钟信号，也可从此孔接入。

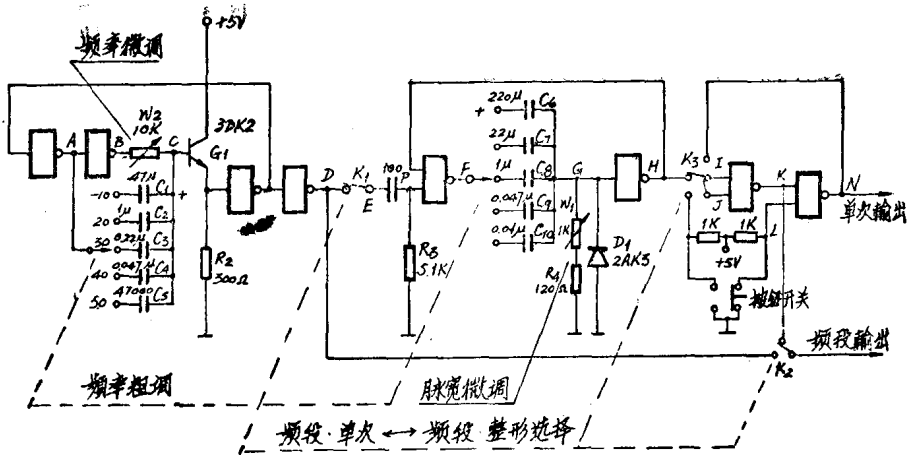


图 1-5 时钟脉冲发生器

3. 稳压电源 (图 1-6): 实验器面板上的 +5 伏和 +15 伏是二档互为独立的电源, 其输出接线柱也是独立的, 因此可以作正电压接入多孔电路板的输入接线孔, 也可以作为负电压接入多孔电路板。当然也可以通过多孔板左邻的接线柱接入外接电源, 因为红黑接线柱是分别与每一行多孔板顶上一排孔及底排孔接通的。这种接法就适合 PMOS 和 CMOS 集成电路实验之用。为保证实验组件的安全, 电源具有短路保护装置。

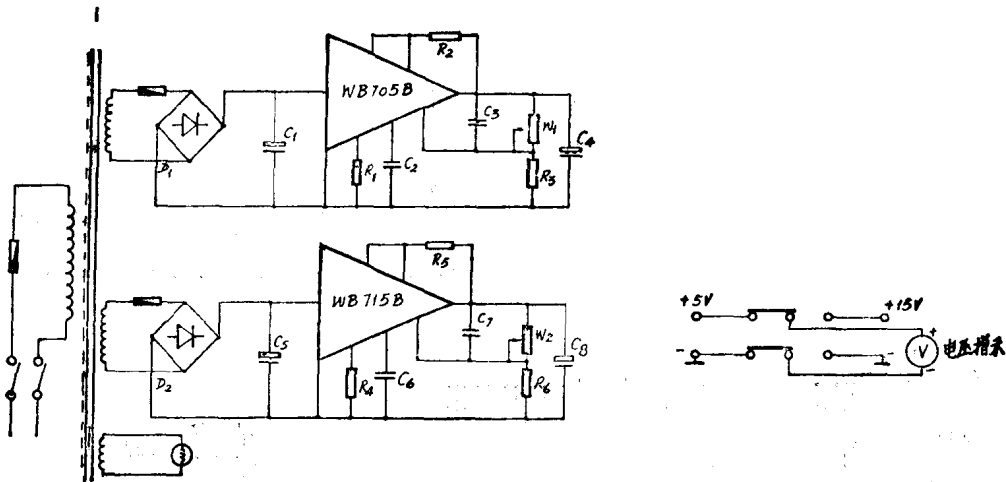


图 1-6 稳压电源原理图

4. 电平指示 (数据灯、地址灯) 是八位电平指示灯, 装有驱动电路, 每位电平驱动电流不大于 $100\mu\text{A}$ 。灯亮表示“1”, 灯灭表示“0”。电平输入是在紧靠八个指示灯的微孔条对应引入, 一般实验只需四位电平指示灯就可以了 (电平指示灯位于面板上端), 见图 1-7。

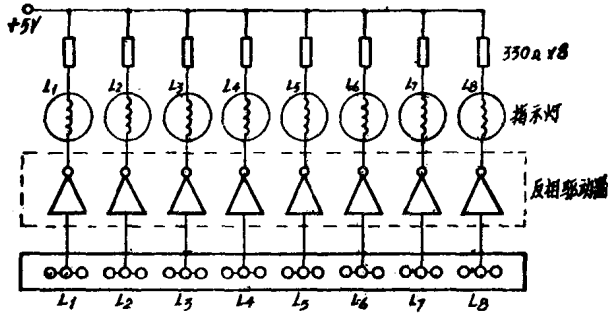


图 1-7 带有驱动器的电平指示灯 $L_1 \sim L_8$, 灯亮“1”, 灯熄“0”

八位数据灯(地址灯)是用超小型高灵敏度灯泡显示的, 每个灯的驱动器已装在实验器内, 因此使灯亮的驱动电流为微安级, 对被接电路负载很轻微。“引线孔条”是用于接到要指示的某输出端, 引线条中每三个小孔为互相联接的引线插孔。

5. 逻辑开关(数据开关、地址开关): 开关向上、向下分别表示逻辑“1”或逻辑“0”, 其逻辑电平的引出由紧靠八个开关的微孔条对应引出, 见图 1-8。

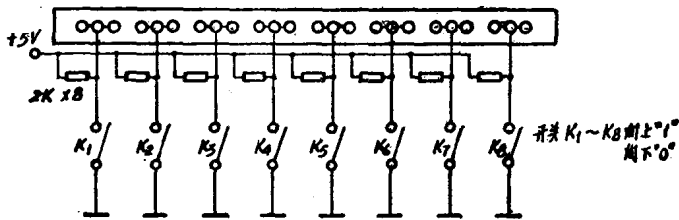


图 1-8 逻辑开关接法

6. 单脉冲及清“0”: 单脉冲发生器是由 $R-S$ 触发器形成, 使用单脉冲时, 右下角开关必须拨到“单次”位置, 以切断信号源。每按一次“单次”产生一个脉冲。

清“0”脉冲为一负脉冲, 每按一次 Z “0”产生一次。

7. 活动插件: 微型八位双列直插式多路开关可作活动电平开关(数据开关)用, 尤其适用于微处理机实验。尚配有数码显示、去抖动开关、振荡器等插件, 可根据实验需要灵活配接。

第二章 实验报告标准格式

这里介绍实验报告的标准形式。文件的多少随实验的复杂性而定,但是,一般应包括以下五项:(1)方框图;(2)逻辑图;(3)状态图;(4)文字说明;(5)问题解答。

一、框图:方框图是给出系统中功能块的概貌,而逻辑图则给出形成线路的详细逻辑,状态图则是起到帮助理解所使用的复杂的时序控制电路的作用。文字说明是结合上述三张图简明地解释系统的工作原理,同时指出所采用的技巧和某种方法或假设。最后应回答在实验中出现的问題。

框图的作用是提供一个系统的输入、输出、功能块、数据通路和重要控制信号的概貌。框图不必过于详细,但也不能过于含糊。对于一个小的系统,方框图可以由3~6个方框构成,框图必须反映出系统中的主要子系统、数据通路、输入、输出和控制点的设计思想。在一个相当大的系统中,可以附加各个分系统的框图。

图2-1给出了一个简单的框图。注意:在该图中指出了系统的功能块,而没有指出功能块中所包含的具体元件。例如一个由四块74175构成的16位寄存器应该画成一个单独的方框(图2-2(a)),而不应当画成四个方框(图2-2(c)),但可在一个方框中同时标出构成该功能块的元件及数量(图2-2(b))。

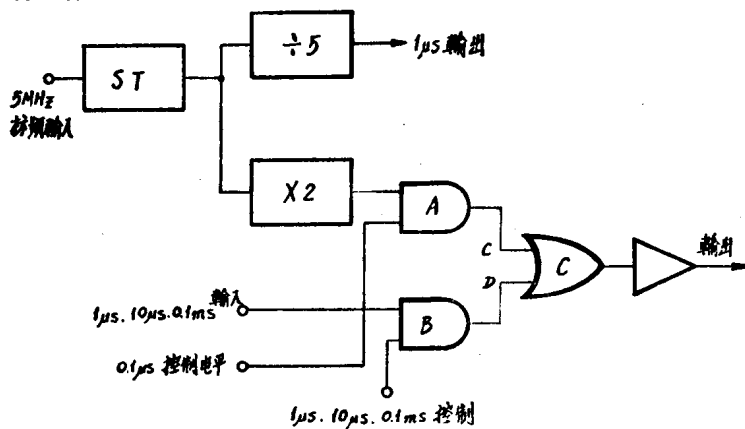


图 2-1 方框图

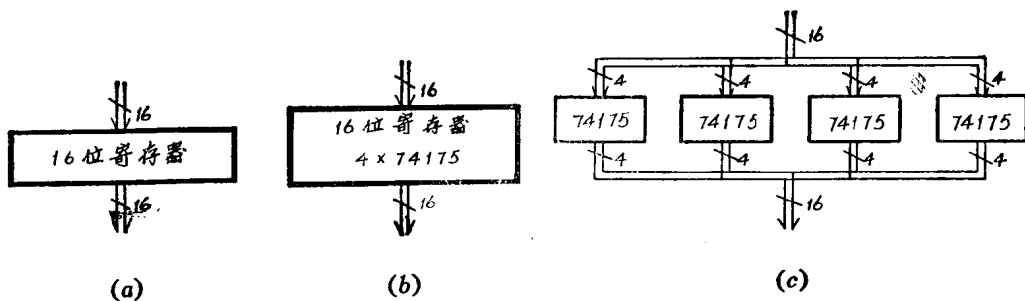


图 2-2 16位寄存单元

如图 2-1 中, 它表示频率计中一个倍频、分频单元, 它的二倍频和五分频都用一个方框表示, 而没有具体画出它由哪些组件构成。然而在框图中的控制信息和数据信息的流向应清晰地表示出来。输入端和输出端可以在方框的任何一边, 信息的通向是任意的。

2. 逻辑符号: 为方便阅读逻辑图, 这里分别介绍我国四机部部标准和美国 IEEE 两种逻辑符号标准。

(1) 中华人民共和国四机部二进制逻辑电路图形符号(部标准)(表 2-3)。

序号	名称	图形符号	备注	序号	名称	图形符号	备注
1	与门		$F = A \cdot B \cdot C$	6	与或非门		$F = \overline{A_1 A_2 + B_1 B_2 + C_1 C_2}$
2	或门		$F = A + B + C$	7	异或门		仅当只有一个输入端为“1”时, 输出才为“1”。
3	非门		$F = \overline{A}$	8	与或非门带或扩展器		
4	与非门		$F = \overline{A \cdot B \cdot C}$	9	R-S 触发器		
5	或非门		$F = \overline{A + B + C}$	10	J-K 触发器		当 J 与 K 的端数多于 1 个时可用如下符号表示。

续表

序号	名称	图形符号	备注
11	D 触发器		当 D 端多于 1 个时可引用如下符号表示。
12	电流驱动器		
13	全加器		

表 2-3 四机部二进制逻辑电路图形符号

(2) IEEE 标准逻辑图形符号：在 1973 年之前，有二种主要的逻辑符号标准：美国逻辑图标准符号，IEEE STD 91—1962, ASA, y32, 14—1962；和军用逻辑标准符号：Mil-STD-806R, 25 February 1962。这二种标准已被一种标准所代替，就是 IEEE 逻辑图标准符号，如图 2-3 所示的图形符号。

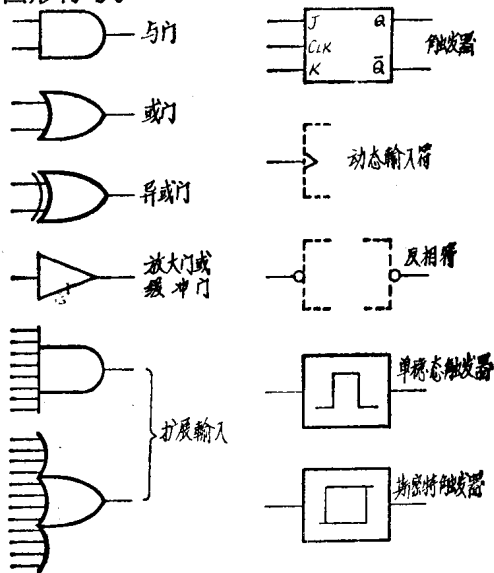


图 2-3 标准逻辑符号

与非门、或非门、同门和反相门的符号可以从加有反相符的与门、或门、异或门和缓冲门获得,如图 2-4(a)中所示。图 2-4(a)的等效符号和它们在图 2-4(b)中的相应符号在逻辑中均可采用。斯密特触发器和单稳态触发器可以用如图 2-3 所示的标准符号。有时,斯密特触发器也画成内部具有延时符号的标准门符号。具有输入逻辑的单稳态触发器在方框外标明有控制信号。集电极开路的输出端应标以“*”或“OC”。

作为一个例子,负沿触发的 $J-K$ 触发器在图 2-5 中表示,输入端在左边,输出端在右边。并且要注意,输入端和受该输入端控制的输出端画在方框的同一边(J 和 PR, Q, K 和 CLR, \bar{Q})。这个触发器符号并不完全与 $IEEE$ 标准一致,同时,各制造厂的触发器符号的差别也是很大的,在此仅作一个介绍。

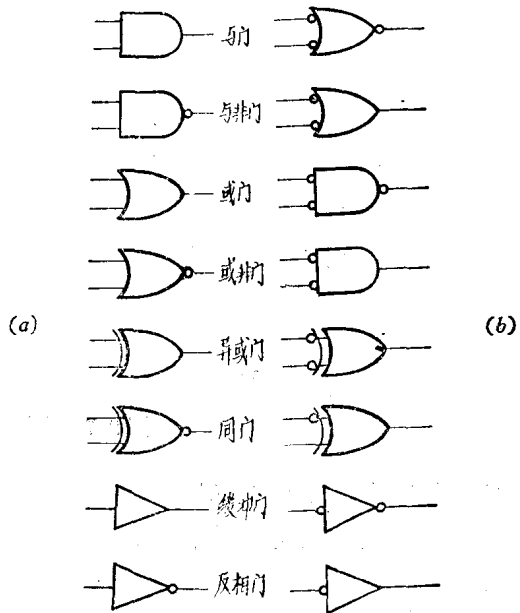


图 2-4 逻辑符号

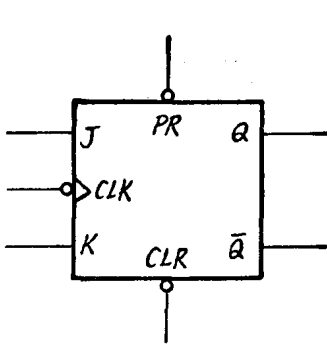


图 2-5 负沿触发的 $J-K$ 触发器

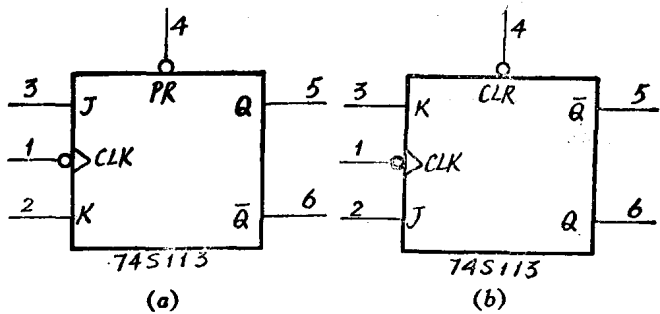


图 2-6 没有清除端的 $J-K$ 触发器

图 2-6(a) 中是一个只有一个预置端而无清除端的 $J-K$ 触发器,若在使用时需要清除端而不需要预置端,由于这个触发器的 J 和 K 二端的对称性,允许把这些输入端在概念上重新命名,如图 2-6(b) 所示。然而,在实际电路中,触发器一般不这样画。

MSI(中规模集成电路)和 LSI(大规模集成电路)的符号应画成一个方框,在方框内部标出元件的代码和输入、输出脚的名称。一般情况下,输入端应画在左边,输出端应画在右边。串级的连线和其它控制线是例外。例如,加法器的进位线,计数器的时钟输入和输出线和逻辑片的启动输入线。为了清晰起见,可以把输出端画在顶端,输入端画在底端。例如,图 2-7(a) 表示了一个二输入端的四位多路器的符号。图 2-7(b) 表示了一个四位加法器符号。线路中所有专用的 MSI 或 LSI 元件应以相同的形式画。不用的输入和输出端也应画出来,并标上“NC”(no connection)。

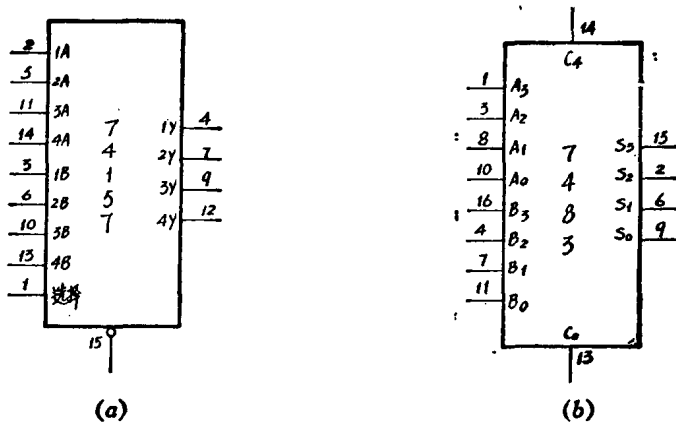


图 2-7 中规模集成元件

各个 SSI、MSI 和 LSI 元件的引线应标上引脚的编码。同时，应该标明每一个逻辑符号的物理位置，以便于布线和检查(例如，方位 B4 可表示在线路板上第二列中第四个集成电路)。

逻辑规定：在数字电路里，区分逻辑“1”和“0”信号的电平有两种规定，即：正逻辑和负逻辑。正逻辑中，较高的电平表示逻辑“1”，较低的电平则表示逻辑“0”；负逻辑中的规定正与此相反。在这本书中，我们将使用正逻辑。因此，“1”和“H”(“高”)的标志是等效的。同样“0”和“L”(“低”)的标志也是等效的。

线路图画法：逻辑图中，除了早先所提到的特殊情况外，应把所有元件的输入端画在左边，输出端画在右边，系统的输入端应在左边，系统的输出端在右边，同时，信号流向应从左到右。

第三章 数字电路实验

实验一 示波器的使用——脉冲参数测量

一、实验目的：

1. 学会使用 SR-8 示波器，熟悉各调节旋钮的作用。
2. 用 SR-8 示波器测量脉冲波形的参数如幅度、频率、脉宽、上升沿、下降沿等。

二、示波器的基本原理和使用：示波器是一种用途很广的电子测量仪器。利用它，可以测出电信号(如正弦波、脉冲波)的一系列参数，如幅度、周期(或频率)相位等。几乎所有物理量只要能转变成相应的电压或电流，都可用它进行观测和研究。

1. 示波器工作原理：其结构方块图包括垂直放大、水平放大、扫描、触发、示波管及电源六个主要部分，如图 3-1-1 所示。

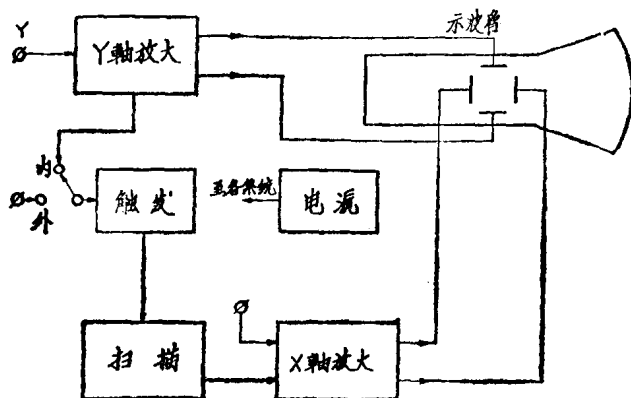


图 3-1-1

现将各部分的主要作用简述如下。

(1) 电子示波管：它主要由电子枪， x, y 偏转系统和荧光屏三部分组成。电子枪包括：丝、阴极、栅极、阳极，结构如图 3-1-2 所示。

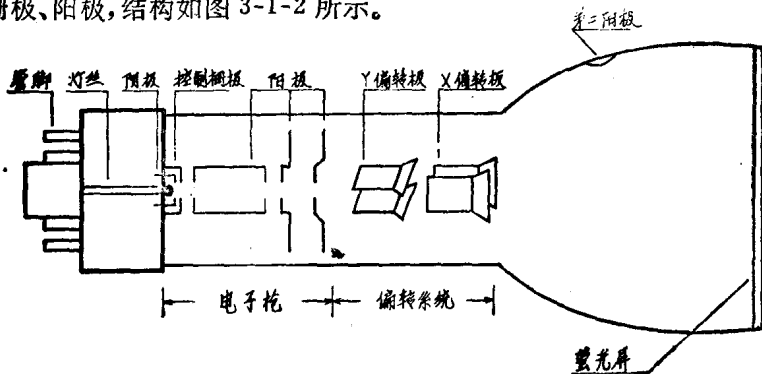


图 3-1-2

偏转系统：由 y 偏转板和 x 偏转板二部分组成。它们的作用是使电子枪发射的、飞向荧光屏的电子束按照偏转板上所加的电压信号发生偏转。

荧光屏：它是示波管顶端涂有荧光物质的透明玻璃屏。接受从电子枪发射并通过偏转板后打在屏上的电子束，荧光屏在电子束的轰击下发光。

(2) 水平、垂直(x, y)放大器：由于电子示波管灵敏度低，若加在偏转板上的控制电压过小，光点位移很小，甚至在屏幕上观察不出它的位置偏移，为了保证有足够的偏转电压，需要加放大器。

(3) 扫描发生器：用以产生一个线性电压模拟时间轴，展示被观察信号随时间变化的情况。

(4) 波形的形成：如何才能在荧光屏上看到一个完整的正弦波或脉冲波呢？假如只在示波管水平偏转板上加上一个直线性变化的信号电压，即所谓锯齿形电压或称扫描电压，则荧光屏上观察到的是一根直线，如图 3-1-3 所示，其形成过程如下：

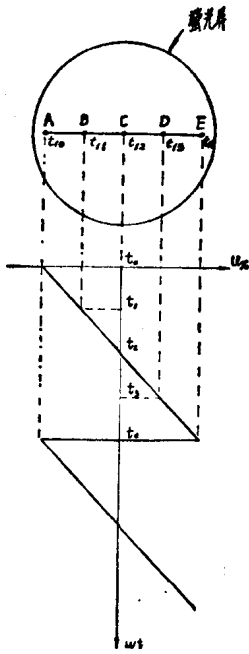


图 3-1-3

在 t_0 时，水平偏转板上是负电压，光点在荧光屏的 A 点； t_1 时，电压直线性上升，但这时加在水平偏转板上的电压 u_x 仍然是负电压，光点在 B 点； t_2 时，电压上升到零值，光点不受偏转控制而在 C 点；到 t_3 时，电压继续增大为正，光点移到 D 点； t_4 时，电压上升到最大值，光点移到 E 点，然后电压迅速退回到负值，光点由 E 点迅速回到 A 点，如此不断反复，在荧光屏上便观察到一条水平的直线。如果这时把被观察的正弦波电压 u_y 加在 y 偏转板上，把扫描电压 u_x 加在 x 轴偏转板上，而且使正弦波的频率与扫描电压的重复频率相同，那么在荧光屏上就能观察到一个完整的正弦波了。

图 3-1-4 是利用加在 x 轴偏转板上的扫描电压，和加在 y 轴上的正弦波(脉冲波也一样)展开

在荧光屏上的示意图，它们的合成叙述如下：在 t_0 时， $u_y = 0$ ，故加在 y 轴偏转板上的电压为零，而 u_x 为负值，则在 x 轴偏转板上的电压为负，光点在荧光屏上的 A 点；在 t_1 时， u_y 上升，光点向上移，同时， u_x 也上升，光点又要向右移，结果光点移到荧光屏上的 B 点；以后，光点不断向 C, D, E 点移动，光点到 E 点后，由于 u_x 回到原先的负值，故光点从 E 点迅速跳到 A 点，接着正弦波又重新开始第二个周期，扫描电压也重复第二次扫描，荧光屏上再次出现与第一次相重迭的正弦波。如此不断重复，在荧光屏上观察到的就是一个稳定的正弦波形。

上述二者频率相同，故在荧光屏上呈现一个周期的正弦波，如果正弦波频率 f_y 是扫描电压波重复频率 f_x 的二倍， $f_y = 2f_x$ ，在荧光屏上看到的正弦波或脉冲波将是两个完整的正弦波(脉冲波)，从而可知， $f_y = nf_x$ 时，在荧光屏上将呈现出 n 个周期的清晰波形。

可以设想，如果 f_y 与 f_x 之间不是成整数的关系(n 不是整数)，波形就不能完全重迭。如何才能使 f_y 与 f_x 之间保持整数倍呢？要想使 f_y 与 f_x 保持整数倍的关系，把输入 y 轴

的电压通过示波器内部电路作用在扫描发生器上，使频率 f_x 能跟随 f_y 作些微小改变，以保持 f_x 与 f_y 成整数倍关系。这个作用称之为“同步”，在现代示波器中都是采用所谓“触发同步”。“触发同步”是当信号电压从 y 轴输入，在其瞬值达到一定幅度时，触动扫描发生器，使它产生一个锯齿波电压。当这个锯齿波扫描结束以后，扫描发生器将等待下一个 u_x 信号电压的输入，然后再触发产生一个锯齿波，这样使扫描电压的起始点与输入信号电压的某一瞬时同步起来，达到使波形稳定的目的。

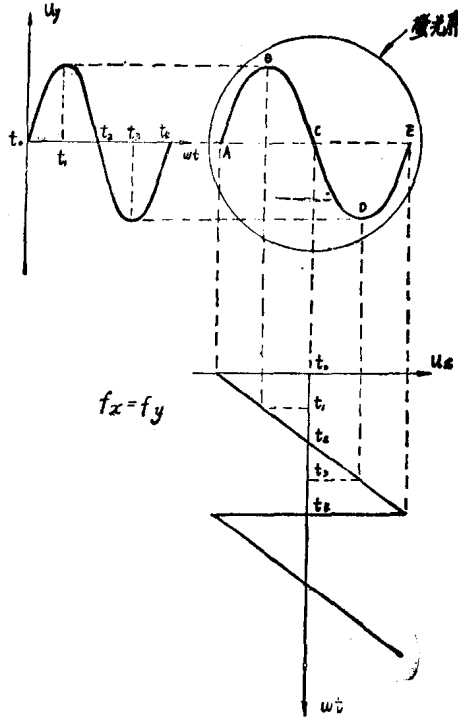


图 3-1-4

2. 示波器的使用:

(1) 按示波器说明书要求(参阅附录二 SR-8 示波器使用方法)认清示波器各控制旋钮的位置。了解它们的作用,再开启电源,调节辉度、聚焦、垂直、水平和垂直位移、同步极性开关以及扫速开关“ t/div ”,使荧光屏上出现一条清晰均匀的细线。

(2) 脉冲波形的观察方法:把“ t/div ”开关的红旋钮“微调”顺时针转至满度并接通开关,

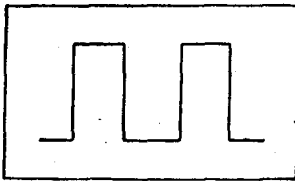


图 3-1-5 观察校正讯号

把“ V/div ”开关的红旋钮“微调”也顺时针转至满度。用 SR-8 示波器观察示波器上的校准信号,它是频率为 $1kHz$ 、幅度为 1 伏的方波脉冲,输入 Y_A 或 Y_B (对应的显示方式开关置 Y_A 或 Y_B),同步方式置“常态”,调节“电平”旋钮,使脉冲波形稳定如图 3-1-5 所示,出现二~三个波形。

三、用示波器测脉冲波参数: 示波器观察到的脉冲波形如图 3-1-6 所示。脉冲波的参数主要有脉冲幅度 u_m 、脉冲宽度 τ_n 、脉冲上升沿 t_1 、脉冲下降沿 t_2 、过冲 $\delta\%$ 及脉冲频